



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET

**Uticaj parametara osmotske dehidracije
na kinetiku, funkcionalne i antioksidativne
karakteristike lista koprive**

(Urtica dioica)

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:

Doc. dr Tatjana Kuljanin

Kandidat:

dipl. Inž-master Violeta Knežević

Novi Sad, 2019. godine

UNIVERZITET U NOVOM SADU

TEHNOLOŠKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Violeta Knežević dipl.inž.-master
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	dr Tatjana Kuljanin, docent
Naslov rada: NR	Uticaj parametara osmotske dehidracije na kinetiku, funkcionalne i antioksidativne karakteristike lista koprive (<i>Urtica dioica</i>)
Jezik publikacije: JP	Srpski jezik, latinica
Jezik izvoda: JI	srp. / eng.
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina

Godina: GO	2019.
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad

Fizički opis rada: FO	6 poglavlja, 136 strana, 53 slike, 43 tabele, 248 literaturnih navoda
Naučna oblast: NO	Prehrambeno-biotehnoške nauke
Naučna disciplina: ND	Prehrambeno inženjerstvo
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Osmotska dehidracija, kopriva, melasa šećerne repe, funkcionalna svojstva i antioksidativna aktivnost
UDK	582.635.5+581.45]:66.047.3:664.151.2(043.3)
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu
Važna napomena: VN	Istraživanja obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom finansirana su od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije TR31055 (2011-2019)
Izvod: IZ	U ovoj disertaciji proučavana je osmotska dehidracija lista koprive u dva različita osmotska rastvora: 1. vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida i 2. melasi šećerne repe. Ispitivan je uticaj temperature procesa (20°C, 35°C i 50°C) i vremena imerzije (30, 60 i 90 min) na gubitak vode, priraštaj suve materije, sadržaj suve materije, vrednosti aktivnosti vode, mikrobioške promene, promenu mineralnog sastava (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn, Co) i promenu antioksidativne aktivnosti, tokom osmotske dehidracije lista

	<p>koprive.</p> <p>Dokazano je da se povećanjem temperature i produženjem vremena trajanja procesa pospešuje prenos mase tj. migracija molekula vode iz tretiranog biljnog materijala u okolni rastvor, i prodiranje molekula rastvorene supstance iz osmotskog rastvora u tretirano biljno tkivo.</p> <p>Snižene a_w vrednosti u svim ispitivanim uzorcima ukazuju na pozitivan uticaj osmotske dehidracije na mikrobiološku stabilnost tretiranog lista koprive. Dobijeni rezultati su pokazali značajno poboljšanje mineralnog sastava lista koprive, dehidriranih u melasi šećerne repe, dok je kod uzoraka tretiranih u rastvoru saharoze i natrijumhlorida uočeno smanjenje sadržaja ispitivanih mineralnih materija. Nasuprot rastvoru saharoze i natrijum hlorida koji je uticao na opadanje ukupne antioksidativnosti osmotski dehidriranih uzoraka, melasa šećerne repe, kao bogat izvor prirodnih antioksidanasa, doprinosi povećanju antioksidativnosti i poboljšanju funkcionalnog kvaliteta dehidriranog produkta.</p> <p>Statističkom obradom rezultata, uočeno je da su optimalni procesni parametri u pogledu efikasnosti procesa, kao i mikrobiološkog, nutritivnog i funkcionalnog kvaliteta osmotski dehidriranog lista koprive, vreme trajanja procesa od 60 min, na temperaturi od 50°C, u melasi šećerne repe kao osmotskom rastvoru.</p>
Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP	29.11.2018.
Datum odbrane: DO	

<p>Članovi komisije:</p> <p>(ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status)</p> <p>KO</p>	<p>predsednik:</p> <p>dr Vera Lazić, redovni profesor, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>mentor:</p> <p>dr Tatjana Kuljanin, docent, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>član:</p> <p>dr Aleksandra Tepić Horecki, vanredni profesor, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>član:</p> <p>dr Milivoj Radojčin, docent, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad</p> <p>član:</p> <p>dr Biljana Lončar, naučni saradnik, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p>
---	--

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNOLOGY

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	Ph.D. Thesis
Author: AU	Violeta Knežević, M.Sc.
Mentor: MN	Tatjana Kuljanin, Ph.D., Assistant Professor
Title: TI	The effects of osmotic dehydration parameters on the kinetics, functional and antioxidant characteristics of nettle leaf (<i>Urtica dioica</i>)
Language of text: LT	Serbian language, Latin
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina

Publication year: PY	2019
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad

Physical description: PD	6 chapters, 136 pages, 53 figures, 43 tables, 248 references
Scientific field SF	Food-biotechnical Sciences
Scientific discipline SD	Food Engineering
Subject, Key words SKW	Osmotic dehydration, nettle leaf, sugar beet molasses, functional properties and antioxidant activity
UC	582.635.5+581.45]:66.047.3:664.151.2(043.3)
Holding data: HD	Library of the Faculty of Technology, University of Novi Sad
Note: N	Research in this thesis was funded by Ministry of Education and Science of the Republic Serbia- TR31055 (2011-2019)
Abstract: AB	The osmotic dehydration of the nettle leaf into two different osmotic media was studied in this dissertation: 1. Aqueous solution of sucrose and sodium chloride and 2. Sugar beet molasses. The effects of the process temperature (20 °C, 35 °C and 50 °C) and the immersion time (30, 60 and 90 min) on water loss, solid gain, dry matter content, water activity, microbial changes, mineral composition (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn, Co) and the change in the

	<p>antioxidant activity during osmotic dehydration of the nettle leaf were studied in this investigation.</p> <p>It has been proved that the increase in temperature and the prolonging of process time, accelerate the mass transfer, i. e., the migration of the water molecules from the treated plant material to the surrounding osmotic solution, and also the penetration of the molecules from the osmotic solution into the treated plant tissue.</p> <p>The reduced aw values in all tested samples indicate the positive effect of osmotic dehydration on the microbiological stability of the treated nettle leaf. The obtained results showed a significant improvement in the mineral composition of the nettle leaf dehydrated in sugar beet molasses, while the decrease in the mineral content was observed in the samples treated with sucrose and sodium chloride solution. Contrary to the sucrose and sodium chloride solution, which negatively affected the overall antioxidative effect of osmotically dehydrated samples, sugar beet molasses contributed to an increase in antioxidantity, being a rich source of natural antioxidants, and it also improves the functional quality of the dehydrated product.</p> <p>Statistical analysis of the obtained experimental results showed that optimal process parameters in terms of process efficiency, as well as microbiological, nutritive and functional quality of the osmotically dehydrated leaf net, could be reached after 60 min of osmotic treatment, at a temperature of 50 °C, using sugar beet molasses as an osmotic solution.</p>
<p>Accepted on Senate on:</p> <p>AS</p>	<p>29.11.2018.</p>
<p>Defended:</p> <p>DE</p>	

<p>Thesis Defend Board:</p> <p>DB</p>	<p>president:</p> <p>Vera Lazić Ph.D., Full Professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>mentor:</p> <p>Tatjana Kuljanin, Ph.D., Assistant Professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>member:</p> <p>Aleksandra Tepić Horecki, Ph.D., Associate Professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>member:</p> <p>Milivoj Radojčin, Ph.D., Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Novi Sad</p> <p>member:</p> <p>Biljana Lončar, Ph.D., Research Associate, Faculty of Technology, Novi Sad</p>
---------------------------------------	--

SPISAK TABELA

Tabela 2.1. Sadržaj vitamina u melasi šećerne repe (*Šušić i sar., 1995*)

Tabela 2.2. Klasifikacija prirodnih fenolnih jedinjenja (*Abbas i sar.,2017*)

Tabela 3.1. Osnovni hemijski sastav melase šećerne repe primenjene u istraživanju

Tabela 4.1. Kinetički parametri tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Tabela 4.2. Kinetički parametri tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Tabela 4.3. ANOVA modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Tabela 4.4. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Tabela 4.5. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Tabela 4.6. ANOVA modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Tabela 4.7. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Tabela 4.8. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Tabela 4.9. Promene sadržaja Ca, Mg, Na i K u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁

Tabela 4.10. Promene sadržaja Fe, Cu, Zn, Mn, i Co u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁

Tabela 4.11. Promene sadržaja Ca, Mg, Na i K u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂

Tabela 4.12. Promene sadržaja Fe, Cu, Zn, Mn, i Co u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂

Tabela 4.13. ANOVA modela odziva Ca, Mg, Na i K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Tabela 4.14. ANOVA modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Tabela 4.15. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive Ca, Mg, Na, K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Tabela 4.16. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Tabela 4.17. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Tabela 4.18. ANOVA modela odziva Ca, Mg, Na, K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.19. ANOVA modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.20. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive sadržaja Ca, Mg, Na, K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.21. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive sadržaja Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.22. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive sadržaja Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.23. Pokazatelji mikrobiološke aktivnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Tabela 4.24. Pokazatelji mikrobiološke aktivnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.25. ANOVA modela odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni, tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R_1 i R_2

Tabela 4.26. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R_2 i R_1

Tabela 4.27. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 i R_2

Tabela 4.28. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Tabela 4.29. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.30. ANOVA modela odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Tabela 4.31. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Tabela 4.32. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Tabela 4.33. ANOVA modela odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.34. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Tabela 4.35. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2 .

Tabela 4.36. Performanse rada veštačke neuronske mreže pri predikciji promenljivih

Tabela 4.37. Članovi matrice W_1 i vektora B_1

Tabela 4.38. Članovi matrice W_2 i vektora B_2 za kinetičke i antioksidativne parametre

Tabela 4.39. Članovi matrice W_2 i vektora B_2 za mikrobiološke parametre i sadržaj minerala

Tabela 4.40. Pokazatelji kvaliteta ANN modela i rezidualna analiza

SPISAK SLIKA

Slika 2.1. Pojednostavljena šema procesa osmotske dehidracije biljnog tkiva (*Urle Schubert, 2001*)

Slika 2.2. Osmotski pritisak (<http://virtual-chem.blogspot.com/2013/06/osmoza.html>)

Slika 2.3. Šematski prikaz promena u ćelijama biljnog tkiva nastalih usled prenosa mase tokom osmotske dehidracije (*Agneli i sar., 2005*)

Slika 2.4. Građa biljne ćelije (<https://www.shtreber.com/celija-osnovna-jedinica-gradje-zivihorganizama>)

Slika 2.5. Ćelije u različitim sredinama (<https://www.instrukcije-poduka.com/plazmoliza-i-deplazmoliza.html>)

Slika 2.6. Melasa šećerne repe (<http://www.mebofarms.com/molasses/>)

Slika 2.7. Kopriva (*Urtica dioica* L.), (<http://www.vivateka.com/kopriva-leci-nesanicu-zuc-umor/>)

Slika 2.8. Delovi koprive: A (cela biljka), B (cvet), C (stabljika), D (koren), E (list) (*Bhuwan i sar., 2014*)

Slika 2.9. Građa koprive (<https://www.pinterest.com/pin/175218241726627340/>)

Slika 2.10. Čaj od koprive (<http://www.koval.hr/blogeky/ljekovite%20biljke/kopriva.html>)

Slika 3.1. Šematski prikaz neuronske mreže sa tri sloja (*Petrović, 2011*)

Slika 4.1. Gubitak vlage (WL) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Slika 4.2. Priraštaj suve materije (SG) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Slika 4.3. Aktivnost vode (a_w) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Slika 4.4. Sadržaj suve materije (DM) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Slika 4.5. Paretovi dijagrami modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Slika 4.6. Paretovi dijagrami modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Slika 4.7. Promene sadržaja Ca tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Slika 4.8. Promene sadržaja Mg tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.9. Promene sadržaja Na tokom osmotskiog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.10. Promene sadržaja K tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.11. Promene sadržaja Fe tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.12. Promene sadržaja Cu tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.13. Promene sadržaja Zn tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.14. Promene sadržaja Mn tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.15. Promene sadržaja Co tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 ,
b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.16. Paretovi dijagrami modela odziva Ca, Mg, Na i K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Slika 4.17. Paretovi dijagrami modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Slika 4.18. Paretovi dijagrami modela odziva Ca, Mg, Na, K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.19. Paretovi dijagrami modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.20. Promene broja Enterobakterija tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.21. Promene broja kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.22. Paretovi dijagrami modela odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Slika 4.23. Paretovi dijagrami modela odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.24. Promene FRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.25. Promene ABTS vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.26. Promene DPPH vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.27. Promene HPMC vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.28. Promene MRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.29. Promene FC vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.30. Paretovi dijagrami modela odziva, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Slika 4.31. Paretovi dijagrami modela odziva, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Slika 4.32. Relativni indeks antioksidativnog kapaciteta (RACI) i koeficijent antioksidativnosti fenola (PAC) uzoraka koprive

Slika 4.33. Dendogram za klaster analizu za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R_1 i R_2 , pri čemu su praćeni kinetički parametri WL, SG, a_w i SG, kao i koncentracija minerala: Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co

Slika 4.34. Dendogram za CA analizu za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R_1 i R_2 , pri čemu su praćeni parametri antioksidativnog kapaciteta FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC), kao i mikrobiološki parametri (Enterobakterija, kvasaca i plesni)

Slika 4.35. Biplot grafik za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R_1 i R_2 , pri čemu su praćeni kinetički parametri WL, SG, a_w i SG, kao i koncentracija minerala: Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co

Slika 4.36. Biplot grafik za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R_1 i R_2 , pri čemu su praćeni parametri antioksidativnog kapaciteta FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC), kao i mikrobiološki parametri (broj Enterobakterija, kvasaca i plesni)

Slika 4.37. Eksperimentalno merene vrednosti i vrednosti dobijene korišćenjem ANN modela za predikciju WL, SG, a_w , DM, FRAP, ABTS, DPPH i HPMC za rastvore R_1 i R_2

Slika 4.38. Eksperimentalno merene vrednosti i vrednosti dobijene korišćenjem ANN modela za predikciju MRAP, FC, kvasaca, plesni i Enterobakterije, Ca, Mg, Na, K za rastvore R_1 i R_2

Slika 4.39. Eksperimentalno merene vrednosti i vrednosti dobijene korišćenjem ANN modela za predikciju Fe, Cu, Zn, Mn i Co za rastvore R_1 i R_2

Slika 4.40. Analiza osetljivosti na male promene izlaza WL, SG, a_w , DM

Slika 4.41. Analiza osetljivosti na male promene izlaza FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP, FC, kvasci, plesni i Enterobakterije

Slika 4.42. Analiza osetljivosti na male promene izlaza Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn i Mn

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	3
2.1. OSMOTSKA DEHIDRATACIJA	3
2.2. MEHANIZAM OSMOTSKE DEHIDRATACIJE	4
2.2.1. Osmotski pritisak.....	4
2.2.2. Prenos mase tokom osmotske dehidracije	6
2.2.3. Putevi prenosa.....	7
2.3. UTICAJ RAZLIČITIH PARAMETARA NA PROCES OSMOTSKE DEHIDRATACIJE.....	9
2.3.1. Veličina i oblik materijala	10
2.3.2. Stepen zrelosti materijala.....	10
2.3.3. Vrsta predtretmana	10
2.3.4. Temperatura osmotskog rastvora.....	10
2.3.5. Karakteristike rastvorka.....	11
2.3.6. Mešanje osmotskog rastvora	11
2.3.7. Odnos osmotski rastvor/uzorak	11
2.3.8. Radni pritisak.....	11
2.3.9. Koncentracija osmotskog rastvora.....	12
2.3.10. Vrsta osmotskog rastvora	12
2.3.11. Uticaj osmotske dehidracije na karakteristike kvaliteta tretiranog biljnog materijala	13
2.3.12. Uticaj osmotske dehidracije na boju tretiranog biljnog materijala	13
2.3.13. Uticaj osmotske dehidracije na rehidraciju tretiranog biljnog materijala.....	14
2.4. MELASA ŠEĆERNE REPE	14
2.4.1. Hemijski sastav melase.....	15
2.4.2. Primena melase.....	16
2.5. ANTIOKSIDANTI U HRANI.....	17
2.5.1. Fenolna jedinjenja.....	18
2.5.2. Uticaj osmotske dehidracije na antioksidativnost.....	20
2.5.3. Antioksidativni potencijal melase šećerne repe.....	21
2.6. KOPRIVA (URTICA DIOICA L.) KAO SIROVINA ZA OSMOTSKI TRETMAN.....	22
2.6.1. Morfologija koprive.....	23
2.6.2. Upotreba koprive	25
2.6.3. Antioksidativnost koprive.....	26
3. EKSPERIMENTALNI DEO	27
3.1. MATERIJAL.....	27
3.2. EKSPERIMENTALNI POSTUPAK OSMOTSKE DEHIDRATACIJE.....	28
3.3. KINETIKA OSMOTSKOG TRETMANA LISTA KOPRIVE	29
3.4. METODE ODREĐIVANJA A_w VREDNOSTI	30
3.5. METODE ANALIZE SADRŽAJA MINERALNIH MATERIJA	30
3.6. METODE MIKROBIOLOŠKIH ANALIZA	30
3.7. ODREĐIVANJE ANTIOKSIDATIVNE AKTIVNOSTI.....	31
3.7.1. Priprema ekstrakata za određivanje antioksidativne aktivnosti.....	31
3.7.2. Određivanje sadržaja ukupnih fenola metodom Folin–Ciocalteu (FC).....	31
3.7.3. Određivanje ukupne redukujuće moći FRAP metodom.....	32

3.7.4. Određivanje sposobnosti neutralizacije ABTS radikala (TEAC metoda)	33
3.7.5. Određivanje sposobnosti neutralizacije DPPH radikala	34
3.7.6. DC polarografsko merenje antioksidativne aktivnosti	35
3.8. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA	35
3.8.1. Deskriptivna statistika	35
3.8.2. Metoda odzivnih površina (RSM Response Surface Methodology)	36
3.8.3. Analiza glavnih komponenti (PCA- Principal Components Analysis)	39
3.8.4. Indeks relativnog antioksidativnog kapaciteta (engl. Relative Antioxidant Capacity Index - RACI) i fenolni antioksidativni kapaciteti (engl. Phenolic Antioxidant Coefficients - PAC)	40
3.8.5. Klaster analiza (CA)	41
3.8.6. ANN modeli (artificial neural networks).....	42
3.8.7. Analiza osetljivosti	46
4. REZULTATI I DISKUSIJA	47
4.1. HEMOMETRIJSKA ANALIZA UTICAJA TEHNOLOŠKIH PARAMETARA NA PROCES OSMOTSKE DEHIDRATACIJE LISTA KOPRIVE (URTICA DIOICA L.)	47
4.1.1. Gubitak vode (WL) osmotski dehidriranog lista koprive	48
4.1.2. Priraštaj suve materije (SG) u uzorcima osmotski dehidriranog lista koprive	50
4.1.3. Aktivnosti vode (a_w) u uzorcima osmotski dehidriranog lista koprive.....	52
4.1.4. Sadržaj suve materije (DM) osmotski dehidriranog lista koprive	54
4.1.1.1. Matematičko modelovanje odziva WL, SG, DM i a_w tokom osmotskog tretmana lista koprive RSM metodom	56
4.1.1.2. Modeli odziva WL, SG, a_w i DM osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R1	56
4.1.1.3. Modeli odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R2....	59
4.2. UTICAJ PROCESNIH PARAMETARA NA UKUPNI SADRŽAJ MINERALA OSMOTSKI TRETIRANOG LISTA KOPRIVE	61
4.2.1.1. Promena sadržaja kalcijuma (Ca) u osmotski dehidriranom listu koprive	64
4.2.1.2. Promena sadržaja magnezijuma (Mg) u osmotski dehidriranom listu koprive	65
4.2.1.3. Promena sadržaja natrijuma (Na) u osmotski dehidriranom listu koprive	66
4.2.1.4. Promena sadržaja kalijuma (K) u osmotski dehidriranom listu koprive.....	67
4.2.1.5. Promena sadržaja gvožđa (Fe) u osmotski dehidriranom listu koprive	68
4.2.1.6. Promena sadržaja bakra (Cu) u osmotski dehidriranom listu koprive	69
4.2.1.7. Promena sadržaja cinka (Zn) u osmotski dehidriranom listu koprive	70
4.2.1.8. Promena sadržaja mangana (Mn) u osmotski dehidriranom listu koprive	71
4.2.1.9. Promena sadržaja kobalta (Co) u osmotski dehidriranom listu koprive	72
4.2.2. Modeli osmotske dehidratacije lista koprive za minerale u rastvoru	73
4.2.3. Modeli osmotske dehidratacije lista koprive za minerale u rastvoru R ₂	77
4.3. MIKROBIOLOŠKA ANALIZA OSMOTSKI TRETIRANOG LISTA KOPRIVE.....	81
4.3.1. Modeli osmotske dehidratacije lista koprive za mikrobiološke parametre u rastvorima R ₁ i R ₂ ...	84
4.4. UTICAJ PROCESNIH PARAMETARA NA UKUPNI ANTIOKSIDATIVNI POTENCIJAL I SADRŽAJ FENOLA	87
OSMOTSKI TRETIRANOG LISTA KOPRIVE	87
4.4.1. Promena antioksidativnog potencijala lista koprive tokom osmotskog procesa	89
4.4.2. Zavisnost parametara antioksidativnog potencijala od parametara procesa tokom osmotskog tretmana	89
4.4.3. Modeli osmotske dehidratacije lista koprive za antioksidativni potencijal u rastvoru R ₁	93
4.4.4. Modeli osmotske dehidratacije lista koprive za antioksidativni potencijal u rastvoru R ₂	96
4.5. IZRAČUNAVANJE RELATIVNOG INDEKSA ANTIOKSIDATIVNOG KAPACITETA I KOEFICIJENATA FENOLNE ANTIOKSIDATIVNOSTI.....	99

4.6. KLASTER ANALIZA (CA)	100
4.7. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI (ENGL. PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS - PCA)	103
4.8. VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE	105
4.8.1. Simulacija ANN	106
4.9. ANALIZA OSETLJIVOSTI (SENSITIVITY ANALYSIS)	112
5. ZAKLJUČAK	116
6. LITERATURA	119

1. UVOD

Vitamini, minerali i antioksidativna svojstva voća, povrća i začina, imaju veoma značajnu ulogu z ljudsko zdravlje. Kako bi se dobili različiti proizvodi ili samo sačuvali od kvarenja, pribegava se različitim vidovima konzervisanja hrane. Konzervisanje hrane uključuje različite procese, koji imaju svrhu da u što većoj meri i tokom što dužeg perioda sačuvaju izvorni oblik proizvoda, kao i da se spreče njihovo kvarenje i degradaciju. Jedan od najstarijih procesa konzervisanja je sušenje. Procesom sušenja se svakako produžava trajnost proizvoda, ali mogu se pojaviti i neke neželjene promene, poput promena u boji, teksturi, kao i delimičan gubitak nutritivnih svojstava. Dužina trajanja procesa sušenja uglavnom je osnovni uzročnik koji dovodi do smanjivanja kvaliteta proizvoda i do velike potrošnje energije. U poslednje vreme sve veći broj istraživanja se bazira na pronalaženju rešenja za ove vrste problema, koji se javljaju tokom klasičnog, konvektivnog, vida sušenja. Takođe, teži se primeni što kraćih i energetski isplativijih procesa sušenja, koji omogućavaju da se u što većoj meri sačuvaju izvorne karakteristike, postojanost kvaliteta i nutritivna vrednost proizvoda.

Jedan od procesa sušenja koji pokazuje brojne prednosti u odnosu na tradicionalne metode sušenja je osmotska dehidratacija. Njene prednosti su brojne: niska radna temperatura, uklanjanje vode u tečnom obliku, poboljšanje i održanje faktora kvaliteta proizvoda, mogućnost ponovne upotrebe rastvora, skraćenje vremena sušenja, energetska efikasnost i ekološka prihvatljivost. Proces osmotske dehidratacije sve se više primenjuje u prehrambenoj industriji kao metoda konzervisanja.

Osmotski tretman se primenjuje samostalno ili u kombinaciji se drugim metodama sušenja sa ciljem smanjenja sadržaja vode u hrani uz povećanje njene održivosti. Iz uzoraka različitog porekla, ovim tretmanom se delimično uklanja voda. Proces dehidratacije bazira se na potapanju materijala u hipertonični rastvor, a pogonska sila za prenos mase vode i rastvorenih materija je razlika osmotskih pritisaka rastvora i sirovine.

Na efikasnost osmotskog tretmana utiču mnogi faktori: predtretman, pritisak, temperatura rastvora, priroda i koncentracija osmotskog agensa, mešanje rastvora, fizičko-hemijska svojstva i struktura tretiranog materijala, geometrija, odnos masa uzorka i osmotskog rastvora. Izbor hipertoničnog rastvora je jedan od važnijih faktora, on određuje stopu difuzije tokom procesa i u velikoj meri utiče na senzorne osobine i kvalitet dehidriranog proizvoda.

Melasa predstavlja osmotski rastvor koji je veoma efikasan zahvaljujući svojim izvanrednim osobinama. Melasa je veoma složen sistem, promenljivog hemijskog sastava. Sadrži veliki broj organskih i neorganskih jedinjenja. Jedinjenja bitna u ljudskoj ishrani, koje između ostalih sadrži melasa su mineralne materije, vitamini, belančevine i dr.

Melasa predstavlja veoma jeftinu sirovinu, uvek dostupna, sa visokim sadržajem suve materije (preko 80%). Pogodna je da se koristi u procesu osmotske dehidracije kao rastvor bez prethodne pripreme, čime doprinosi uštedi energije, vremena i troškova.

Kopriva (*Urtica dioica*) je kao biljka veoma često predstavljena jednom od najvrednijih biljaka na svetu. Pored njene karakteristične osobine da žari i nadražuje kožu, njeni svi delovi od korena do cveta su veoma lekoviti i sve češće se koristi u lečenju raznih bolesti. Bogata je mnogobrojnim mineralima (Fe, Mg, Zn, K i dr.) i vitaminima (C, A, B₂, B₅).

Da bi se održala fizička, hemijska, mikrobiološka i antioksidativna stabilnost lista koprive, potrebno je primeniti neki vid konzervisanja. Osmotskom dehidracijom lista koprive dobija se dehidrirani proizvod produžene održivosti, poboljšanih nutritivnih svojstava i pogodnih karakteristika za dalju tehnološku obradu ili primenu u nekoj od grana prehrambene industrije. Literaturnih podataka o osmotskom tretiranju koprive u melasi nema, tako da ovim postupkom predstavljen novi način sušenja koprive, sa akcentom na poboljšanje njenih hranljivih i antioksidativnih vrednosti.

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije baziraju se na osmotskom tretmanu lista koprive u rastvorima melase šećerne repe, saharoze i natrijum hlorida. Zatim se prelazi na poređenje uticaja primenjenih rastvora na održivost, nutritivni kvalitet i senzorna svojstva osmotski tretiranih uzoraka. Jedan od ciljeva disertacije je mogućnost da se poboljšaju ili sačuvaju nutritivna i funkcionalna svojstva lista koprive, nakon procesa osmotske dehidracije. Na osnovu parametara koji su praćeni tokom procesa (gubitak vlage, sadržaj suve materije, priraštaj suve materije, aktivnost vlage, mikrobiološki parametri, sadržaj minerala, antioksidativni potencijal i ukupan broj fenola) mogu se posmatrati promene karakteristika i održivost tretiranog lista koprive. Nakon obrade praćenih parametara, može se sagledati uticaj osmotske dehidracije na list koprive i tako optimizovati procesni uslovi (temperatura, vreme trajanja procesa i priroda primenjenih osmotskih rastvora), da se na kraju procesa dobije proizvod poboljšanih nutritivnih, funkcionalnih i mikrobioloških osobina.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Osmotska dehidracija

Kao tema za istraživanje, u vidu nove metode konzervisanja hrane, osmotska dehidracija započeta je 1966. godine od strane Ponting-a i saradnika. Do danas, objavljen je veliki broj naučnih radova koji su se bavili osmotskom dehidracijom, kako biljnog, tako i životinjskog tkiva. Sva ova dugogodišnja istraživanja najveću pažnju obraćala su na mehanizam osmotske dehidracije, uticaj procesnih parametara na osmotsku dehidraciju, matematičko modelovanje gubitka vode i priraštaja suve materije tokom osmotske dehidracije kao i poboljšanje mehanizma prenosa mase (*Lenart i Lewicki, 1987; Torreggiani, 1993; Lewiciki, 2005; Khin i sar, 2005; Mastrocola i sar 2005; Koprivica 2013*).

Osmotska dehidracija može se definisati kao proces delimičnog uklanjanja vode iz životinjskog ili biljnog tkiva. Do uklanjanja vode dolazi direktnim kontaktom materijala sa hipertoničnim rastvorom. Osmotski tretirani materijali su delimično konzervisani proizvodi, zbog ne potpunog uklanjanja vode iz istih (*Lazarides, 1994*). Da bi se upotpunosti sprečio rast i razmnožavanje mikroorganizama, potrebna je veća redukcija vode (*Le Maguer, 1996*).

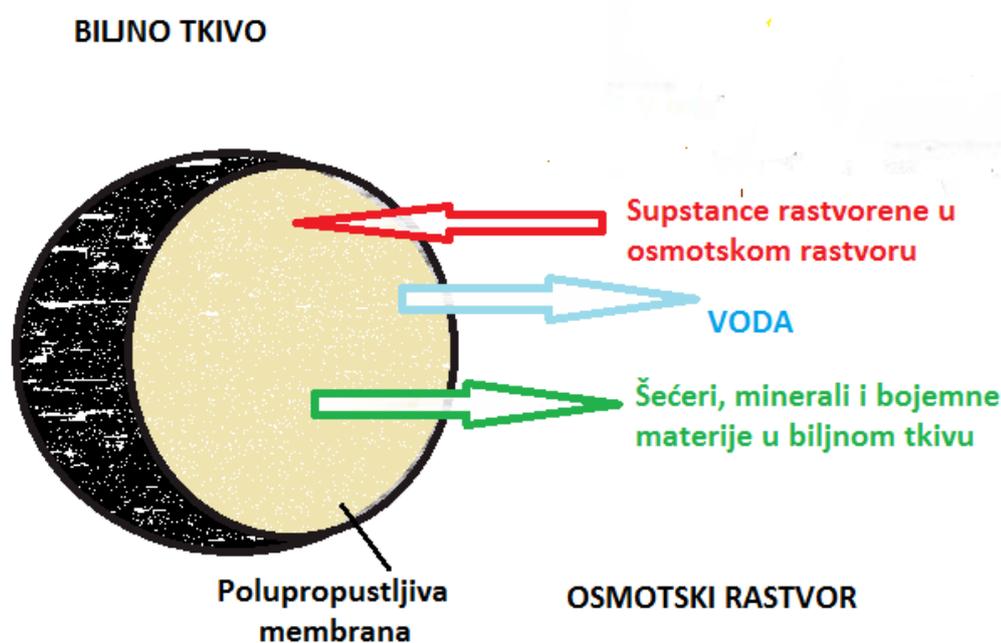
Sa difuzijom vode iz biljnog tkiva u okolni rastvor, tokom osmotske dehidracije, istovremeno dolazi do protivstrujne difuzije rastvorenih supstanci iz osmotskog rastvora u materijal koji se tretira (*Filipović 2013*), Slika 2.1. Difundovanje fluksa vode iz uzorka je omogućeno, za razliku od fluksa rastvorenih supstanci zbog polupropustljivog biljnog tkiva, koje onemogućuje ulazak većih molekula iz osmotskog rastvora, dok istovremeno omogućuju migraciju vode iz tkiva u rastvor. Usled činjenice da ćelijska membrana, koja je odgovorna za prenos mase tokom osmotske dehidracije, nije savršeno selektivna, dolazi i do trećeg toka prenosa mase koji podrazumeva difuziju materije (šećera, kiselina, minerala, vitamina) iz biljnog tkiva u okolni rastvor koji veoma utiče na senzorske, nutritivne i funkcionalne karakteristike finalnog proizvoda. Nutritivni kvalitet finalnog proizvoda prevashodno zavisi od početnog materijala koji se tretira (*Radojčin 2015; Koprivica 2015*). Osmotski dehidrirana hrana ima značajno veću otpornost na enzimatsko tamnjenje, jer je tokom procesa materijal konstantno potopljen u osmotskom rastvoru i nema kontakta sa vazduhom. Samim tim nije potrebna primena SO₂ i/ili blanširanja u cilju zaštite od enzimatskog tamnjenja.

Primena osmotske dehidracije u prehrambenoj industriji ima brojnih prednosti poput: poboljšanja i održanja faktora kvaliteta proizvoda (tekstura, boja, stabilnost), isključivanja hemijskog predtretmana, blagog temperaturnog režima, skraćanja vremena sušenja, energetske efikasnosti i ekološke prihvatljivosti

(Waliszewski i sar., 1999; El-Aouar i sar., 2006; Filipović 2013). Prema tome, osmotska dehidracija postaje sve popularniji metod konzervisanja u prehrambenoj industriji (Filipović i sar., 2014).

Osmotska dehidracija pored mnogobrojnih benefita ima i negativnu stranu, gde se ubrajaju visok priraštaj suve materije koji pruža dodatni otpor difuziji vode, vreme koje proces zahteva, ispiranje uzorka, brz gubitak vlage i dalje upravljanje iskorišćenog osmotskog rastvora (Filipčev, 2009).

Zbog pozitivnog efekta na nutritivne i funkcionalne osobine tretiranog materijala, osmotska dehidracija se veoma često koristi kao predtretman drugim metodama sušenja (smrzavanje, konvektivno i mikrotalaosno sušenje) (Pavkov, 2012; Radojčin i sar., 2013; Lončar, 2015).



Slika 2.1. Šematski prikaz procesa osmotske dehidracije biljnog tkiva (Urle i Schubert, 2001)

2.2. Mehanizam osmotske dehidracije

2.2.1. Osmotski pritisak

Voda je najvažnija komponenta hrane koja svojim termodinamičkim stanjem utiče na mikrobiološku i hemijsku stabilnost, kao i senzorne osobine proizvoda. Preko aktivnosti vode (a_w) se može izraziti njeno termodinamičko stanje. Za potpuno suve materije vrednost aktivnosti vode je 0, a 1 za čistu vodu. Što su vrednosti aktivnosti vode manje, to je i mogućnost rasta mikroorganizama manja (Potter i Hotchkiss, 1998).

Tokom procesa osmotske dehidracije, voda u rastvoru je u interakciji sa rastvorenom supstancom. Takvo energetska stanje izraženo na 1 mol supstance, naziva se hemijski potencijal (Nićetin 2017; Lewicki i Lenart, 2006).

Do opadanja vrednosti hemijskog potencijala vode dolazi, porastom koncentracije rastvorene supstance. Hemijski potencijal može da se izrazi preko aktivnosti vode (El-Aouar i sar., 2006):

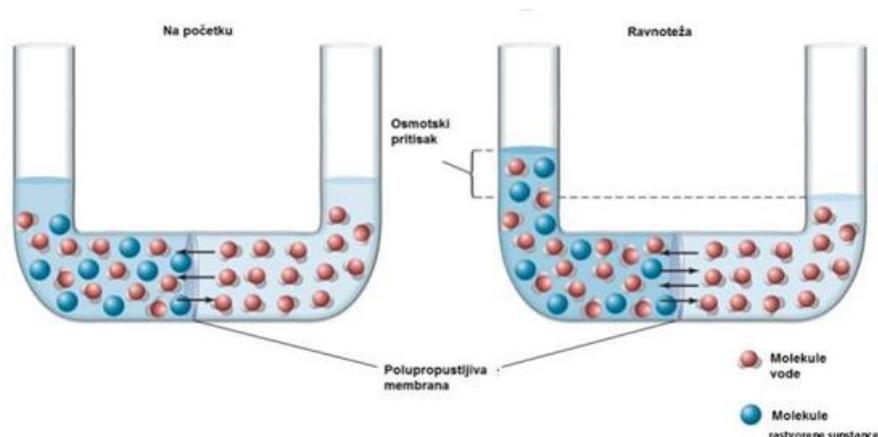
$$\mu_w = \mu_{ow} + RT \ln a_w \quad (2.1)$$

gde je: μ_w – hemijski potencijal vode; μ_{ow} – standardni hemijski potencijal vode; R – univerzalna gasna konstanta ($R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$); T – apsolutna temperatura; a_w – aktivnost vode.

Razmena energije dva sistema odvija se sve dok se ne uspostavi ravnoteža, odnosno ne izjednače hemijski potencijali. Promenom pritiska ili promenom koncentracije postiže se ravnotežno stanje, pri izotermnim uslovima. Neophodan pritisak za uspostavljanje ravnotežnog stanja između rastvora i čistog rastvarača naziva se osmotski pritisak. Osmotski pritisak je veći što je koncentracija rastvora veća i obrnuto, i izražen je prema sledećoj jednačini (Lewicki i Lenart, 2006):

$$\Pi = -\frac{RT}{V} \ln a_w \quad (2.2)$$

gde je: Π - osmotski pritisak; V - molarna zapremina rastvora.



Slika 2.2. Osmotski pritisak (<http://virtual-chem.blogspot.com/2013/06/osmoza.html>)

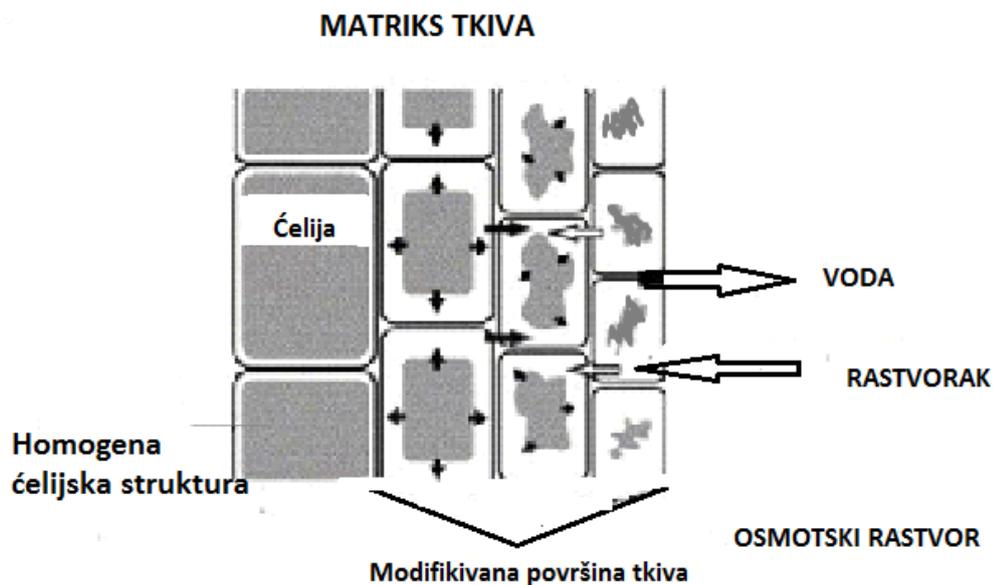
Do pojave osmotskog pritiska dolazi usled razlike koncentracija u sistemu. Osmotski pritisak u direktnoj vezi sa pojavom difuzije može se definisati kao merilo težnje nekog sistema da difuzijom povrati ravnotežu koncentracija (Slika 2.2.) (*Filipović, 2013*).

Pojava sile za prenos mase se primenjuje u procesu osmotske dehidracije za uklanjanje vode iz materijala biljnog i životinjskog porekla (*Lewicki i Lenart, 1992*).

2.2.2. Prenos mase tokom osmotske dehidracije

Ćelijske membrane se mogu širiti i razvlačiti tokom rasta i stvaranja turgora unutar ćelije. Tokom osmotske dehidracije, polupropustljive membrane predstavljaju glavni otpor prenosu mase (*Rastogi i sar., 2002*). Potapanjem biljnog tkiva u hipertonični rastvor ostvaruje se kontakt ćelija u prvom sloju materijala i rastvora. Ovaj kontakt prouzrokuje gubitak vode, do koga dolazi zbog koncentracionog gradijenta između površinskih ćelija i hipertoničnog rastvora. Sa gubitkom vode dolazi skupljanja ćelija. Nakon skupljanja ćelija prvog sloja, uspostavlja se razlika u hemijskom potencijalu vode ćelija prvog i drugog sloja. Nakon uspostavljanja ove razlike, voda iz ćelija drugog sloja prelazi u ćelije prvog sloja, pri čemu dolazi do skupljanja i ovih ćelija. Prenos mase i skupljanje tkiva kreću od površinskih slojeva ka centralnim slojevima materijala i zavise od vremena trajanja procesa. Na kraju, ćelije centralnih slojeva materijala gube vodu, a proces prenosa mase se nakon dužeg perioda kontakta materijal/rastvor približava ravnotežnom stanju. Tokom procesa osmotske dehidracije prenos mase i skupljanje tkiva odvija se istovremeno (slika 2.3.) (*Le Maguer i sar., 2003; Shi i Xue, 2009; Phisut, 2012*).

Tokom osmotske dehidracije ograničeno prodiranje rastvorka u spoljašnje slojeve materijala dovodi do promene, teksture, hemijskog sastava, ukusa i nutritivnog kvaliteta finalnog proizvoda (*Warczok, 2005*). Visok osmotski pritisak u spoljašnjim zonama tkiva, prouzrokuje razaranje pojedinih delova ćelija (slika 2.3.) i dolazi do zadržavanja u ovoj zoni rastvorka koji prodire u tretirani material (*Bolin i sar., 1983; Lenart i Flink, 1984*). Molekuli saharoze prodiru u površinski sloj biljnog tkiva debljine 23 mm dok najveće promene u sadržaju vode nastaju u sloju debljine do 5 mm (*Shi i Le Maguer, 2002*).



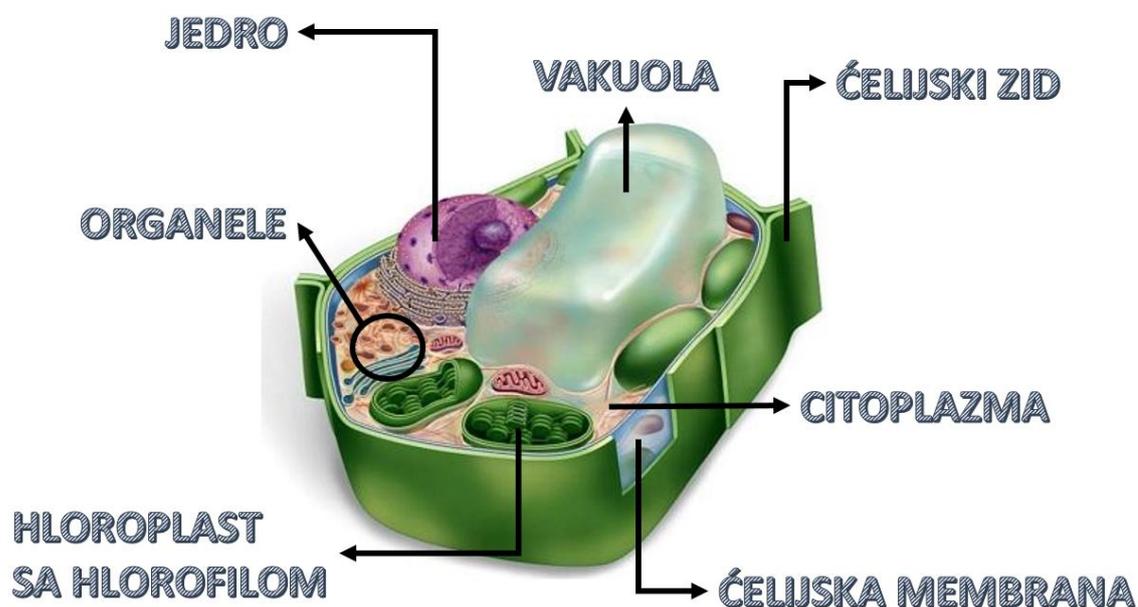
Slika 2.3. Šema promena u ćelijama biljnog tkiva tokom osmotske dehidracije (Agneli i sar., 2005)

U početku procesa osmotske dehidracije najveći sadržaj saharoze prodire u površinske slojeve tkiva, dok je prodiranje saharoze u srednje i unutrašnje slojeve zanemarljivo. Nakon ovog perioda dolazi do prodiranja rastvorka i u ostale slojeve usled difuzije iz spoljašnjih slojeva materijala (Chenlo-a i sar., 2007). Tokom osmotske dehidracije prodiranje osmoaktivnih supstanci prouzrokuje nastanak koncentrovanog, čvrstog sloja na površini biljnog tkiva koji stvara dodatni otpor prenosu mase (Lenart i Lewicki, 1984; Lenart 1994). Količina vode koja se izdvoji iz tkiva je veća od količine rastvorenih supstanci koje difunduju u tkivo iz osmotskog rastvora, i kao posledica dolazi do skupljanja biljnog tkiva (Sablani i sar., 2002). Nutritivni i senzorski kvalitet finalnog proizvoda veoma zavisi od prenosa mase tokom osmotske dehidracije (Lewicki i Porzecka-Pawlak, 2005).

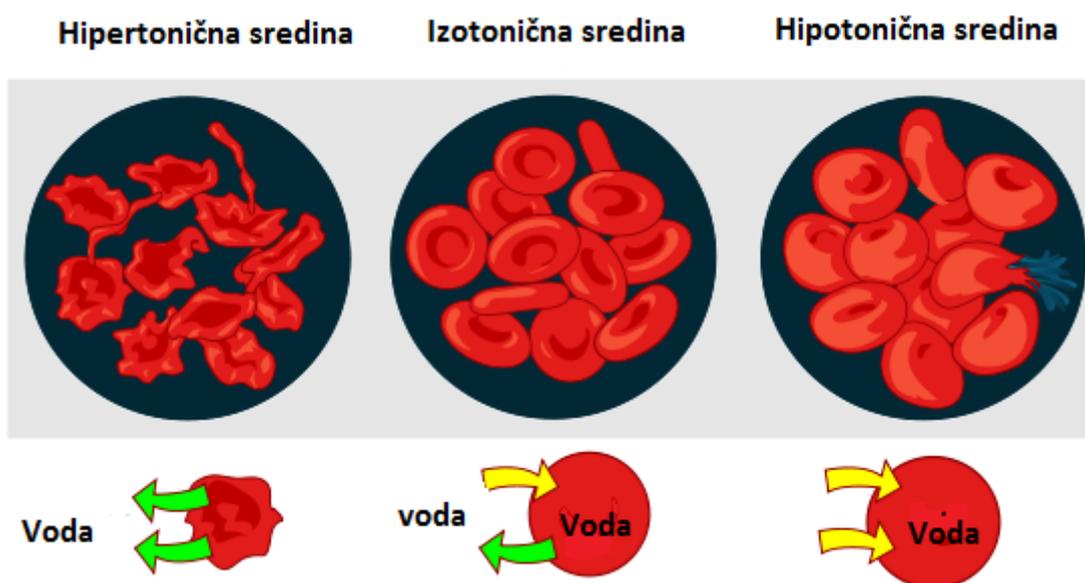
2.2.3. Putevi prenosa

Unutar ćelijske vakuole, rastvor ima svoj osmotski pritisak i njime potiskuje citoplazmu koja pritiska citoplazmatsku membranu (plazmalemu) i ćelijski zid (Slika 2.4.). Osmotski pritisak se naziva turgor i predstavlja razliku između osmotskog pritiska koji vlada unutar ćelije i sredine koja je okružuje. Do povećavanja turgora, dolazi usled prodiranja vode u ćeliju. Kao posledica izjednačavanja osmotskog pritiska unutar ćelije i osmotskog pritiska okolne sredine nastaje turgor jednak nuli, a celokupan sistem je u stanju ravnoteže. Ako je osmotski pritisak rastvora koji okružuje ćeliju niži od pritiska koji vlada unutar same ćelije (hipotonična sredina), dolazi do difuzije i bubrenja ćelije. Viši osmotski pritisak rastvora koji okružuje ćeliju (hipertonična sredina) dovodi do izdvajanja vode iz ćelije i njenog skupljanja (slika 2.5.). Usled izdvajanja vode iz protoplazme ćelije, dolazi do odvajanja plazmoleme od ćelijskog zida, pri čemu se prostor između

plazmoleme i ćelijskog zida ispunjava hipertoničnim rastvorom. Ovaj proces se naziva plazmoliza (Azarpazhooh i Ramaswamy, 2010).



Slika 2.4. Građa biljne ćelije (<https://www.shtreber.com/celija-osnovna-jedinica-gradje-zivihorganizama>)



Slika 2.5. Ćelije u različitim sredinama (<https://www.instrukcije-poduka.com/plazmoliza-i-deplazmoliza.html>)

Analiziranjem prenosa mase tokom osmotske dehidracije posmatra se komadić tkiva, a ne jedna ćelija, zatim se po pravilu epidermalni sloj i kutikula uklanjaju, te se u materijalu posmatraju samo parenhimsko tkivo, vaskularno tkivo i međućelijski prostor (*Spanswick, 1976*).

Kroz kapilarne kanale koji ispunjavaju ekstracelularni prostor tkiva odvija se prodiranje rastvorka i gubitak vode tokom osmotske dehidracije. Glavni put za prenos mase čini ekstracelularni proctor, ispunjen vodom ili rastvorom (*Shi i Le Manguer, 2003*).

Prenos vode iz ćelije u ekstracelularni prostor kroz kapilarne kanale koji ispunjavaju ekstracelularni prostor i pore u ćelijskom zidu naziva se glavni put (*Lauchli, 1976*). Drugi put za prenos mase, nazvan simplastni transport, podrazumeva prenos vode i rastvoraka između susednih ćelija, preko plazmodezme ćelijskog zida. Simplastni tok vode i rastvorka kreće iz ćelija koje se nalaze u dubljim slojevima materijala prema ćelijama na površini, a sve zahvaljujući razlici pritiska u ćelijama. Ova dva toka prenosa vode su potpuno nezavisna jedan od drugog (*Kuzelov, 2012*).

Dominantniji vid prenosa mase u biljnom tkivu je svakako apoplastni transport. Selektivno propustljive membrane omogućavaju transport vode i rastvorka kroz membrane - transmembranski transport. Pogonska sila za transmembranski transport je razlika u osmotskim pritiscima sa suprotnih strana membrane. Zabeležen je i direktni transport vode iz ćelija sa površine tkiva u okolni rastvor, tokom osmotske dehidracije, ali je ovaj vid prenosa mase zanemarljiv (*Shi i Le Manguer, 2003*).

2.3. Uticaj različitih parametara na proces osmotske dehidracije

Brzina difuzije vode iz ćelijskog materijala tokom osmotske dehidracije zavisi od velikog broja faktora koji se mogu podeliti u dve grupe:

- 1) Karakteristike sirovog materijala:
 - veličina i oblik materijala
 - stepen zrelosti materijala.

- 2) Parametri procesa:
 - vrsta predtretmana,
 - temperatura,
 - karakteristike rastvorka
 - mešanje rastvora,
 - odnos materijal/osmotski rastvor,
 - radni pritisak,
 - koncentracija osmotskog rastvora,
 - vrsta osmotskog rastvora,
 - vreme trajanja procesa.

2.3.1. Veličina i oblik materijala

Od oblika tretiranog materijala, zavise specifična površina materijala i dužina difuzionog puta vode i rastvorene supstance. Veći gubitak vode i priraštaj suve materije dovodi do povećanja specifične površine materijala koji se dehidrira (*Lerici i sar., 1985*). Tokom osmotske dehidracije veličina uzorka ima negativan uticaj na gubitak vode. Što je materijal veći izdvajanje vode će biti sporije, to je posledica porasta dužine difuzionog puta vode. Najčešće osmotski tretirani materijala su: kocke, cilindri, prstenovi, diskovi itd. (*Panagiotou i sar., 1998; Tortoe, 2010*).

2.3.2. Stepen zrelosti materijala

Stepen zrelosti biljnog materijala veoma utiče na strukturu biljnog tkiva. Od fizičkih karakteristika tkiva i hemijskih karakteristika materijala, između ostalog zavisi i kinetika procesa osmotske dehidracije (*Torreggiani, 1993; Rahman, 2007*). Na brzinu prenosa mase u tkivu, kao i na stepen rehidracije utiče poroznost tkiva. Sa stanovišta osmotske dehidracije kompaktnost tkiva utiče na njegove termofizičke i transportne osobine kada je u kontaktu sa osmotskim rastvorom i čini jednu od važnijih karakteristika materijala (*Mavroudis i sar., 1998; Lazarides, 2001*).

2.3.3. Vrsta predtretmana

Potapanje u 1% rastvor limunske kiseline, pre osmotske dehidracije radi se sa ciljem zaštite materijala od enzimatskog tamnjenja. Potapanje materijala u rastvore baza ili kiselina, pre osmotske dehidracije ili sušenja, odvija se radi zaštite prirodne boje materijala koji se tretira (*Hussain i sar., 2004; Sunkja Raghavan, 2004*). *Torreggiani (1993)* je ustanovio da hemijski predtretmani (SO_2) i blanširanje takođe štite prirodnu boju materijala tokom osmotske dehidracije ili sušenja. Prema *Islam i Flink-u (1982)* predtretmani poput blanširanja, smrzavanja, sulfatacije, zakišeljavanja dovode do porasta priraštaja suve materije, a samim tim smanjuju i efikasnost osmotske dehidracije.

2.3.4. Temperatura osmotskog rastvora

Tokom osmotske dehidracije temperatura osmotskog rastvora je parametar procesa koji najviše utiče na kinetiku izdvajanja vode i priraštaja suve materije. Sa povećanjem temperature rastvora prouzrokuje se povećanje gubitka vode (WL) dok je uticaj na priraštaj suve materije slabiji (*Beristein i sar., 1990*). Pri visokim temperaturama manja je difuzija rastvorka kroz ćelijsku membranu u odnosu na difuziju vode. Ravnotežno stanje postiže se zahvaljujući difuziji vode, a dobijeni osmotski dehidriran uzorak sadrži manje suve materije (*Rahman i Lamb, 1990*). Do smanjenje viskozitet osmotskog rastvora dolazi usled povišenih temperature, time se ubrzava izdvajanje vode kroz nabubrele ćelijske membrane, difuzija vode unutar biljnog tkiva i obezbeđuju bolji prenos mase na površini tretiranog materijala. U isto vreme povećava se i difuzija rastvorka

u materijal, ali brzina difuzije više zavisi od veličine rastvorka i koncentracije osmotskog rastvora (*Tortoe, 2010*).

2.3.5. Karakteristike rastvorka

Bolin i sar. (1983); Hawkes i Flink (1978); Lerici i sar. (1985) ustanovili su da fizičko-hemijske karakteristike rastvorka utiču na proces osmotske dehidracije. Ustanovljeno je da dejstvo osmotskog rastvora na proces osmotske dehidracije zavisi od molekulske mase, jonskog stanja i rastvorljivosti rastvorka u vodi. Molekulska masa rastvorka utiče na odnos gubitak vode/priraštaj suve materije. Što su molekuli rastvoraka manji to su veći dubina i obim prodiranja u tretirani materijal. Vrednosti pH takođe imaju uticaj na proces osmotske dehidracije. Niža pH vrednost prouzrokuje promenu teksture tkiva materijala koji se tretira, tako da se zakišeljavanjem rastvora povećava brzina uklanjanja vode (*Lenart, 1994; Lazarides, 1994*).

2.3.6. Mešanje osmotskog rastvora

Contreras i Smiril, (1981) su svojim istraživanjima ustanovili da se mešanjem rastvora poboljšava proces osmotske dehidracije. Veliki koncentracioni gradijent na dodirnoj površini uzorak/osmotski rastvor obezbeđuje se mešanjem, pri čemu se održava i konstantni kontakt površine uzorka sa koncentrovanim osmotskim rastvorom. Mešanjem osmotskog rastvora tokom procesa favorizuje se gubitak vode, posebno na nižim temperaturama (<30°C) zbog velikog viskoziteta rastvora na početku procesa, a dolazi i do smanjene brzine prodiranja rastvorka u tretirani materijal (*Rault-Wack i sar., 1989*). U dužim osmotskim procesima, priraštaj suve materije, mešanjem rastvora se drastično smanjuje dok u kraćim procesima mešanje nema uticaj na prodiranje rastvorka u uzorak (*Tortoe, 2010*).

2.3.7. Odnos osmotski rastvor/uzorak

Porastom odnosa osmotski rastvor/materijal povećava se gubitak vode i priraštaj suve materije tokom osmotske dehidracije (*Ponting i sar., 1966; Flink 1979*). Veći odnosi rastvor/materijal (10:1, 20:1 ili 30:1) koriste se da bi se što više izbeglo razblaženje osmotskog rastvora, pri izdvajanja vode iz materijala, a time smanjila i pogonska sila. Mnogi su u svojim istraživanjima koristili manji odnos rastvor/materijal (4:1 i 3:1), da bi lakše pratili promene koncentracije rastvora i tako nadgledali proces prenosa mase tokom osmotske dehidracije (*Conway i sar., 1983*).

2.3.8. Radni pritisak

Na prenos mase tokom osmotske dehidracije veoma utiče upotreba vakuuma, pri čemu i intenzivira kapilarni tok i difuziju vode, dok na prodiranje rastvorene supstance u tretirani materijal nema značajan uticaj (*Fito, 1994; Fito i Pastor, 1994*). Pozitivan uticaj na prenos mase tokom osmotske dehidracije ima i primena visokog hidrostatičkog pritiska, centrifugalne sile, visokog električnog polja i ultrazvuka (*Rahman, 2007*).

2.3.9. Koncentracija osmotskog rastvora

Povećavanje koncentracije osmotskog rastvora poboljšava gubitak vode, a samim tim i smanjuje ukupnu masu uzorka (*Conway i sar., 1983; Hawkes i Flink, 1978*). Aktivnost vode je još jedan parameter na koga utiče koncentracija rastvora. Sa porastom koncentracije smanjuje se aktivnost vode (*Biswal i sar., 1991; Marcotte i Maguer, 1991*). Svojim istraživanjima *Saurel i sar. (1994)* ukazali su da povećanje koncentracije rastvora prouzrokuje formiranje gustog, barijernog sloja na površini materijala koji poboljšava efekat izdvajanja vode iz materijala, a istovremeno i smanjuje gubitak nutrijenata tokom procesa. Skraćanjem procesa osmotske dehidracije i povećanjem koncentracije rastvora favorizuje se prodiranje rastvorka u tretirani material, što ima za posledicu manji odnos gubitka vode i priraštaja suve materije (WL/SG) (*Biswal i Le Maguer, 1989; Magee i sar., 1983*).

2.3.10. Vrsta osmotskog rastvora

Najčešće korišćeni osmotski agensi za pripremu osmotskog rastvora su saharoza i glukoza za voće i NaCl za povrće i meso. U upotrebi su i mnogi drugi osmotski agensi (CaCl_2 , invertni šećer, melasa i dr.). Svaki osmotski agens ima drugačiji efekat na proces osmotske dehidracije. Jedan od korišćenijih agenasa je saharoza (efikasna je za očuvanje isparljivih komponenti u osmotski dehidriranom proizvodu). Oduvek se koristi kao konzervans, jer smanjuje aktivnost vode u hrani. Rastvor saharoze smanjuju tamnjenje uzoraka tokom osmotske dehidracije, jer sprečava prodiranje kiseonika u tkivo. Zbog slasti rastvora, saharoza se manje koristi u osmotskoj dehidraciji povrća (*Farkas i Lazer, 1969*). Primenom rastvora fruktoze sadržaj suve materije uzorka je za 50% veći u odnosu na vrednost postignutu primenom saharoze, zbog veće brzine prodiranja unutar materijala (manji molekuli) (*Bolin i sar., 1983*). Sledeći u nizu je NaCl, on se uglavnom primenjuje kod osmotske dehidracije povrća i mesa. Sprečava oksidativno i neenzimatsko tamnjenje. U nekim slučajevima, dodatkom u rastvor šećera, pospešuje zaštitu prirodne boje uzorka. Sprečava i skupljanje površinskih slojeva tkiva (*Lenart i Flink, 1984*). Korišćenjem CaCl_2 povećava se čvrstoća tkiva jabuke i štiti teksturu tokom skladištenja. Štiti od tamnjenja zbog sinergističkog delovanja sa vitaminom C i SO_2 (*Ponting, 1973*). Kada bi se posmatralo sa teorijske strane, invertni šećer je mnogo efikasniji u poređenju sa rastvorom saharoze (iste koncentracije), jer ima dvostruko više molekula po jedinici zapremine. Međutim, praktično, veoma je mala razlika u brzini dehidracije voća u rastvorima saharoze i invertnog šećera iste koncentracije, na istoj temperaturi (*Ponting i sar., 1966*). Još jedan od agenasa je i melasa šećerne repe. Melasa kao osmotski agens pokazuje podjednaku efikasnost kao i saharoza, u smislu gubitka vode i priraštaja suve materije tokom osmotske dehidracije. Ona povećava nutritivni kvalitet tretiranog materijala zbog bogatstva nutritivno vrednih komponentata, koristi se za dehidraciju voća, povrća i mesa (*Ćurčić i sar., 2013; Šuput i sar., 2014; Filipović i sar., 2014; Nićetin i sar., 2014*).

2.3.11. Uticaj osmotske dehidracije na karakteristike kvaliteta tretiranog biljnog materijala

Osmotska dehidracija je predtretman kojim se mogu poboljšati nutritivna, senzorska i funkcionalna svojstva hrane, bez promene njenog integriteta (*Filipović i sar., 2014*). Osmotska dehidracija se uglavnom koristi kao polazni korak koji prethodi daljem konzervisanju namirnica sa visokim procentom vode, poput zamrzavanja (*Ponting i sar., 1966*), sušenja zamrzavanjem (*Hawkes i Flink, 1978*), vakuum sušenja (*Dixon i Jen, 1977*) mikrotalasnog zagrevanja (*Nelson i Datta, 2001*) i konvektivnog sušenja (*Mandala i sar., 2005*). Dostupan je veliki broj informacija u vezi primene osmotske dehidracije kao predtretmana konvektivnom sušenju (*Lemus-Mondaca i sar., 2009*). Osmotska dehidracija voća i povrća, kao predtretman konvektivnom sušenju, može imati veliki uticaj na kvalitet finalnog proizvoda/poluproizvoda (*Mišljenović i sar., 2012; Koprivica i sar., 2013*). *Sharma i sar. (1998)* su ispitivali uticaj predtretmana, kao što je blanširanje parom ili sulfatacija, na kvalitet jabuka nakon kombinovanog sušenja. *Riva i sar. (2005)* su primetili bolje očuvanje vitamina C u breskvi koja je prvo osmotski dehidrirana pa sušena na vazduhu nego kod breskve koja je sušena bez prethodnog osmotskog tretmana. Otkrili su da je ovaj fenomen posledica manje aktivnosti enzima fenoloksidaze i zaštitnog efekta šećera koji je impregniran tokom osmotske dehidracije. Nekoliko autora je otkrilo da je stabilnost teksture, ukusa i boje u sušenom voću i povrću unapređena primenom osmotskog predtretmana. Ovo je posebno važno, jer i boja može biti odlučujući faktor u potrošačkoj prihvatljivosti prehrambenih proizvoda (*Krokida i sar., 2000*). Tokom procesa osmotske dehidracije dolazi do mnogih promena u strukturi ćelije. Te promene obuhvataju promene strukture ćelijskog zida, razdvajanja srednje lamele, plazmolizu i skupljanje tkiva (*Alvarez i sar., 1995*). Promene u strukturi ćelije mogu imati veliki uticaj na transportna svojstva proizvoda tokom dalje prerade. Svi ovi fenomeni prouzrokuju promene optičkih ili mehaničkih karakteristika biljnog materijala, a samim tim utiču na izgled i teksturu finalnog proizvoda, respektivno. Tokom osmotske dehidracije dolazi do promene senzorskih svojstava tretiranog biljnog materijala usled prodiranja rastvorka unutar materijala i ispiranja prirodnih kiselina, boje i aromatičnih komponenti iz biljnog materijala. Kao finalni rezultat dobija se proizvod sa izmenjenim hemijskim sastavom (*Ničetin i sar., 2013*). Iako promene hemijskog sastava mogu pozitivno i negativno uticati na kvalitet finalnog proizvoda, sposobnost rehidracije osmotski osušenog voća je veoma mala, zbog brze impregnacije površinskog sloja tkiva šećerom (*Ničetin i sar., 2012; Ničetin i sar., 2013; Knežević i sar., 2013*).

2.3.12. Uticaj osmotske dehidracije na boju tretiranog biljnog materijala

Mnoga istraživanja su pokazala da kvalitet (boja, tekstura, obim rehidracije) konvektivno, vakuum ili smrzavanjem osušenog voća i povrća može biti unapređen osmotskim predtretmanom (*Knežević i sar., 2013; Karić, 2014*). Objavljena su mnoga naučna istraživanja na temu promene boje biljnog materijala tokom osmotske dehidracije. Boja je praćena merenjem svetloće (L^*), udela crvene/zelene boje (a^*) i žute/plave boje (b^*) kod uzoraka tokom ili nakon sušenja. *Falade i sar. (2007)* ustanovili su je promena boje voća

posledica fizičkih i hemijskih promena voćnog tkiva tokom osmotske dehidracije. Nakon analize L^* , a^* i b^* vrednosti kod osmotski dehidriranog i kombinovano osušenog (osmotski+konvektivno) uzorka lubenice, ustanovili su da se vrednosti ovih parametara povećavaju sa povećanjem koncentracije osmotskog rastvora. Prodiranje šećera unutar voćnog tkiva tokom osmotske dehidracije prouzrokuje stabilizaciju boje i smanjenje mogućnosti enzimatskog tamnjenja. Takođe, usled smanjenja a_w vrednosti smanjuje se mogućnost neenzimatskog tamnjenja voćnog tkiva tokom osmotske dehidracije (*Krokida i sar., 2000*). Osmotska dehidracija limitira ili smanjuje upotrebu konzervanasa kao što je SO_2 . Znatna količina vazduha je uklonjena iz tkiva, tako da tretman blanširanja pre osmotske dehidracije može biti izostavljen (*Torreggiani, 1993*).

2.3.13. Uticaj osmotske dehidracije na rehidraciju tretiranog biljnog materijala

Zbog velike zastupljenosti dehidrirane hrane u ljudskoj ishrani i njene sve veće dostupnosti, postoji potreba za razumevanjem procesa rehidracije. Dehidrirani proizvodi se, uglavnom, rehidriraju imerzijom u vodi ili drugim tečnostima, kao što su voćni sokovi, rastvori saharoze ili glukoze. Vraćanje svojstava svežeg proizvoda, potapanjem dehidriranog proizvoda u tečnu fazu važan je deo rehidracije. Rehidracija se odražava na fizičke i hemijske promene koje su se dogodile tokom osmotske dehidracije i zbog toga može biti upotrebljena kao pokazatelj kvaliteta proizvoda. Proces rehidracije uključuje tri istovremena koraka: apsorpciju vode unutar osušenog materijala, bubrenje rehidriranog proizvoda i difuziju rastvorljivih komponenti (*Lee i sar., 2006*). Otkriveno je da se povećanjem temperature tokom rehidracije ($40-80^\circ C$), značajno povećava zapremina većine voća i povrća (banana, jabuka, mrkva, krompir, paradajz, žuta/crvena/zelena paprika) (*Krokida i Marinos Kouris, 2003; Lević i sar. 2009*).

Postoje tri metode za procenu karakteristika rehidracije dehidriranih proizvoda:

- 1) kapacitet apsorpcije vode (WAC - water absorption capacity) - pokazuje kapacitet matriksa biljnog tkiva da apsorbuje vodu koja bi zamenila vodu izgubljenu tokom sušenja,
- 2) zadržavanje kapaciteta suve mase (DRC - dry mass retention capacity) – pokazuje sposobnost materijala da zadrži rastvorene supstance nakon rehidracije,
- 3) sposobnost rehidracije (RA - rehydration ability) pokazuje sposobnost dehidriranih proizvoda da se rehidriraju i pokazuje ukupno oštećenje biljnog tkiva prouzrokovanog i sušenjem i impregnacijom tokom rehidracije (*Maldonado i sar., 2010*).

2.4. Melasa šećerne repe

Kao nusprodukt u proizvodnji šećera javlja se melasa. Melasa je tamno mrki sirup, velike viskoznosti, dobija se nakon višestrukog uparavanja, kristalizacije i centrifugisanja soka, estrahovanog iz šećerne repe (Slika 2.6.). Specifična tamna boja melase posledica je prisustva melanoidini i drugih produkata karamelizacije (*Šušić i sar., 1995*).



Slika 2.6. Melasa šećerne repe (<http://www.mebofarms.com/molasses/>)

Melasa je višekomponentni sistem sa promenljivim hemijskim sastavom. Promene u hemijskom sastavu su posledica primenjenih tehnoloških procesa u fazi čišćenja difuzionih sokova, tehnološkog postupka u fazi kristalizacije saharoze i sastava polazne sirovine (Olbrich, 1963). Količine mineralnih materije, rafinoze i invertnog šećera najviše variraju u hemijskom sastavu melase (Šušić i Guralj, 1965).

2.4.1. Hemijski sastav melase

Hemijski sastav melase šećerne repe je izuzetno kompleksan. Melasa sadrži preko 200 različitih neorganskih i organskih jedinjenja. Uporednom analizom sastava pčelinjeg meda i melase utvrđeno je da melasa sadrži manje šećernih komponenti od meda za oko 25%, ali ima daleko više supstanci važnih za ishranu ljudi, kao što su: belančevine i druga aktivna azotna jedinjenja, mineralne materije i vitamini, prvenstveno vitamini B kompleksa (tabela 2.1.) (Šušić i Sinobad, 1989).

Tabela 2.1. Sadržaj vitamina u melasi šećerne repe (*Šušić i sar., 1995*):

Vitamin	µg/100 g melase
Inozit	570000,0
Pantotenska kiselina	13000,0
Nikotinska kiselina	5100,0
B6	540,0
B1	130,0
B2	41,0
Folna kiselina	21,0
Biotin	5,0

S obzirom da je nusproizvod, u melasi se zadržavaju svi sastojci iz biljne sirovine koji nisu uklonjeni izdvajanjem šećera (neekstrabilni šećer, minerali, vitamini, itd.). Pored toga, u melasi se mogu naći nenutritivne i štetne materije poput teških metala, pesticida i sl. Od nenutritivnih materija, jedino saponini (prisutni u šećernoj repi) potiču iz biosintetskog ciklusa biljne sirovine. Saponini predstavljaju triterpenske derivate polisaharida – glikozide i pokazuju hemolitičko delovanje. Sadržaj saponina u melasi šećerne repe (oko 0.025 %) se smatra neškodljivim za zdravlje ljudi (*Šušić i Sinobad, 1989*). Melasa sadrži SO₂ u malim količinama (neškodljivim po ljudsko zdravlje), koji potiče od SO₂ iz zakišeljene vode za ekstrakciju rezanaca (*Filipčev i sar., 2009*). Mikroorganizmi u melasu dospevaju sekundarnom kontaminacijom zbog skladištenja u nesterilnoj sredini (*Šušić i Sinobad, 1989*).

2.4.2. Primena melase

Primena melase:

1. Često se primenjuje kao stabilizator i vezivno sredstvo (izrada kalupa od pešćanika, u proizvodnji briketa uglja, cementa);
2. Kao sredstvo za kompostiranje;
3. Pekarskim i konditorskim proizvodima (uglavnom melasa šećerne trske)
4. Može se koristiti kao supstrat u mnogim fermentacionim postupcima kod proizvodnje etanola, pekarskog i pivskog kvasca, lizina, mononatrijum glutamata i limunske kiseline;
5. Dodatak u hrani za životinje (uglavnom melasa šećerne repe) (*Balat i sar., 2008; Lević i sar., 2009; Filipčev i sar., 2010; Koprivica i sar., 2013*).

Da bi se melasa šećerne repe mogla koristiti u prehrambene svrhe, neophodno je sterilisati i korigovati njen specifičan miris. Ograničavajući faktor u primeni melase kod ishrane ljudi je relativno visok sadržaj K^+ jona, koji može imati purgativno dejstvo. Preporučena dnevna količina je od 20 do 40 g (*Mišljenović, 2012*).

Šećeri, koji se nalaze u melasi, su u fermentabilnom obliku (mikroorganizmi mogu da usvoje i do 50%). Pored šećera, melasa sadrži i sve kvascu neophodne nutrijente (minerale i vitamine), pa se zato tradicionalno upotrebljava za proizvodnju bioetanola u evropskim zemljama (*Balat i sar., 2008*). Sadržaj kalijuma u melasi u velikoj meri utiče na njenu primenu u industriji vrenja, naročito na proizvodnju pekarskog kvasca. Pri nižem sadržaju kalijuma u melasi dolazi do smanjenja prinosa i kvaliteta kvasca. Melasa koja se koristi u proizvodnji pekarskog kvasca mora imati minimalno 3,5% kalijuma (*Šušić i sar., 1995*).

2.5. Antioksidanti u hrani

Antioksidanti su supstance, prisutne u manjoj koncentraciji u odnosu na supstrate koji oksidišu i mogu da spreče ili značajno smanje njihovu oksidaciju (*Vinčić, 2017*). Značaj antioksidanata je da štite prehrambene proizvode od oksidativnih transformacija, sa druge strane predstavljaju podršku in vivo postojećem antioksidativnom sistemu zaštite, kod svih aerobnih organizama (*Šućur, 2015*).

Veliki broj faktora utiče na aktivnost antioksidanata: koncentracija, temperatura, svetlost, tip supstrata, prisustvo mikrokomponenta koje deluju kao prooksidanti i fizičko stanje Sistema (*Bobinaitė i sar., 2013*). Faktori koji mogu da utiču na aktivnost antioksidanata u lipidnom sistemu su početna koncentracija primarnih proizvoda autooksidacije, i to hidroperoksida lipida i slobodnih masnih kiselina (*Vinčić, 2017; Borges i sar., 2009*).

Najveći broj komponenata hrane, u koje se ubrajaju, voda, ugljeni hidrati, proteini, vitamini, minerali i dr. su veoma izloženi promenama. Često su ove promene uzrok promena u aktivnosti antioksidanata u različitim sistemima hrane. Povišene temperature dovode do smanjenja aktivnosti antioksidanata (*Cho i sar., 2004; Dai i Mumper, 2010*).

Antioksidante možemo podeliti u dve kategorije:

- preventivni antioksidanti i
- antioksidanti koji prekidaju lančane reakcije oksidacije primarnih metabolita (*Genskowsky i sar., 2016*).

Preventivni antioksidanti (npr. glutation peroksidaze i katalaze) deaktiviraju aktivne kiseonikove vrste (npr. H_2O_2), ne formirajući nove slobodne radikale i takođe sprečavaju fazu inicijacije oksidacije (*Šućur, 2015*).

Antioksidanti koji prekidaju lančane reakcije oksidacije (chain-breaking) deluju kao „hvatači” kiseonikovih radikala, transformišući ih u stabilne, neradikalske proizvode. Čak i kada su prisutni u veoma

malim količinama, antioksidanti sprečavaju reakciju oksidacije. U biljkama deluju kao hvatači slobodnih radikala i pretvaraju radikale u manje reaktivne vrste. Aktivnost antioksidanata uključuje enzimske i neenzimske sisteme (Pavlović, 2015). U enzimske sisteme se ubrajaju superoksid dizmutaze (SOD), katalaze (CAT), peroksidaze (POX), askorbat peroksidaze (APX), glutation reduktaze (GR) i polifenol oksidaze (PPO), neenzimski su askorbinska kiselina (vitamin C), α -tokoferol, karotenoidi, i dr. (Renhua i sar., 2007).

Antioksidativni sistem radi po principu „hvatača“ toksičnih radikala proizvedenih tokom oksidativnog stresa, a glavna funkcija mu je da obezbedi opstanak biljkama u ovim uslovima (Asavei i sar., 2016). Svakim danom je interesovanje za prirodne antioksidante sve veće, zahvaljujući minimiziranja upotrebe ili potpunog eliminisanja sintetičkih prehrambenih aditiva usled njihovog štetnog dejstva. Sekundarni metaboliti biljaka koji imaju pozitivan efekat na zdravlje su fitohemikalije. Među fitohemikalijama najtraženiji antioksidanti su: fenolna jedinjenja, askorbinska kiselina, betalaini, tokoferoli i karotenoidi (Gayosso-De-Lucio i sar., 2014; Asavei i sar., 2016).

Eksperimenti, radovi i studije koje ističu pozitivnu ulogu voća, povrća, žitarica i drugih jestivih biljaka u preventivi i lečenju mnogih oboljenja kod čoveka, svakim danom su sve brojniji. Rezultati dobijeni na osnovu mnogobrojnih ispitivanja ukazuju na visok sadržaj prirodnih antioksidanata u biljkama (Abuajah i sar., 2018; McMacken i sar., 2018).

Začini i biljke kao dodaci u hrani postali su izuzetno interesantni zbog sadržaja antioksidanata koji pozitivno utiču na zdravlje. Prirodni antioksidanti i drugi biološki materijali predstavljaju potencijalno nutritivan i terapijski efekat (Malešević., 2016).

2.5.1. Fenolna jedinjenja

Fenolna jedinjenja obuhvataju široku grupu supstanci koje u svojoj strukturi imaju aromatični prsten sa jednom ili više hidroksilnih grupa. Najveći broj fenolnih jedinjenja je biljnog porekla (Nagendran i sar., 2006).

U tabeli 2.2. prikazana je klasifikacija prirodnih fenolnih jedinjenja (Abbas i sar., 2017).

Tabela 2.2. Klasifikacija prirodnih fenolnih jedinjenja

Osnovni skelet	Klasa	Primer
C6	Prosti fenoli	Katehol, hidrohinon, resorcinol
	Benzohinoni	1,2-Benzohinon, Hloranilinska kiselina
C6-C1	Fenolne kiseline	p-Hidroksibenzoeva kiselina, salicilna kiselina
C6-C2	Fenilsirćetne kiseline	p-Hidroksifenilsirćetna kiselina
C6-C3	Cimetne kiseline	Kafena kiselina, ferulna kiselina
	Fenilpropeni	Eugenol, miristicin
	Kumarini	Umbeliferon, eskuletin, skopolin
	Hromoni	Eugenin
C6-C4	Naftohinoni	Juglon
C6-C1-C6	Ksantoni	Mangostin, mangiferin
C6-C2-C6	Stilbeni	Rezveratrol
	Antrahinoni	Emodin
C6-C3-C6	Flavonoidi	
	Flavoni	Apigenin, luteolin, sinensetin, nobiletin, izosinensitin, tangeretin, diosmin
	Flavonoli	Kvercetin, kamferol
	Flavonol glikozidi	Rutin
	Flavanoli	Dihidrokvercetin i dihidrokamferol glikozidi
	Flavanoni	Hesperidin, naringenin
	Flavanonglikozidi	Hesperidin, neohesperidin, narirutin, naringin, eriocitrin
	Antocijanini	Glikozidi pelargonidina, peonidina, delfinidina, petunidina, cijanidina
	Flavanoli (katehini)	Katehin, epikatehin, galokatehin, epigalokatehin
	Halkoni	Floridzin, arbutin, halkonaringenin
(C6-C3)2	Lignini	Pinorezinol
(C6-C3-C6)2	Biflavonoidi	Agatisflavon, amentoflavon

Najveći broj fenolnih jedinjenja se prirodno javlja sa šećerom u glikolizovanom obliku. U takvom obliku su rastvorljivi u vodi i nalaze se u centralnoj vakuoli biljne ćelije (*Brabo de Sousa i sar., 2018*). Manji broj fenolnih jedinjenja su lipofilna sa velikim brojem o-metilovanih fenolnih grupa, nalaze se u ćelijskoj citoplazmi ili na površini biljaka u voskovima ili pupoljcima (*Derong Lin i sar., 2016*).

Fenolna jedinjenja viših biljaka, prisutna pretežno u lišću: flavonol glikozidi, konjugati hidroksi cinamata i kondenzovanih tanina (*Nagendran i sar., 2006*).

Fenolna jedinjenja imaju veliki broj važnih uloga kod biljaka. Od velike su važnosti kao materije koje štite ćeliju i doprinose boji voća i povrća, koja privlači životinje, potrebne za oprašivanje i raznošenje semena (*Cartea i sar., 2011; Mierziak i sar., 2014*). Ipak, jedna od važnijih, ako ne i najvažnija, uloga fenolnih jedinjenja, je u procesu u kome biljke štite same sebe protiv patogena i biljojeda (*Derong i sar., 2016*).

Nedavna istraživanja su dokazala da fenoli imaju i veliku zaštitnu ulogu za ljudski organizam pa se smatra da se konzumiranjem namirnica bogata fenolnim jedinjenjima (voće, povrće, žitarice, čajevi, začini itd.) može smanjiti rizik od oksidacijskih oštećenja i time zaštititi organizam od različitih oboljenja kao što su kardiovaskularne bolesti, moždani udar i neke vrste karcinoma (*Jolić, 2017*).

2.5.2. Uticaj osmotske dehidracije na antioksidativnost

Svakim danom je sve veće interesovanje za pronalaženjem procesa koji mogu da očuvaju ili poboljšaju senzorna i funkcionalna svojstva hrane. Istraživanja koja se bave osmotskom dehidracijom fokusirana su više na usavršavanje procesa, sa ciljem da se optimizuju uslovi i ubrza sušenje, dok se veoma malo njih bavi uticajem uslova na kvalitet krajnjeg produkta. Nauka danas sve više radi na razumevanju uticaja osmotske dehidracije na kvalitet produkta, a naročito na održivost i poboljšanje antioksidativnosti (*Vega–Mercado i sar., 2001; De Almeida i sar., 2018*).

Osmotska dehidracija poseduje prednost u očuvanju ukupne antioksidativnosti biljne sirovine, u odnosu na konvencionalne tehnike sušenja, zbog primene nižih temperatura, zaštitnog efekta okolnog osmotskog rastvora i ograničenja oksidativnom izlaganju (*Sharif i sar., 2013*).

Difuzija vode je tokom procesa osmotske dehidracije glavni mehanizam odgovoran za redukciju fenolnih jedinjenja. Rastvori veće koncentracije, na nižim temperaturama značajno utiču na očuvanje antioksidativne aktivnosti osmotski dehidriranih uzoraka. Osmoaktivne materije se inkorporiraju iz rastvora u potopljeni material i tako sprečavaju oštećenja ćelija površinskih slojeva tretiranog tkiva. Stvorena zaštitna barijera ograničava migraciju jedinjenja ka osmotskom rastvoru i tako doprinosi ukupnoj antioksidativnosti produkata (*Djendoubi i sar., 2013*).

Prodiranje osmotskog rastvorka u biljno tkivo stvara sredinu smanjene koncentracije kiseonika i vlage, pa se na taj način sprečava oksidacija bioaktivnih jedinjenja, putem aktivnosti enzima prisutnih u tkivu (*Kopjar*

i sar. 2009). U zavisnosti od vrsta osmotskog rastvora, direktno utiče zadržavanje bioaktivnih jedinjenja i ukupni antioksidativni potencijal tretiranog biljnog materijala. Na vreme zadržavanja antioksidativnih jedinjenja utiče vrsta rastvorka npr. rastvor saharoze omogućava veće zadržavanje antocijanina, a glukoza/fruktoza rastvori više utiču na očuvanje sadržaja fenola i ukupni antioksidativni kapacitet (*Petriccione i sar. 2015*).

2.5.3. Antioksidativni potencijal melase šećerne repe

Danas su naučna istraživanja sve više usmerena na pronalaženje alternativnih izvora antioksidanata prirodnog porekla. Sve se više obraća pažnja na melasu i njeno izolovanje iz otpadnih materijala u prehrambenim industrijama (*Wilson i sar., 2017*). Pored činjenice da je melasa šećerne repe izvor bogat mnogim važnim nutrijentima, postoje istraživanja koja ukazuju da melasa poseduje i značajan antioksidativni potencijal. Velikim brojem studija potvrđeno je prisustvo fenolnih jedinjenja u melasi, i samim tim otvara se mogućnost njene primene u industriji hrane. Zahvaljujući posedovanju prirodnih antioksidanata, dodavanjem melase može se poboljšati funkcionalnost, bezbednosni i zdravstveni aspekt hrane (*Shiow i sar., 2008; Chen i sar., 2015; Singh i sar., 2015*).

Postojeći antioksidativni potencijal melase potiče direktno iz šećerne repe ili trske (npr. fenolna jedinjenja), ili se pojavljuje tokom procesa prerade u proizvodnji šećera (npr. obojeni produkti Milardovih reakcija-melanoidini, ili produkti termalne ili alkalne degradacije šećera). U melasi usled brojnih reakcija aminokiselina i redukujućih šećera, formiraju se melanoidini (produkti neenzimskog tamnjenja), koji zaostaju u velikim koncentracijama u širokom rasponu, od malih organskih jedinjenja do kompleksnih aromatičnih polimera (*Chen i sar., 2015; Valli i sar., 2012*). *Delgado-Andrade i sar. (2005)* su svojim istraživanjima pokazali velike antioksidativne i antimikrobne sposobnosti melanoidini i njihov pozitivan uticaj na odbrambeni sistem živih organizama.

Tokom prerade melase šećerne repe, nastaju njeni koloranti, u najvećoj meri alkalnom razgradnjom inverta i formiranjem melanoidina, dok se koloranti šećerne trske uključuju u proces kao biljni pigmenti povezani sa polisaharidima, i često dolazi do promena tokom procesa. Postoji mogućnost da upravo ove razlike doprinose većoj ukupnoj antioksidativnosti melase šećerne trske u poređenju sa melasom šećerne repe (*Šarić i sar., 2016*).

Istraživanjima *Valli i sar. (2012)* u melasi šećerne repe identifikovan je jedan fenolni alkohol (gvajakol), tri fenolna aldehida (vanilinski, p-hidroksi-benzoev i protokatehinski aldehyd), dve cimetne kiseline (ferulinska i p-kumarinska) i šest benzoevih kiselina (protokatehinska, galna, p-hidroksibenzoeva, salicilna, siringinska i vanilinska). Upoređivanjem fenolnih jedinjenja melase šećerne trske i šećerne repe, uočeno je da je siringinska kiselina dominantna u melasi šećerne trske, dok je u melasi šećerne repe prisutna

u maloj količini. Sa druge strane, glavne fenolne komponentne u melasi šećerne repe bile su ferulna kiselina, luteolin i kamferol (*Chen i sar., 2016*).

Postoje mnogobrojne studije koje potvrđuju da ekstrakti melase šećerne repe mogu da doprinesu sprečavanju i usporavanju rasta kancerogenih ćelija u slučajevima raka dojke, jetre i debelog creva. Citotoksično delovanje protiv ovih vrsta kancera, ispoljila su tri fenolna jedinjenja (galna kiselina, cijanidin-3-O-glikozid hlorid i epikatehin), izolovana iz melase šećerne repe (*Chen i sar., 2016*).

2.6. Kopriva (*Urtica dioica* L.) kao sirovina za osmotski tretman

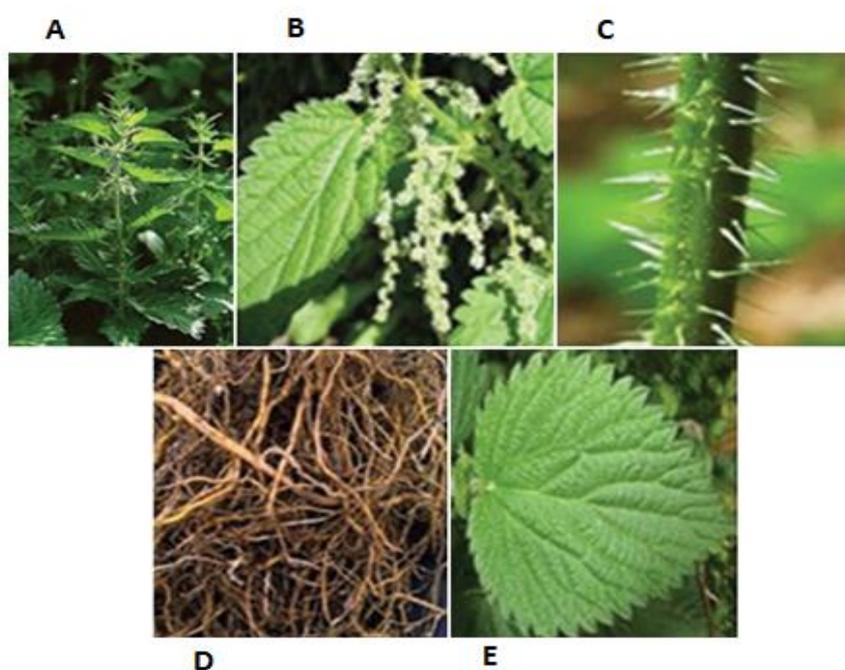
Kopriva (*Urtica dioica* L.) pripada porodici Urticaceae. Ima više od 40 rodova i preko 500 biljnih vrsta. Najrasprostranjenije su po Severnoj i Južnoj Americi, Evropi, Aziji, pa čak i Africi. Široko je rasprostranjena biljka, raste na vlažnim terenima, po obroncima planina i šumskim čistinama, tako da se može reći da je migrirala sa ljudima (*Ajers i sar., 2008; Zdravković i sar., 2012; De Vico i sar., 2018*). Kopriva se iz dana u dan koristi sve više, kao lek, hrana, boja, u kozmetici, kao i za zaštitu biljaka od bolesti. Broj medicinskih i farmakoloških istraživanja je svakim danom sve veći i doprinose primeni koprive u lekovite svrhe. Kopriva je jedna od najboljih lekovitih biljaka rasprostranjenih na našim prostorima (Slika 2.7.) (*Zdravković i sar., 2012; Tizio, 2012*). Svi delovi biljke su lekoviti, koren, stablo, list i cvet. Delovi biljke skupljaju se u različitim periodima godine, u zavisnosti od njihove zrelosti (seme u avgustu, koren u proleće i jesen, listovi i vršike u proleće, a cela biljka tokom čitave godine) (Slika 2.8.). Kopriva sadrži različite i mnogobrojne komponente i zahvaljujući njima ima veoma širok spektar bioloških aktivnosti (*Taylor, 2009; Otles i sar., 2012*).



Slika.2.7. Kopriva (*Urtica dioica* L.) (<http://www.vivateka.com/kopriva-leci-nesanicu-zuc-umor/>)

2.6.1. Morfologija koprive

Koprivu karakterišu zeleni listovi, koji su široki, sroliki i podeljeni na bazi, duboko nazubljeni, sa šiljatim vrhom. Postoji razlika između ženskih i muških cvetova. Stabljika joj je uspravna i obrasla čekinjastim dlakama (Slika 2.9.). Biljka može da dostigne i 2 m visine, a karakteristična je po tamno zelenoj boji (*Bourgeois i sar., 2013; Đurović i sar., 2017*). Kopriva ima gusto razgranatu mrežu podzemnih podanaka, dok se vlaknasto-mrežasti koren proteže niz podanke. Ako bi se svaki podanak posekao, od svakog bi nastala nova biljka. Vrh podanka se završava pupoljkom iz koga niče nadzemna biljka (*Gionata De Vicio i sar., 2018; Bilan i sar., 2014*).



Slika 2.8. Delovi koprive: A (cela biljka), B (cvet), C (stabljika), D (koren), E (list)
(*Bhuwan i sar., 2014*)



Slika 2.9. Građa koprive (Upton, 2013)

Kopriva sadrži izrazito puno minerala, u prvom redu je gvožđe, i to u onom obliku u kojem organizam može najlakše da ga iskoristi. Dovoljan nivo gvožđa uz druge minerale je ključni faktor koji pomaže u prevenciji prolećnog umora (Pinelli i sar., 2008). U sastavu koprive nalaze se još i znatne količine kalcijuma, magnezijuma, natrijuma, fosfora, magnana, bora, provitamina A (koji je izrazito koristan kod lošeg vida noću), vitamina B2 i znatne količine vitamina C (Özcan i sar., 2008; Biesiada i sar., 2010).

Najvažnija hemijska jedinjenja, koje se nalaze u koprivi su flavonoidi, tanini, fitosteroli, silicijska i mravlja kiselina (Semih i sar., 2012; Rutto i sar., 2014). Među najbitnijim jedinjenjima svakako su flavonoidi, čija je glavna funkcija očuvanje kapilara i otklanjanje smetnji rada srca i krvotoka (Guil-Guerrero i sar., 2003). Druga grupa jedinjenja su tanini, njihovo lekovito svojstvo se najviše primećuje na koži i sluznici, ugrađuju svoja kolagenska vlakna koja smanjuju nabreklost kože i daju joj još veću otpornost. Tanini deluju i na veliki broj virusa i bakterija, tako da se ne retko koriste i u lečenju probavnih smetnji (Adhikari i sar., 2016). Kumarini su jedinjenja koji su u biljci vezana za šećer. Nemaju mirise, deluju antiflogistički, tako da sprečavaju pojavu svih edema (Orčić i sar., 2014). Prirodni biljni steroli koji se nalaze u koprivi jesu fitosteroli. Oni čine esencijalnu komponentu u građi membrana ćelija biljaka i imaju veoma veliki učinak u lečenju prostate i povišenog holesterola (Grevsen i sar., 2008). U koprivi se u znatnim količinama nalaze silicijumova i mravlja kiselina. Silicijumova kiselina dospeva u koprivu iz tla i njena glavna uloga je izgradnja vezivnog tkiva u koži, kosi i noktima. Mravlja kiselina je dobila naziv po mravima koji je izlučuju, a prisutna je i u žaokama pčela, nekim gusenicama i dlačicama koprive. Zahvaljujući ovoj kiselini kopriva ima

mogućnost da se svojim žarenjem brani od prirodnih neprijatelja i tako joj služi kao odbrambeni mehanizam (*Gulcin i sar., 2004*).

2.6.2. Upotreba koprive

Zahvaljujući bogatom mineralnom sastavu i mnogobrojnim studijama kopriva, se danas sve više koristi u domenu medicine (*Legssyer i sar., 2002*). Na tržištu je svakim danom sve veći broj proizvoda na bazi koprive. Kao biljni lek, služi za čišćenje krvotoka. Preporučuje se dijabetičarima, ublažava bolove izazvane reumatizmom, ublažava ekceme na koži i veoma uspešno se koristi u lečenju povišene arterijske hipertenzije (*Ziyyat i sar., 1997; Tahri i sar., 2000; El Haouari i sar., 2006*).

Pored medicine, kopriva se koristi u mnogim granama. Jedan od najmodernijih načina upotrebe koprive je vezan za tekstilnu industriju. U vremenu pre II svetskog rata, ljudi su u nedostatku tekstila skupljali koprivu, kako bi iz nje dobili vlakna i koristili ih u zamenu za pamuk. Od sredine devedesetih godina, u Nemačkoj, Austriji i Finskoj počinju pripreme tržišta i strategija za proizvodnju, preradu i marketing organske koprive (*Vogl i sar., 2003*).

Još jedna grana u kojoj je je kopriva sve zastupljenija je kulinarstvo (Slika 2.10.). Kopriva se koristiti u svežem ili obrađenom obliku. Istraživanja pokazuju da termički obrađena kopriva može da obezbedi 90% - 100% vitamina A (uključujući vitamin A kao β -karoten) i predstavlja dobar izvor kalcijuma, gvožđa i proteina u ishrani. Kopriva se preporučuje kao visokoproteinski i niskokalorični izvor esecijalnih nutritijenata, minerala i vitamina, posebno u vegeterijanskoj, dijabetičkoj ili nekoj drugoj specijalizovanoj ishrani (*Tahri i sar., 2000*).



Slika. 2.10. Čaj od koprive (<http://www.koval.hr/blogeky/ljekovite%20biljke/kopriva.html>)

2.6.3. Antioksidativnost koprive

Antioksidanti su supstance koje neutralisanjem slobodnih radikala, doniranjem svog elektrona, sprečavaju oštećanja važnijih biomolekula u organizmu. Mnoga studija su potvrdila da kopriva sadrži veliki broj fenolnih jedinjenja zahvaljujući kojima ispoljavaju antioksidativnu aktivnost (*Gulcin i sar., 2004; Chandani i Gaurav, 2015; Bourgeois i sar., 2016*).

Priroda predstavlja neiscrpan izvor bioaktivnih jedinjenja već hiljadama godina, a mnogobrojni savremeni lekovi vode poreklo od prirodnih izvora, i to najčešće biljaka. Svakodnevno unošenje hrane bogate fenolnim supstancama utiču preventivno na smanjenje kardiovaskularnih bolesti, kancera, neurodegenerativnih bolesti, kao i mnogih drugih problema koje mogu izazvati slobodni radikali u organizmu (*Kolarović i sar., 2010; Brajesh, 2014*). Putem oksidacije DNK ili membranskih lipida i proteina, toksični slobodni radikali mogu da ispoljavaju mutagene efekte na sve tipove ćelija. Glavna uloga fenola jeste sposobnost neutralisanja slobodnih radikala i na taj način, njihovim unošenjem, umanjuje se rizik od bolesti koje su posledica oksidativnog stresa (*Prior i sar, 2000*).

Studija *Stanojević i sar. (2013)* potvrdila je da vodeno-alkoholni ekstrakti koprive ispoljavaju inhibicijom lipidne peroksidacije i oksidacijom fenolnih jedinjenja i antioksidativnu aktivnost. Za antiinflamatorne i antialergijske efekte smatra se da su odgovorna jedinjenja identifikovana u koprivi (nikotinamid, adenin, sinefrin i ostol).

Kopriva je najčešće korišćena trava u terapijama komplementarne alternative lekovima u Turskoj. Ona sadrži jedinjenja poput steroida, terpenoida, fenilpropanoida, lignina, kumarina, polisaharida, lektina i flavonola (*Akbay i sar., 2003; Gözümlü i sar., 2003*). Polifenolna jedinjenja koprive uglavnom imaju inhibitorne efekte na mutagenazu i karcinogenezu (*Cetinus i sar., 2005; Gulcin i sar., 2004; Güler i sar., 2013*).

3. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalna istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji obavljala su se u laboratorijama Tehnološkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu. U laboratoriji su pripremani uzorci, sprovedeni postupci osmotske dehidracije i urađen jedan deo analiza na osmotski tretiranim uzorcima. Deo analiza koji je urađen u pomenutoj laboratoriji odnosi se na ispitivanje uticaja vremena imerzije, temperature i prirode hipertoničnih rastvora na kinetiku tokom procesa osmotske dehidracije lista koprive. Mineralni sastav i mikrobiološke analize u uzorcima svežeg i osmotski dehidriranog lista koprive urađene su u akreditovanim laboratorijama Naučnog instituta za prehrambene tehnologije, Univerzitet Novi Sad (FINS). Na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu odrađene su spektrofotometrijske metode (DPPH, ABTS i FRAP), za utvrđivanje antioksidativne aktivnosti svežih i osmotski dehidriranih uzoraka lista koprive, kao i metoda Folin Ciocalteu (FC) za određivanje sadržaja ukupnih fenola. U elektrohemijskoj laboratoriji Instituta za opštu i fizičku hemiju u Beogradu određivana je antioksidativna aktivnost polarografskim metodama, zasnovanim na klasičnoj polarografiji sa kapajućom Hg-elektrodom (KŽE): MRAP (engl. *Mercury Reduction Antioxidant Power*) i HPMC (engl. *Hydroxo Perhydroxo Mercury (II) Complex*) metoda. Sa ciljem unapređenja efikasnosti procesa osmotske dehidracije i pronalaženja optimalnih procesnih parametara urađena je statistička obrada podataka i optimizacija procesa.

3.1. Materijal

Sirovina na kojoj su sprovedena istraživanja je kopriva (*Urtica dioica* L.), brana na obroncima Fruške Gore, neposredno pre eksperimentalnog rada. Prosečni sadržaj suve materije u uzorcima lista koprive iznosio je $26,163 \pm 0,481\%$.

Za pripremu osmotskih rastvora upotrebljene su sledeće sirovine: melasa šećerne repe, komercijalni natrijum hlorid (NaCl), komercijalna saharoza i destilovana voda.

Melasa šećerne repe, za potrebe eksperimenta, nabavljena je iz fabrike šećera u Crvenki, Srbija. Do upotrebe čuvana je u zatvorenim plastičnim kantama na sobnoj temperaturi. Refraktrometrom je izmeren prosečan sadržaj suve materije u melasi i iznosio je 84,54%.

Osnovni hemijski sastav melase šećerne repe primenjene u eksperimentima, prikazan je u tabeli 3.1. Zbog potrebe različitih koncentracije osmotskog rastvora, melasa je razređivana destilovanom vodom.

Tabela 3.1. Osnovni hemijski sastav melase šećerne repe primenjene u istraživanju

Sadržaj	
Suva materija, %	84,54
Saharoza, %	49,79
Ukupni redukujući šećeri, %	52,23
Invertni šećer, %	0,49
Kalijum, mg/100g	2399,76
Natrijum, mg/100g	446,21
Kalcijum, mg/100g	266,31
Magnezijum, mg/100g	56,39
Gvožđe, mg/100g	4,41
Zink, mg/100g	0,98
Mangan, mg/100g	0,22

3.2. Eksperimentalni postupak osmotske dehidracije

Pribor i radna površina potrebna za pripremu svežih uzoraka lista koprive i osmotskih rastvora temeljno su očišćeni, oprani i dezinfikovani farmaceutskim etanolom koncentracije 70 % v/v.

Ručno izdvajan list koprive od njene stabljike prvo je detaljno opran, osušen upijajućim papirom, a zatim isečen makazama na komade približnih dimenzija 1×1 cm. Pripremljenim uzorcima odmerila se početna masa u zavisnosti od zahteva izvođenja određene analize, i nakon toga uzorci su potopljeni u laboratorijske čase prethodno napunjene osmotskim rastvorima.

Osmotski rastvori koji su korišćeni za ispitivanje osmotske dehidracije lista koprive su:

R₁, vodeni rastvor natrijum-hlorida i saharoze,

R₂, melasa šećerne repe.

Vodeni rastvor natrijum-hlorida i saharoze (R₁) pripremljen je električnom propellerskom mešalicom sa kojom je u potpunosti rastvoreno 350g komercijalnog, kristalnog NaCl i 1200g komercijalne, kristalne saharoze u 1kg destilovane vode. Natrijum-hlorid i saharoza su u dobijenom osmotskom rastvoru bili na granici rastvorljivosti (www.chem.wisc.edu; www.sugartech.co.za). Maksimalna koncentracija suve materije osmotskog rastvora R₁ bila je 60% (*Collignan i sar.*, 2001; *Qi i sar.*, 1998).

Melasa šećerne repe upotrebljena je kao osmotski rastvor R₂, sa početnim sadržajem suve materije 84,54%, koja nije zahtevala dodatnu pripremu za potrebe ovog istraživanja.

Maseni odnos biljnog materijala i osmotskog rastvora iznosio je 1:20, da bi se sprečilo nepoželjno razblaženje prilikom otpuštanja vode iz uzoraka lista koprive. Potpuno potapanje uzoraka u osmotski rastvor, bez plutanja, obezbeđeno je plastičnim mrežicama. Da bi se izbegle degradacije tkiva lista koprive, izabrane su blage temperature (20°C, 35°C i 50°C) koje su održavane konstantnim u inkubatoru (IN 160, Memmert, Schwabach, Nemačka) tokom čitavog procesa. Eksperimenti su sprovedeni na atmosferskom pritisku.

Proces osmotske dehidracije trajao je 90 min. Zbog praćenja kinetike tokom procesa, vršilo se uzorkovanje u različitim vremenskim intervalima. Uzorci lista koprive tretirani u procesu osmotske dehidracije vađeni su iz osmotskih rastvora, nakon 30, 60 i 90 min trajanja procesa, a zatim ispirani mlazom vode. Nakon ispiranja, preostala voda na površini uzoraka upijana je filter hartijom. Osmotski dehidrirani uzorci, dalje su analizirani prema propisanim metodama za određivanje: kinetičkih parametara procesa, (gubitka vlage, sadržaja suve materije, aktivnosti vode, priraštaja suve materije), mikrobiološke ispravnosti, sadržaja mineralnih materija i antioksidativne aktivnosti.

3.3. Kinetika osmotskog tretmana lista koprive

Gubitak vode (engl. WL, *water loss*) i priraštaj suve materije (engl. SG, *solid gain*) su parametri kojima se najbolje opisuje kinetika osmotskog tretmana. WL predstavlja gubitak vode koja je difundovala iz biljnog tkiva u rastvor, dok SG predstavlja povećanje sadržaja suve materije uzorka nakon osmotskog tretmana (*Shi i Le Maguer, 2002*). Parametri WL i SG, izračunati su nakon što su sveži i osmotski tretirani uzorci lista koprive podvrgnuti sledećim analizama:

- mase uzoraka lista koprive merene su na preciznoj vagi PLJ 360 M, KERN sa tačnošću $\pm 0,001$ g;
- sušenjem uzoraka do konstantne mase, na temperaturi od 105°C, u sušnici (Instrumentaria Sutjeska, Hrvatska) određena je suva materija u uzorcima lista koprive.

Na osnovu sledećih izraza izračunati su odzivi procesa osmotske dehidracije lista koprive (*Le Marguer, 1988*):

Sadržaj suve materije (DM):

$$DM = \frac{m_d}{m_i} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Gubitak vlage (WL):

$$WL = \frac{m_i z_i - m_f z_f}{m_i} \left[\frac{g}{g_{p.u.}} \right] \quad (3.2)$$

Prirast suve materije (SG):

$$SG = \frac{m_f s_f - m_i s_i}{m_i} \left[\frac{g}{g_{p.u.}} \right] \quad (3.3)$$

gde su:

m_d - masa suve materije [g];

m_i - masa svežeg uzorka [g početnog uzorka (p.u.)];

m_f - masa uzorka nakon procesa osmotske dehidracije [g];

z_i - maseni udeo vode u svežem uzorku $\left[\frac{g}{g_{p.u.}}\right]$;

z_f - maseni udeo vode u uzorku nakon procesa osmotske dehidracije $\left[\frac{g}{g_{p.u.}}\right]$;

s_i - maseni udeo suve materije u svežem uzorku $\left[\frac{g}{g_{p.u.}}\right]$;

s_f - maseni udeo suve materije u uzorku nakon procesa osmotske dehidracije $\left[\frac{g}{g_{p.u.}}\right]$.

3.4. Metode određivanja a_w vrednosti

Vrednosti aktivnosti vode svežih i osmotski dehidriranih uzoraka lista koprive merene su pomoću uređaja TESTO 650 (Testo SE & Co. KGaA, Lenzkirch, Nemačka) sa tačnošću od $\pm 0,001$, određivane prema standardu (NMKL-168).

3.5. Metode analize sadržaja mineralnih materija

Osnovni hemijski sastav lista koprive pre i nakon procesa osmotske dehidracije određen je na osnovu sledećih metoda:

- Sadržaj gvožđa, bakra i cinka u svežim i osmotski tretiranim uzorcima lista koprive određen je na osnovu metode FINSLab-5.4-3M-004/13, Određivanje Pb, Cd, As, Zn, Cu, Fe, Sn i Cr u hrani metodom atomske apsorpcione spektrometrije (AAS);
- Sadržaj kalcijuma, kalijuma, magnezijuma, natrijuma, mangana i kobalta u svežim i osmotski tretiranim uzorcima lista koprive određivan je na osnovu standarda SRPS EN ISO 6869:2008, Hrana za životinje. Određivanje sadržaja Ca, Mg, Mn, K, Na i Co u hrani metodom atomske apsorpcione spektrometrije (AAS).

3.6. Metode mikrobioloških analiza

Mikrobiološki profil lista koprive i osmotskih rastvora određen je pre i nakon osmotskog tretmana, da bi se ispitala higijenska i mikrobiološka bezbednost samog procesa osmotske dehidracije i dobijenog proizvoda.

Određivanje prisutnog broja *Enterobacteriaceae* rađeno je na osnovu standarda SRPS ISO 21528-2:2009, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje, Horizontalna metoda za otkrivanje i određivanje broja *Enterobacteriaceae*, Deo 2: Metoda brojanja kolonija.

Određivanje prisutnog broja kvasaca i plesni rađeno je na osnovu standarda SRPS ISO 21527-2:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje, Horizontalna metoda za određivanje broja kvasaca i plesni, Deo 2: Metoda brojanja kolonija u produktima kod kojih je vrednost aktivnosti vode manja ili jednaka 0,95.

3.7. Određivanje antioksidativne aktivnosti

3.7.1. Priprema ekstrakata za određivanje antioksidativne aktivnosti

Metode za određivanja antioksidativne aktivnosti zahtevale su posebnu pripremu vodenih ekstrakata svežih i osmotski dehidriranih uzoraka lista koprive. Sveži dehidrirani uzorci sušeni su na temperaturi u sušnici (Instrumentaria Sutjeska, Hrvatska), na 50°C do konstantne mase. Nakon sušenja uzorci su usitnjeni i sprášeni univerzalnim laboratorijskim mlinom tipa WZ-1 (Spolem, ZBPP, Bydgoszcz, Poland). Po 2g dobijenog usitnjenog materijala, ekstrahovano je sa 200 ml ključale destilovane vode. Ekstrakcija je trajala 10 min, nakon nje, biljni materijal je uklonjen filtracijom sa Whatmann No. 1 filter papirom i mehanički isceden. Pripremljeni ekstrakti su čuvani u frižideru (4°C), do dalje upotrebe.

3.7.2. Određivanje sadržaja ukupnih fenola metodom Folin–Ciocalteu (FC)

Folin-Ciocalteu reagens (FC) ili Folinov fenol reagens ili Folin-Denis reagens, koji se nazivaju i metodom ekvivalencije galske kiseline (GAE), mešavina je fosfomolibdata i fosfovolframata koji se koristi za kolorimetrijsko *in vitro* ispitivanje fenolnih i polifenolnih antioksidanata. Ime je dobila po Ottu Folinu, Vintilu Ciocalteuu i Villeiju Gloveru Denisu. Apsorbancija različitih koncentracija tirozina reaguje sa Folin-Ciocalteu reagensom i detektuje se na 760 nm. Reagens ne meri samo fenole, već reaguje sa bilo kojom redukcionom supstancom. Prema tome, on meri ukupni kapacitet smanjenja uzorka, a ne samo fenolna jedinjenja. Reagens je takođe pokazao da je reaktivan prema tiolima, mnogim vitaminima, nukleotidnoj bazi gvanina, triosu gliceraldehidu i dihidroksiacetonu, i nekim neorganskim jonima. Kompleksiranje bakra povećava reaktivnost fenola prema ovom reagensu (*Blainski i sar., 2013*).



Postupak: sadržaj ukupnih fenola, odnosno ukupna redukujuća moć u biljnim ekstraktima, određena je pomoću FC metode, modifikovanoj po *Singleton-u* (1999). U vodene ekstrakte uzoraka lista koprive (200 µL) dodato je 1000 µL FC reagensa (Merck, Darmstadt, Nemačka) razblaženog destilovanom vodom (1:10). Posle 6 min stajanja na tamnom mestu, dodato je 800 µL rastvora natrijum karbonata (7,5%), u cilju zadovoljenja uslova alkalnosti. Rastvor je promešan i ostavljen 2h na tamnom mestu. Izmerena je apsorbanca na 740 nm,

A740. Kao slepa proba korišćena je destilovana voda. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja. Isti postupak ponovljen je za 4 razblaženja ekstrakta, a rezultat je predstavljao njihovu srednju vrednost. Eksperimentalno je utvrđeno da odgovarajuća vrednost razblaženja svakog ekstrakta lista koprive (1:10 do 1:5) daje apsorbancu od 0,2 do 0,7 na 740 nm. Od apsorbance svakog uzorka oduzeta je srednja vrednost slepe probe. Na osnovu izmerenih apsorbanci sa kalibracione krive standarda galne kiseline očitana je koncentracija fenolnih jedinjenja izražena u GAE(mg/L). Za sva spektrofotometrijska merenja korišćen je spektrofotometar Helios γ (Thermo Spectronic, Velika Britanija).

3.7.3. Određivanje ukupne redukujuće moći FRAP metodom

Jednostavan, automatizovan test za merenje redukciji gvožđa, FRAP test, predstavljen je kao metoda za procenu antioksidativnosti. Redukcija gvožđa do željeznog jona pri niskom pH uzrokuje formiranje obojenog kompleksa Fe-tripiridiltriazina. Vrednosti FRAP se dobijaju poređenjem promene apsorpcije na 593 nm u test reakcionim smešama sa onima koji sadrže jone gvožđa u poznatoj koncentraciji. Promene apsorbancije su linearne u širokom rasponu koncentracija sa smešama antioksidanata, i sa rastvorima koji sadrže jedan antioksidant u prečišćenom obliku. Ne postoji očigledna interakcija između antioksidanata. Izmereni stehiometrijski faktori Trolox, alfa-tokoferola i askorbinske kiseline je 2, a bilirubina je 4. Aktivnost albumina je veoma niska. CV-ovi unutar i između ciklusa su <1,0 i <3,0%, respektivno, na 100-1000 μ mol/L.

FRAP test je jeftin, reagensi su jednostavni za pripremu, rezultati su visoko reproducibilni, a postupak je jednostavan i brz. FRAP test nudi pretpostavljeni indeks antioksidanata, ili smanjenja, potencijala bioloških fluida unutar tehnološkog dosega svake laboratorije i istraživača zainteresovanog za oksidativni stres i njegove efekte (Gorjanović i sar., 2012).

Postupak: Metoda je izvedena po modifikovanom postupku *Benzie i Strain*-a (1996). Rastvor FRAP reagensa je napravljen mešanjem acetatnog pufera (pH 3,6), TPTZ (10 mM TPTZ rastvora u 40 mM HCl; Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Nemačka) i $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ u zapreminskom odnosu 10:1:1, po navedenom redosledu. Svi uzorci, standardi i reagensi, prethodno su inkubirani na 37 °C. Alikvoti od 0,1 mL svakog razblaženja ekstrakta pomešani su sa destilovanom vodom (0,3 mL) i FRAP reagensom (3 mL). Nakon 40 min na 37 °C, izmerena je apsorbancia A_{593} . Kalibraciona kriva je konstruisana pomoću rastvora Trolox-a. Slepa proba bila je destilovana voda umesto uzorka i standarda. Iz razlike apsorbancije uzorka i slepe probe dobijena je apsorbancia za svaki ekstrakt. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja, a dobijeni rezultati predstavljaju srednju vrednost tri merenja \pm standardna devijacija i izraženi su kao mM Trolox-a ekvivalenta (mM TE).

3.7.4. Određivanje sposobnosti neutralizacije ABTS radikala (TEAC metoda)

U biohemiji, 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina) ili ABTS je hemijsko jedinjenje koje se koristi za posmatranje kinetike reakcija specifičnih enzima. Uobičajena upotreba je u enzimskom imunosorbentnom testu (ELISA) pri detekciji vezivanja molekula.

Obično se koristi kao supstrat sa vodoničnim peroksidom za enzim peroksidaze ili sam sa plavim enzimima oksidaze više vrsta (kao što su lakaza ili bilirubin oksidaza). Njegova upotreba omogućava praćenje kinetike reakcije samih peroksidaza. Na ovaj način se takođe može koristiti za indirektno praćenje kinetike reakcije bilo kog enzima koji proizvode vodonik peroksid, ili jednostavno kvantifikovati količinu vodonik peroksida u uzorku.

Formalni potencijali redukcije za ABTS su dovoljno visoki da deluju kao donori elektrona za redukciju okso vrsta kao što su molekularni kiseonik i vodikov peroksid, posebno kod manje ekstremnih pH vrednosti na koje nailazi u biološkoj katalizi. Pod ovim uslovima, sulfonatne grupe su potpuno deprotonisane i medijator postoji kao dianion.

ABTS se često koristi u prehrambenoj industriji i poljoprivredi za merenje antioksidativnih kapaciteta hrane. U ovom testu, ABTS se konvertuje u svoj radikalski kation dodavanjem natrijum persulfata. Ovaj radikalski kation je plave boje i apsorbuje svetlost na 734 nm. ABTS radikalski katjon je reaktivan prema većini antioksidanata, uključujući fenole, tiole i vitamin C. Tokom ove reakcije, plavi ABTS radikalski katjon se pretvara u svoju bezbojnu neutralnu formu. Reakcija se može pratiti spektrofotometrijski. Ovaj test se često naziva ispitivanjem Troloks ekvivalentnog antioksidativnog kapaciteta (TEAC). Reaktivnost različitih testiranih antioksidanata se poredi sa reaktivnošću Troloksa, koji je vodorastvorni analog vitamina E (*Villaño i sar., 2004*).

Postupak: Metoda je izvedena po modifikovanom postupku *Re-a i saradnika (1999)*. Iste zapremine od 14 mM rastvora ABTS (Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Nemačka) i 4,9 mM kalijum-persulfata u fosfatnom puferu (pH 7,4) pomešane su u cilju dobijanja stabilnog ABTS^{•+} osnovnog rastvora. Stajanjem na tamnom mestu, od 12h do 16h na sobnoj temperaturi, osnovni rastvor poprima tamnu plavozelenu boju. Radni rastvor ABTS^{•+} pripremljen je razblaživanjem osnovnog rastvora (oko 80 puta) sa fosfatnim puferom, dok nije postignuta apsorbanca od $0,7 \pm 0,02$ na $\lambda=734$ nm. Šest minuta nakon dodatka ekstrakata lista koprive (30 μ L), odnosno Trolox standarda (2,5; 1,25; 0,63; 0,31; i 0,16 mM Troloksa u fosfatnom puferu) radnom rastvoru izmerena je apsorbanca. Za svaki uzorak i standardni Trolox rastvor konstruisana je kriva zavisnosti inhibicije ABTS^{•+} radikala (procenat pada apsorbancije) u funkciji koncentracije. Slepa proba bila je destilovana voda, umesto uzorka i standarda. Iz razlike apsorbancije uzorka i slepe probe dobijena je apsorbancija za svaki ekstrakt. Antioksidativna aktivnost, dobijena je iz odnosa nagiba krive uzorka i nagiba

krive Trolox-a. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja, a dobijeni rezultati predstavljaju srednju vrednost tri merenja \pm standardna devijacija, i izraženi su kao mM Trolox-a ekvivalenta (mM TE).

3.7.5. Određivanje sposobnosti neutralizacije DPPH radikala

DPPH je uobičajena skraćenica za organsko hemijsko jedinjenje 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil. To je tamni kristalni prah sastavljen od stabilnih molekula slobodnih radikala. DPPH ima dve glavne primene, kako u laboratorijskim istraživanjima: jedna je monitor hemijskih reakcija koje uključuju radikale, a posebno je uobičajen antioksidativni test, a drugi je standard položaja i intenziteta elektronskih paramagnetskih rezonantnih signala.

DPPH ima nekoliko kristalnih oblika koji se razlikuju po simetriji rešetke i tački topljenja. Komercijalni prah je smeša faza koja se topi na ~ 130 ° C. DPPH-I (106 ° C) je ortorombičan, DPPH-II (137 ° C) je amorfan, a DPPH-III (t.t. 128-129 ° C) je tricliniski.

DPPH je dobro poznati radikal i zamka ("sakupljač") za druge radikale. Stoga se redukcija brzine hemijske reakcije nakon dodavanja DPPH koristi kao indikator radikalne prirode te reakcije. Zbog jake apsorpcione trake koja je centrirana na oko 520 nm, DPPH radikal ima tamno ljubičastu boju u rastvoru, i postaje neutralan ili bledo žut kada se neutrališe. Ovo svojstvo dozvoljava vizuelno praćenje reakcije, a broj početnih radikala može se računati iz promene optičke apsorpcije na 520 nm (*Loganayaki i sar., 2013*).

Postupak: Korišćena je metoda po *Blois-u (1958)* sa malim modifikacijama. Praćena je promena apsorbanacije na 525 nm preostalog DPPH ljubičaste boje posle reakcije sa antioksidantima uzorka. Radni rastvor se sastojao od $1,86 \times 10^{-4}$ mol/L DPPH (Fluka, Buchs, Switzerland), u etanolu i 0,1 M acetatnog pufera (pH 4,3) u odnosu 2:1 (v/v). Razblaženja biljnih ekstrakata (200 μ L) su pomešana sa 2800 μ L radnog rastvora DPPH. Nakon stajanja navedenog rastvora na tamnom mestu 30 min, izmerena je A_{525} . Isti postupak ponovljen je za slepu probu (etanol ili destilovana voda). Merenje se izvodi na sobnoj temperaturi. Kao standard korišćen je rastvor Trolox-a (6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilhroman-2-karboksilna kiselina, Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Nemačka). Aktivnost je izražena u % inhibicije izračunatih po jednačini:

$$I\% = \frac{A_{SP} - A_{UZ}}{A_{SP}} \times 100 \quad (3.5.)$$

gde je: I - procenat inhibicije DPPH radikala, A_{SP} - apsorbanca slepe probe, A_{UZ} - apsorbanca antioksidanta.

Iz jednačine krive, koja predstavlja zavisnost % inhibicije DPPH radikala od koncentracije Trolox-a, izračunata je antiradikalska aktivnost. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja, a dobijeni rezultati predstavljaju srednju vrednost tri merenja \pm standardna devijacija, i izraženi su kao mM Trolox-a ekvivalenta (mM TE).

3.7.6. DC polarografsko merenje antioksidativne aktivnosti

Polarografija sa jednosmernom strujom (engl. *DC-direct current*) pokazala se kao pogodna za primenu u određivanju antioksidativne aktivnosti (*Gorjanović i sar., 2012*). Dve polarografske metode, zasnovane na klasičnoj polarografiji sa kapajućom Hg-elektrodom (KŽE): HPMC metoda i MRAP metoda, nedavno su razvijene u elektrohemijskoj laboratoriji Instituta za opštu i fizičku hemiju u Beogradu. Polarografska metoda HPMC zasnovana je na smanjenju anodne granične struje kompleksa $[\text{Hg}(\text{O}_2\text{H})(\text{OH})]$, koji nastaje u alkalnom rastvoru peroksida na potencijalu rastvaranja Hg, do kog dolazi po dodatku antioksidansa (*Sužnjević i sar., 2011*). Metoda MRAP, koja takođe primenjuje polarografiju sa jednosmernom strujom, zasniva se na redukciji jona žive. Po dodatku antioksidanata, dolazi do smanjenja katodne struje redukcije živinih jona (*Sužnjević i sar., 2015*).

Postupak: Polarografska merenja u ovom radu obavljena su polarografskim uređajem PAR (Princeton Applied Research) 174A sa priključenim X-Y pisačem (Houston Instruments, Omnigraph 2000), za automatsko beleženje polarografskih i-E krivih. Kapacitivna komponenta struje i-E signala suzbijana je filterom instrumenta na poziciji 3 s. Zasićena kalomelova elektroda (Saturated Calomel Electrode- SCE), korišćena je kao referentna, a kao pomoćna platinska elektroda. Početni potencijali kod HPMC i MRAP metoda su 0,10 i 0,20 V vs SCE, po navedenom redosledu. Brzina promene polarizujućeg napona iznosila je 10 mV/s. ClarkLubs (CL) pufer od pH 9,8, pripremljen je mešanjem 25 mL 0,4 M H_3BO_3 , 25 mL 0,4 M KCl i 40,8 mL 0,2 M NaOH (Merck, Darmstadt, Nemačka). Osnovni rastvor za HPMC metodu pripremljen je dodatkom 0,100 mL 1,00 M rastvora H_2O_2 (Belinka Slovenija) u 19,9 mL CL pufera. Jednake količine od po 20 μL razblaženog (1:2) i nerazblaženog uzorka su postepeno dodavane, kako bi se dobio linearan pad anodne granične struje i_l . Osnovni rastvor za MRAP metodu je pripremljen dodatkom 2 mL 0,01 M HgCl_2 u 18 mL CL pufer. Jednake količine nerazblaženog uzorka (100, 50 ili 25 μL) postepeno su dodavane, kako bi se dobio linearan pad katodne granične struje. Pre svakog snimanja i-E krive (kako za osnovni rastvor, tako i nakon svakog dodatka ispitivanog uzorka), rastvor je deaerisan i pomešan sa čistim gasom azota, dok je struja istog propuštana iznad rastvora za vreme svakog snimanja. Rezultati polarografskih metoda izraženi su kao nagib linearnog dela krive zavisnosti procenta smanjenja anodne struje kompleksa, odnosno katodne struje, od zapremine ili količine dodatog uzorka.

3.8. Statistička obrada podataka

3.8.1. Deskriptivna statistika

Deskriptivna statistika je sumarna statistika koja kvantitativno opisuje ili sažima karakteristike uzoraka. Vrednosti koje se obično koriste za opisivanje skupa podataka su vrednosti centralne tendencije i mere varijabilnosti ili disperzije. Mere centralne tendencije uključuju srednju vrednost, srednju vrednost i

mod, a mere varijabilnosti uključuju standardnu devijaciju (ili varijansu), minimalne i maksimalne vrednosti varijabli, kurtois i asimetričnost. Rezultati su interpretirani na osnovu Tukey-evog HSD (engl. *honestly significant distance*) testa, na nivou značajnosti $p < 0,05$, pri nivou poverenja od 95%. Post hoc Tukey-ev HSD test se radi nakon dvofaktorske analize varijanse (ANOVA). Tukey HSD test je post-hoc test koji se zasniva na studentovoj raspodeli. ANOVA test govori da li su srednje vrednosti značajno različite između uzoraka, ali ne govori gde tačno postoje te razlike. Nakon što je urađena ANOVA na osnovu koje je utvrđeno da postoje značajne razlike, radi se Tukey-ev HSD test da bi se odredilo koji uzorci su različiti. Test upoređuje sve moguće parove uzoraka. Ovim testom se dokazuje da je statistički značajna razlika dve srednje vrednosti ako je veća od standardne devijacije (SD). Tukey-evim HSD testom podataka dobijenih različitim laboratorijskim merenjima, ustanovljeno je da je većina uzoraka statistički značajno različita na nivou $p < 0,05$, čime je dokazano da su ispitivani uzorci dovoljno raznoliki da bi se pristupilo statističkoj analizi i matematičkom modelovanju.

Na početku ispitivanja uvek se izvodi ANOVA test. Pod pretpostavkom da je F vrednost značajna, može se pokrenuti post hoc Tukey-ev HSD test. Zatim se porede dve vrednosti za dva uzorka, na osnovu srednjih vrednosti uzoraka, srednjih vrednosti grupe uzoraka, broja grupa i broja stepeni slobode unutar grupe. Na osnovu ovih podataka izvodi se Tukey-ev HSD test, a dobijeni rezultat se upoređuje sa kritičnom vrednošću za ovaj test. Poređenjem rezultata testa sa tabularnom vrednošću određuje se značajnost razlike srednjih vrednosti za dva uzorka: ukoliko je izračunata vrednost veća od kritične vrednosti iz tabele kritičnih vrednosti, onda su ova dva uzorka statistički značajno različita.

Pretpostavke za test su: merenja su nezavisna unutar i između grupa, grupe za svaku srednju vrednost u testu su normalno raspoređene i postoji jednaka varijabilnost unutar grupa u grupama koje su povezane sa svakom srednjom vrednošću u testu (homogenost varijanse).

Deskriptivna statistička analiza, uz pomoć Microsoft Excel 2007 i Statistica 10 (StatSoft, Tulsa, Oklahoma) softvera, primenjena je za izračunavanje srednjih vrednosti, standardne devijacije i varijanse promenljivih.

3.8.2. Metoda odzivnih površina (RSM Response Surface Methodology)

Metoda odzivne površine (RSM) predstavlja efikasan alat za optimizaciju tehnoloških procesa, uključujući i osmotsku dehidrataciju.

U statistici metodologija odzivne površine istražuje odnose između nezavisnih promenljivih (x_1, x_2, x_k) i jedne ili više odzivnih promenljivih (y). Metod je uveo George E. P. Box i K. B. Osnovna ideja RSM-a je da se koristi niz osmišljenih eksperimenata kako bi se dobio optimalan odgovor. Ovaj model predstavlja samo aproksimaciju, ali se koristi jer je takav model lako proceniti i primeniti, čak i kada se malo zna o procesu

(*Yung-Tsan i sar., 2014*). Najčešće je odzivna funkcija y nepoznata, pa se u opštem obliku može napisati (*Mayers i Montgomery, 2002*):

$$y = (x_1, x_2, \dots, x_k) + e \quad (3.6.)$$

gde su x_1, x_2, \dots, x_k nezavisno promenljive veličine, a y je zavisno promenljiva veličina, dok e predstavlja ostale uticajne faktore koji nisu obuhvaćeni funkcijom f (greška merenja, uticaj drugih faktora koji ne ulaze u RSM jednačine). Promenljive x_1, x_2, x_k u jednačini (3.6.) obično se predstavljaju merene jedinice date nezavisne promenljive.

Procena polinomnog modela prvog reda je korišćenje faktorskog eksperimenta ili frakcionog faktorskog dizajna. Ovo je dovoljno da se utvrdi koje promenljive utiču na odzivne promenljive. Ukoliko se ispostavi da model neadekvatno opisuje proces, onda se može pristupiti izradi složenijeg modela, kao što je centralni kompozitni dizajn, da bi se procenio polinomni model drugog reda.

Karakteristike RSM-a su:

ORTOGONALNOST: Pojedinačni efekti k -faktora se procenjuju nezavisno bez (ili sa minimalnim) odstupanjem. Ortogonalnost obezbeđuje minimalne procene koeficijenta varijanse modela tako da su one nekorelirane.

ROTATABILNOST: Svojstvo rotirajućih dizajna formiranih oko centra faktorskog prostora. Momenti raspodele projektnih tačaka su konstantni.

JEDINSTVENOST: Treće svojstvo eksperimentalnog dizajna koje se koristi za kontrolu broja centralnih tačaka je ujednačena preciznost (ili uniformnost).

Prilikom primene RSM metode koriste se kodirane vrednosti ulaznih veličina koje su uglavnom bezdimenzione i tada funkcija ima oblik:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.7.)$$

Svaka od jednačina naziva se funkcija odziva, a njen geometrijski prikaz je odzivna površina (*Yung-Tsan i sar., 2014*). Odzivi sistema predstavljaju se grafički preko trodimenzionalnih površina ili preko dvodimenzionalnih konturnih grafika. Polinom se pokazao kao odgovarajući oblik odzivne funkcije, s obzirom da se kvalitet fitovanja eksperimentalnih podataka može poboljšati povećanjem stepena polinoma. U većini slučajeva koriste se polinomi prvog ili drugog stepena. Najjednostavniji polinom koji se može primeniti je polinom prvog reda koji u obzir uzima samo linearne uticaje pojedinačnih faktora:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (3.8.)$$

Ako je krajnji cilj postupka optimizacija procesa, onda je neophodno koristiti polinome drugog reda za opisivanje odabranih odziva. Tada svaki od posmatranih procesnih parametara mora da ima tri ili pet nivoa vrednosti, u zavisnosti od primenjenog eksperimentalnog plana. Polinom drugog stepena sa dve promenljive ima oblik:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (3.9.)$$

Polinom drugog stepena je fleksibilna funkcija i može imati različite oblike, dok se parametri jednačine (β_i) jednostavno određuju. Metoda najmanjih kvadrata se može primeniti u ovu svrhu.

Osnovni cilj primene metode odzivnih površina je određivanje optimalnih parametara za opisivanje datog procesa. Ukoliko ima više odziva koje je potrebno optimizovati neophodno je naći kompromisno rešenje, tj. naći optimalne uslove za koje će svi posmatrani odzivi biti u definisanom opsegu (*Sadeghpour i Dabir, 2015*). Drugi cilj primene RSM je utvrđivanje promene odziva sistema sa malom promenom procesnih parametara. Osnovna prednost RSM je u tome što je potreban manji broj eksperimentalnih podataka da bi se obezbedio dovoljan broj informacija za određivanje statistički validnih rezultata. RSM jednačine opisuju parametre sistema i njihov uticaj na posmatrane odzive sistema, određuju međuzavisnosti testiranih promenljivih i ispituju kombinovane efekte parametara procesa na posmatrane odzive, omogućavajući da se na efikasan način istraži proces. RSM koristi statističke modele, pa se mora voditi računa da je čak i najbolji statistički model aproksimacija stvarnosti. U praksi, i modeli i vrednosti parametara su nepoznati. Naravno, procenjena optimalna tačka ne mora da bude optimalna u stvarnosti, zbog grešaka procena i neadekvatnosti modela. Ipak, RSM je efektivna statistička metoda koja pomaže istraživačima u optimizaciji proizvoda.

U ovom radu, RSM je odabrana za definisanje uticaja procesnih parametara na promenu posmatranih odziva sistema (WL, SG, DM, a_w , FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP, FC, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co). Korišćen je potpuni faktorijalni eksperimentalni plan sa 2 faktora na tri nivoa: vreme (X_1) od 30, 60 i 90min; temperatura procesa osmotskog tretmana (X_2) od 20°C, 35°C i 50°C, definisano u tabelama 4.1-4.4. u poglavlju 4. Odzivi sistema su označeni kao Y.

Suština ovako odabranog eksperimentalnog plana je dobijanje zavisnosti odzivne funkcije od ispitivanih ulaznih veličina u pogodnom obliku, koji će najbolje odgovarati eksperimentalno dobijenim podacima:

$$Y_k = f_k(\text{vreme, temperatura}) \quad (3.10.)$$

Polinom drugog stepena je korišćen za fitovanje eksperimentalnih podataka. Korišćenjem eksperimentalnih podataka dobijene su odzivne funkcije u zavisnosti od dva ispitana faktora:

$$Y_k^l = \beta_{k0}^l + \sum_{i=1}^2 \beta_{ki}^l \cdot X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{kii}^l \cdot X_i^2 + \beta_{k12}^l \cdot X_1 \cdot X_2, k=1-17, l=1-2 \quad (3.11.)$$

gde su: β_{k0}^l , β_{ki}^l , β_{kii}^l , β_{k12}^l regresioni koeficijenti Y_k^l odzivi sistema, X_1 vreme, a X_2 temperatura procesa. Osmotski tretman u rastvoru R_1 u ovom modelu je obeležen sa $l=1$, dok je tretman u rastvoru R_2 označen kao $l=2$.

3.8.3. Analiza glavnih komponenti (PCA- Principal Components Analysis)

Analiza glavnih komponenti (PCA) je statistička procedura koja koristi ortogonalnu transformaciju za konverziju skupa posmatranih uzoraka eventualno koreliranih varijabli (entiteta od kojih svaki uzorak poprima različite numeričke vrijednosti) u skup vrednosti linearno nekoreliranih promenljivih koje se nazivaju glavne komponente. Ova transformacija je definisana na takav način da prva glavna komponenta ima najveću moguću varijancu (to jest, računa koliko je moguće varijabilnosti u podacima), a svaka sledeća komponenta zauzvrat ima najveću moguću varijancu pod ograničenjem da je ortogonalna prethodnim komponentama. Dobijeni vektori (svaki od njih je linearna kombinacija promenljivih) su nekorelisani ortogonalni bazni skup.

PCA se uglavnom koristi kao alat u istraživačkoj analizi podataka i izradi prediktivnih modela. Često se koristi za vizualizaciju genetičke udaljenosti i povezanosti između populacija. PCA se može obaviti dekompozicijom svojstvenih vrijednosti kovarijance (ili korelacije) matrice ili singularne dekompozicije matrice podataka, obično nakon koraka normalizacije početnih podataka. Normalizacija svakog atributa sastoji se od srednjeg centriranja - oduzimanje svake vrednosti podataka iz izmjerene vrednosti njene promenljive tako da je njegova empirijska srednja vrijednost (prosječna) nula - i, eventualno, normalizacija varijanse svake varijable da bi bila jednaka 1. Rezultati PCA se obično diskutuju u smislu rezultata komponenti, ponekad nazvanih faktorskim rezultatima (transformisane vrednosti varijable koje odgovaraju određenoj tački podataka), i opterećenja (težina kojom svaka standardizovana originalna varijabla treba da se množi da bi se dobio komponentni rezultat). Ako su indeksi komponenti standardizovani na jediničnu varijansu, opterećenja moraju sadržati varijaciju podataka u njima (a to je veličina svojstvenih vrednosti). Ako indeksi komponenti nisu standardizovani (stoga oni sadrže varijansu podataka), tada opterećenja moraju biti jedinična skala, ("normalizovana") i ove težine se nazivaju svojstveni vektori; oni su kosinovi ortogonalne rotacije varijabli u glavne komponente ili nazad (Henao i Winther, 2011). Pošto jedinice, kao ni skale različitih promenljivih koje opisuju poređene uzorke korena i lista celera nisu iste, potrebno je transformisati podatke svih merenja u tzv. standardne ocene, bezdimenzionalne vrednosti koje se dobijaju iz srednje vrednosti eksperimentalnih (merenih) vrednosti određene veličine za dati uzorak, podeljene sa standardnom devijacijom grupe uzoraka, prema jednačini:

$$\text{Standardna ocena} = (x - \mu)/\sigma \quad (3.12.)$$

pri čemu je x mereni podatak, μ srednja vrednost grupe podataka, a σ standardna devijacija.

PCA je najjednostavnija multivarijantna analiza zasnovanih na sopstvenim vektorima. Često se kaže da se može smatrati da ona otkriva unutrašnju strukturu podataka na način koji najbolje objašnjava varijacije u podacima. Ako se multivarijantni skup podataka vizualizuje kao skup koordinata u prostoru viših dimenzija, PCA može da pruži predstavu niže dimenzije, kao projekciju. Ovo se postiže korišćenjem samo prvih nekoliko glavnih komponenti tako da se smanjuje dimenzionalnost transformisanih podataka (*Abdi i Williams, 2010*). PCA je usko povezana sa faktorskom analizom. Faktorska analiza tipično uključuje pretpostavke specifične za određenu domenu o osnovnoj strukturi i rešava svojstvene vektore malo drugačije matrice.

U okviru ove teze, analiza glavnih komponenti je uspešno primenjena u cilju klasifikacije i odvajanja različitih uzoraka u faktorskoj ravni (na osnovu merenih vrednosti kinetičkih parametara, mineralnog sastava i antioksidativne aktivnosti uzoraka lista koprive). Ovi uzorci su dobijeni u procesu osmotske dehidratacije, korišćenjem različitih vrednosti procesnih parametara (temperature i vremena imerzije). Primenjena je tehnika prepoznavanja sličnosti na osnovu eksperimentalnih vrednosti da bi se izvršilo klasifikovanje uzoraka. PCA analiza je primenjena uspešno za grupisanje i razdvajanje različitih uzoraka u faktorskoj ravni, na osnovu razlika u merenjima.

3.8.4. Indeks relativnog antioksidativnog kapaciteta (engl. Relative Antioxidant Capacity Index - RACI) i fenolni antioksidativni kapaciteti (engl. Phenolic Antioxidant Coefficients - PAC)

Da bi se stvorila potpunija slika o rangiranju antioksidativnih kapaciteta osmotski dehidriranih listova koprive, izračunat je relativni indeks antioksidativnog kapaciteta (engl. relative antioxidant capacity index - RACI) koji predstavlja kombinaciju vrednosti antioksidantnih kapaciteta dobijenih iz različitih hemijskih metoda. RACI je srednja vrednost standardnih rezultata transformisanih iz merenih podataka dobijenih različitim antioksidativnim testovima, koji nema ograničenja mernih jedinica (*Sun i Tanumihardjo, 2007*). Jednačinom 3.13. vrednosti AO aktivnosti određenog uzorka dobijene različitim metodama se transformišu u bezdimenzionalnu veličinu, tzv. “standardne ocene”:

$$\text{“standardna ocena”} = (x - \mu)/\sigma \quad (3.13)$$

gde je:

x - vrednost dobijena određenom metodom,

μ - srednja vrednost,

σ – standardna devijacija.

Srednja vrednost “standardnih ocena” za jedan određeni uzorak i izmerenu vrednost AO aktivnosti različitim metodama daje numeričku vrednost bez jedinice – RACI.

Fenolni antioksidativni kapacitet (engl. Phenolic Antioxidant Coefficients-PAC) – PAC uveden je kao parametar koji omogućava uvid u učešće fenola uzorka u mehanizmu različitih AO metoda. Dobija se izračunavanjem odnosa izmerenog AO kapaciteta i ukupnog sadržaja fenola u uzorku.

3.8.5. Klaster analiza (CA)

Klaster analiza je naziv za skup multivarijantnih tehnika, čija je primarna svrha grupisanje objekata temeljem osobina koje poseduju (*Madhulatha, 2012*). Multivarijantnost označava svojstvo klaster analize da više varijabli analizira istovremeno i zajedno kao deo jedne celine. Za razliku od ostalih multivarijantnih statističkih tehnika, klaster analiza varijable ne procenjuje empirijski, već koristi one varijable koje su zadate od strane samog istraživača (*Madhulatha, 2012*). Važno je u analizu uključiti one varijable koje najbolje reprezentuju koncept sličnosti koji se istražuje. Često se rezultati faktorske analize (faktori) koriste kao ulazne varijable klaster analize.

Osnovni zadatak klaster analize je identifikacija klastera unutar neke populacije objekata. Na početku analize nije poznat konačni broj klastera unutar populacije, niti koji objekt pripada kojem klasteru. Klaster je potrebno formirati na način da sadrže samo objekte sličnih svojstava.

Metodologija klaster analize uključuje šest koraka (*Abony i sar., 2007*):

1. određivanje ciljeva klaster analize,
2. određivanje istraživačkog obrasca,
3. određivanje pretpostavki,
4. formiranje i procena broja klastera,
5. interpretacija klastera,
6. procena klaster analize i profiliranje klastera.

Konačan rezultat klaster analize je podela objekata u klaster u skladu s definisanim ciljevima.

Nakon definisanja ciljeva potrebno je odrediti istraživački obrazac koji uključuje izbor i procenu uzorka za klaster analizu, detekciju irelevantnih varijabli, izbor metode merenja sličnosti, te procenu potrebe standardiziranja varijabli. Problem je što kod klaster analize veličina uzorka nije povezana ni sa kojom statističkom odrednicom i ne može se unapred definisati. U klaster analizi određuju se mere sličnosti za sve parove objekata. Na taj se način omogućuju međusobna upoređivanja svih analiziranih objekata. Procedura klaster analize nadalje svrstava slične objekte u klaster. Tri su metode određivanja sličnosti u klaster analizi: mere korelacije, mere udaljenosti i mere udruživanja. Važna osobina klaster analize je činjenica da ona nije metoda strogog statističkog zaključivanja gde se odabrani uzorak nužno smatra i reprezentativnim za određenu populaciju. Klaster analiza je metoda kojom se određuju strukturalne karakteristike izmerenih svojstava na strogoj matematičkoj, ali ne i statističkoj utemeljenosti. Prema tome, da bi rezultati klaster analize bili smisleni potrebno je utvrditi pretpostavke koje se odnose na reprezentativnost uzorka i multikolinearnost varijabli. Pouzdanost rezultata klaster analize zavise od reprezentativnosti uzorka. Takođe, poželjna je niska multikolinearnost varijabli (*Ketchen i Shook, 1996*).

Nakon izbora uzorka i definisanja varijabli, uz sve potrebne pretpostavke, te uz izračunate matrice sličnosti, sledeći korak u klaster analizi je formiranje klastera. Pritom se razlikuju dva osnovna pristupa: hijerarhijske i nehijerarhijske metode.

Hijerarhijske metode podrazumevaju izgradnju hijerarhijske strukture objekata u vidu kreiranja dendograma. Dendogram je struktura objekata nalik stablu koja može nastati na aglomerativni (gomilajući) ili divizijski (deleći) način. Aglomerativne hijerarhijske metode analize polaze od pretpostavke da je svaki objekt savršeno homogeni klaster i na početku analize ima onoliko klastera koliko je i objekata (n). U sledećem koraku se utvrđuje najbliži par objekata na temelju izračunate matrice sličnosti. Od para najbližijih objekata se stvara klaster, dok se ukupan broj klastera smanjuje za jedan. Taj se postupak ponavlja $n - 1$ puta sve dok se svi objekti ne nađu unutar jednoga klastera. Postupak divizijske hijerarhijske metode analize je suprotan aglomerativnoj metodi jer se u analizi polazi od jednoga klastera, a završava s n klastera, tj. onoliko klastera koliko ima analiziranih objekata. Kod hijerarhijskih metoda je bitno da se jednom formirani klaster ne može deliti, već se može samo povezivati s drugim klasterima, što znači da se raniji rezultati grupisanja uvek svrstavaju među kasnije rezultate.

Po utvrđivanju konačnog broja klastera pristupa se njihovoj interpretaciji. Interpretacija klastera označava analizu svakog klastera u smislu utvrđivanja svojstava objekata od kojih su sačinjeni. Po tome određuje se i priroda svih klastera. Interpretirati klaster znači rečima opisati njegovo osnovno značenje.

Završni korak klaster analize je procena klaster analize i profiliranje klastera. Procena klaster analize podrazumeva mogućnosti primene rezultata klaster analize na celu populaciju. Profiliranje klastera označava opisivanje karakteristika svakog pojedinog klastera da bi se objasnilo kako se klasteri razlikuju po relevantnim osobinama.

3.8.6. ANN modeli (artificial neural networks)

Prema preporuci iz programa StatSoft Statistica, pri razvijanju ANN modela, baza podataka merenih vrednosti nasumično se deli na podatke za: učenje (60%), proveru (20%) i testiranje neuronske mreže (20%). Za testiranje performanse mreže u toku procesa učenja, kao indikatora nivoa generalizacije i momenta kada je taj proces završen, koristi se deo podataka koji služe za proveru. Sposobnosti generalizacije mreže se ispituje sa podacima za testiranje. Sistemi sastavljeni od više jednostavnih elemenata (neurona) koji istovremeno obrađuju podatke, nazivaju se neuronske mreže. ANN modeli su u stanju da obrađuju različite funkcije, u zavisnosti od strukture mreže, a obrada podataka se izvodi u „neuronima”. Veštačke mreže se obučavaju iz setova podataka na osnovu kojih se formira algoritam metodom proba-greška, gde tada dolazi do podešavanja propusnih (tzv. težinski) koeficijenta između neurona. Tok obučavanje neuronskih mreža se svodi na učenje iz primera, što više primera, to će ANN biti preciznija. Skupovi za učenje se sastoje od podataka koji se

periodično propuštaju kroz mreže, a kasnije se dobijene vrednosti upoređuju sa očekivanim i poboljšavaju menjanjem težinskih koeficijenata.

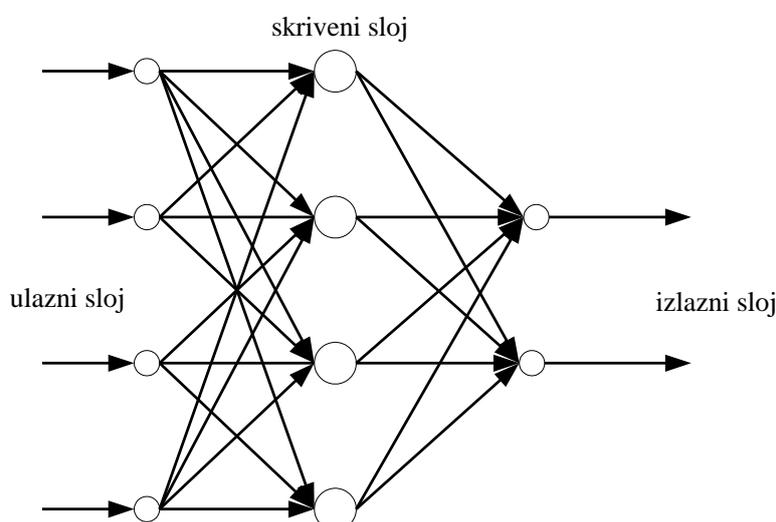
Algoritmi koji se koriste u proračunu ANN, zahtevaju ulazne i izlazne podatke koji se uobičajeno normalizuju korišćenjem jednačine (3.14.) u kojoj je q_i i -ti član koji predstavlja izmerene vrednosti: WL, SG, a_w , DM, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC, kvasci, plesni i Enterobakterije.

$$q_{i\text{norm.}} = \frac{q_i - \min(q_i)}{\max(q_i) - \min(q_i)} \quad (3.14.)$$

Promenljive koje su normalizovane imaju vrednosti između 0 i 1 i nemaju nikakvo fizičko značenje. Promena raspodele ulaznih promenljivih kako bi se bolje uklopile u raspodelu predviđenih izlaza je i svrha samih transformacija. Tako se ubrzava faza učenja mreže (*Tschegg i sar., 2009*).

Da bi se ANN adekvatno razvio neophodno je izabrati broj skrivenih slojeva i broja neurona u njima. Više skrivenih slojeva može izazvati moguće pojave problema lokalnih minimuma i sporije konvergencije u toku obučavanja mreže, zbog čega se savetuje korišćenje samo jednog sloja (*Peters i Iberg, 1978; Petrović, 2011*). U ovom istraživanju su korišćene najuobičajenije i najfleksibilnije mreže, koje imaju mogućnost primene na širokom dijapazonu problema, i kao takve predstavljaju višeslojni perceptron model (*Multi-Layer Perceptron - MLP*) koji se sastoji od ukupno tri sloja (ulaznog, skrivenog i izlaznog). Ovakvi modeli su pogodni za aproksimiranje nelinearnih zavisnosti, zbog čega su i korišćeni u ovom istraživanju (*Taylor, 2006; Nourani i Fard, 2012*). Uz pomoć prenosnih i aktivacionih funkcija, dolazi do prenosa informacija između slojeva. Ove funkcije su uobičajeno linearne za ulazne i izlazne slojeve, a nelinearne u skrivenom sloju. Nelinearne aktivacione funkcije koje se najčešće koriste pri računanju ANN u StatSoft Statistica programu su: logaritamske, sigmoidalne, hiperboličke i tangentne funkcije (takođe i eksponencijalne, sinusne, softmax, Gausove). Hiperboličke tangentne funkcije se ponašaju bolje od ostalih (*Taylor, 2006*). Neuronske mreže se obučavaju korišćenjem povratnog prostiranja (*backpropagation*), pri čemu se rešavanje skupa nelinearnih jednačina vrši korišćenjem *Levenberg–Marquardt* algoritma. ANN arhitektura je jedna od najčešće korišćenih i proučavanih za različite inženjerske primene. U izračunatoj vrednosti srednja kvadratna greška nekog izlaza se šalje unazad kroz sistem neurona, tada dolazi do proporcionalnih promena vrednosti težinskih koeficijenata (*weights*) i netačnosti računanja (*biases*), koje se povećavaju ili smanjuju, u zavisnosti od pravca greške u predviđanju izlaza u odnosu na eksperimentalnu vrednost, sa ciljem njenog minimiziranja. U slučaju kada su ove vrednosti izmenjene, ulazni podatak vezan za drugi uzorak ulazi u sistem i dolazi do ponavljanja procesa. Procesiranje što većeg broja uzoraka u fazi obučavanja dovodi do najvišeg kvaliteta izlaza u odnosu na ulaze kada je model razvijen, sa najnižim vrednostima SOS, čime se vrši optimizacija (*Taylor i sar., 2006; Tschegg i sar., 2009; Grieu i sar., 2011; Nourani i Fard., 2012; Arsenović i sar., 2013; Ćurčić i sar., 2014*).

Primenjivanjem postupka ranog zaustavljanja obučavanja mreže izbegava se prekomerna specijalizacija modela koji je inkorporiran u postupak učenja, u trenutku kada se dobiju najmanje vrednosti SOS. Modeli dobijeni na ovaj način imaju veliku prediktivnu tačnost na skupu primera za učenje, a značajno nižu na novim, nepoznatim primerima podataka, ili testnom skupu podataka (*Fedajev i Mihajlović, 2009*).



Slika 3.1. Šematski prikaz neuronske mreže sa tri sloja (*Petrović, 2011*)

Potreban broj neurona se prvobitno procenjuje na osnovu jednačine u kojoj x i y predstavljaju broj ulaznih i izlaznih neurona respektivno, dok je n broj neurona u skrivenom sloju, a m broj težinskih koeficijenata, odnosno veza između slojeva u neuronskoj mreži (*Charalambous, 1992; Demuth i Beale, 1992*):

$$m = n \cdot (x + 1) + y \cdot (n + 1) \quad (3.15.)$$

m se okvirno može smatrati brojem uzoraka korišćenih za učenje mreže podeljenim sa 10. Broj skrivenih neurona bi trebao da bude između broja ulaza i izlaza, ili $2/3$ veličine ulaznog sloja plus veličina izlaznog sloja, ili manje od duplog broja ulaznih podataka (*Demuth i Beale, 1992*). Najbitnija stavka pri dizajniranju ANN je utvrđivanje odgovarajućeg broja skrivenih slojeva i neurona. Ovi brojevi zavise od kompleksnosti veza između ulaza i izlaza (*Taylor, 2006*).

Pored SOS vrednosti, kao parametar za proveru performanse mreža korišćen je korelacioni koeficijent r . Kada se odabere najbolja mreža, može se implementirati model korišćenjem algebarskog sistema jednačina radi predviđanja vrednosti WL, SG, a_w , DM, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC, kvasci, plesni i Enterobakterije zamenom odgovarajućih težinskih koeficijenata i koeficijenata u matricama u jednačini 3.15. Proračune je moguće izvesti u *Microsoft Office Excel*-u. Računske greške, odnosno ostaci pri računanju, kao i težinski koeficijenti vezani za skriveni sloj grupisani su u matricama W_1 i B_1 . Koeficijenti koji se odnose na izlazni sloj grupisani su u matricama W_2 i B_2 . Ako je Y

matriks izlaznih promenljivih, f_1 i f_2 prenosne funkcije u skrivenom i izlaznom sloju respektivno, a X matriks ulaznih promenljivih, ANN se može predstaviti na sledeći način (Fedajev i Mihajlović, 2009):

$$Y = f_1(W_2 \cdot f_2(W_1 \cdot X + B_1) + B_2) \quad (3.16.)$$

U matricama W_1 i W_2 težinski koeficijenti prenosnih funkcija neurona određuju se tokom obučavanja mreže korišćenjem optimizacije radi minimizovanja grešaka između izlaza predviđenih mrežom i eksperimentalnih podataka (Charalambous i sar., 1992; Demuth i sar., 1992). Da bi se konvergencija ubrzala i stabilizovala, greške se računaju na osnovu SOS i BFGS (Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno) algoritma (Kollo i Von Rosen, 2005).

ANN se mogu definisati kao univerzalni modeli, koje mogu da koriste bilo koje linearne ili nelinearne funkcije. To su moćne metode sa velikom fleksibilnošću u aproksimaciji funkcija u zadacima koji uključuju klasifikaciju modela, procenu i predviđanje kontinualnih promenljivih. Pored svih pozitivnih karakteristika, glavni nedostatak ANN je teškoća u interpretaciji stečenog znanja na osnovu modela (Trelea i sar., 1997). Verodostojnost modela često zavisi od mogućnosti da se objasne zaključci do kojih se dolazi, neophodno je sprovesti i ovakvu analizu (Tschegg i sar., 2009; Pezo i sar., 2013). Radi proučavanja uticaja posmatranih ulaznih promenljivih, nesigurnosti dobijenih modela i opšteg ponašanja ANN sprovodi se *Sensitivity* analiza (Basheer i Hajmeer, 2000; Taylor, 2006). *Sensitivity* analiza se koristi da se utvrdi koliko su modeli „osetljivi“ na promene vrednosti parametara modela i na promene u strukturi modela (Tschegg i sar., 2009).

3.8.7. Analiza osetljivosti

Analiza osetljivosti primenjuje se kako bi se ispitali uticaji malih promena ulaznih veličina (procesnih promenljivih) na izlazne veličine procesa. Izlazi koji imaju veću osetljivost imaju veći odziv na male promene ulaznih veličina (*Pezo et. al., 2013*). Analizom osetljivosti testiraju se infinitezimalne promene nominalne ulazne veličine u deset individualnih, jednako udaljenih tačaka ulaznog prostora, od minimalne do maksimalne vrednosti posmatrane ulazne veličine, radi ispitivanja promena izlazne veličine. Ova analiza se takođe koristi i za ispitivanje osetljivosti i grešaka ANN modela.

Analiza osetljivosti ukazuje na osetljivost odzivnih promenljivih u posmatranom opsegu procesnih promenljivih (računa se polinomom drugog reda). Vrednosti osetljivosti prikazani na dijagramu predstavljaju izvode prvog reda, računati u tačkama koje se nalaze na desetinama punog opsega svake procesne promenljive. Tako se svaki izvod ulazne promenljive računa u odnosu na položaj deset jednako udaljenih tačaka na opsegu od minimuma do maksimuma za svaku promenljivu (ekstremne vrednosti u tom slučaju koriste se kao krajnje tačke za analizu). Vrednosti prvog izvoda za svaku promenljivu računaju se na osnovu Taylor-ove formule (*Kleijnen, 2008; Nourani i Fard, 2012*):

$$Y_i(x + \Delta x) = Y_i(x) + \sum_{j=1}^m \frac{\partial Y_i}{\partial x_j} \cdot \Delta x_j + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial^2 Y_i}{\partial x_k \partial x_j} \cdot \Delta x_k \cdot \Delta x_j + K \quad (3.17)$$

Dobijene vrednosti prikazuju nivo eksperimentalne greške, ali takođe prikazuju i uticaje ulaza na izlazne promenljive.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Hemometrijska analiza uticaja tehnoloških parametara na proces osmotske dehidracije lista koprive (*Urtica dioica* L.)

Rezultati osmotske dehidracije lista koprive analizirani su primenom sledećih hemometrijskih metoda: metoda odzivne površine, analiza glavnih komponenata, klaster analiza i modela neuronskih mreža.

Parametri procesa bili su: gubitak vlage (WL), priraštaj suve materije (SG), aktivnost vode (a_w), sadržaj suve materije (DM), kao i sadržaji minerala: natrijuma (Na), kalijuma (K), kalcijuma (Ca), magnezijuma (Mg), gvožđa (Fe), bakra (Cu), cinka (Zn), mangana (Mn) i kobalta (Co).

U tabelama 4.1. i 4.2. prikazane su srednje vrednosti šest ponavljanja posmatranih odziva: WL, SG, a_w i DM sa standardnim devijacijama, za uzorke lista koprive dehidriranih u dva različita osmotska rastvora R_1 , R_2 tokom 30, 60 i 90 minuta (t) trajanja procesa osmotske dehidracije i na tri različite radne temperature 20, 35, 50°C (T).

U tabeli 4.1. prikazane su promene kinetičkih parametara tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 .

Tabela 4.1. Kinetički parametri tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Br.	t (min)	T (°C)	WL (g/g p.u.)	SG (g/g p.u.)	a_w	DM (%)
0	0	20	0,000±0,00 ^a	0,000±0,000 ^a	0,939±0,016 ^d	26,163±0,907 ^a
1	30	20	0,340±0,007 ^b	0,174±0,003 ^b	0,909±0,012 ^{cd}	40,782±1,112 ^b
2	30	35	0,350±0,005 ^b	0,203±0,002 ^c	0,901±0,013 ^c	39,031±0,756 ^b
3	30	50	0,426±0,013 ^c	0,206±0,003 ^c	0,896±0,020 ^c	43,165±1,359 ^c
4	60	20	0,415±0,006 ^c	0,202±0,003 ^c	0,901±0,015 ^c	46,573±0,997 ^d
5	60	35	0,433±0,003 ^d	0,223±0,004 ^d	0,892±0,003 ^b	46,842±0,656 ^d
6	60	50	0,443±0,004 ^e	0,221±0,004 ^d	0,886±0,021 ^b	48,089±0,586 ^e
7	90	20	0,431±0,006 ^{de}	0,203±0,003 ^c	0,898±0,019 ^b	46,470±0,807 ^d
8	90	35	0,446±0,010 ^e	0,233±0,004 ^d	0,889±0,007 ^{ab}	48,951±0,651 ^e
9	90	50	0,487±0,001 ^f	0,260±0,000 ^e	0,879±0,016 ^a	49,690±0,907 ^f

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 kontrolni uzorak; $n=3$

U tabeli 4.2. prikazane su promene kinetičkih parametara tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂.

Tabela 4.2. Kinetički parametri tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Br.	t	T	WL	SG	a _w	DM
	(min)	(°C)	(g/g p.u.)	(g/g p.u.)		(%)
0	0	20	0,000±0,000 ^a	0,000±0,000 ^a	0,939±0,016 ^d	26,163±0,907 ^a
1	30	20	0,377±0,012 ^b	0,123±0,001 ^b	0,924±0,029 ^{bc}	33,921±0,701 ^b
2	30	35	0,413±0,007 ^c	0,119±0,001 ^b	0,919±0,011 ^b	41,195±0,650 ^c
3	30	50	0,458±0,008 ^d	0,158±0,002 ^e	0,911±0,013 ^b	40,534±0,752 ^c
4	60	20	0,486±0,008 ^e	0,150±0,003 ^d	0,911±0,014 ^b	42,487±0,632 ^c
5	60	35	0,505±0,011 ^{ef}	0,143±0,004 ^{cd}	0,902±0,010 ^{ab}	47,545±0,786 ^d
6	60	50	0,541±0,007 ^g	0,184±0,003 ^f	0,895±0,019 ^{ab}	49,421±0,778 ^e
7	90	20	0,516±0,009 ^{fg}	0,158±0,001 ^e	0,902±0,013 ^{ab}	48,480±0,259 ^e
8	90	35	0,510±0,010 ^{ef}	0,141±0,001 ^c	0,899±0,013 ^{ab}	49,902±0,387 ^{ef}
9	90	50	0,541±0,009 ^g	0,189±0,004 ^f	0,891±0,014 ^a	51,209±0,872 ^f

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 kontrolni uzorak; $n=3$

4.1.1. Gubitak vode (WL) osmotski dehidriranog lista koprive

Glavni cilj procesa osmotske dehidratacije je smanjenje sadržaja vode u materijalu koji se dehidrira. Rezultati ove disertacije potvrdili su uspešnost osmotskog tretmana u uklanjanju vode iz dehidriranih uzoraka u oba osmotska rastvora.

Gubitak vode i brzina gubitka vode zavise od koncentracije osmotskog rastvora, temperature, vremena imerzije, oblika i geometrije materijala, kao i od odnosa rastvor/materijal (*Koprivica, 2013*).

Tabele 4.1. i 4.2. prikazuju statističke razlike vrednosti WL za sve uzorke. Statistički značajno povećavanje količine vode koja se izdvoji iz uzoraka lista koprive tokom procesa osmotske dehidratacije, očigledno je da zavisi od povećanja temperature produženja vremena imerzije. Porast temperature podstiče migraciju molekula vode kroz polupropustljivu ćelijsku membranu lista koprive u okolni rastvor (*Rastogi i sar., 2002*).

Najveći gubitak vode tokom procesa osmotske dehidratacije iz uzoraka lista koprive u osmotskom rastvoru R₁ iznosio je $0,487 \pm 0,001$ g/g početnog uzorka (p.u.), a u osmotskom rastvoru R₂, $0,541 \pm 0,009$ g/g p.u. (tabele 4.1. i 4.2.).

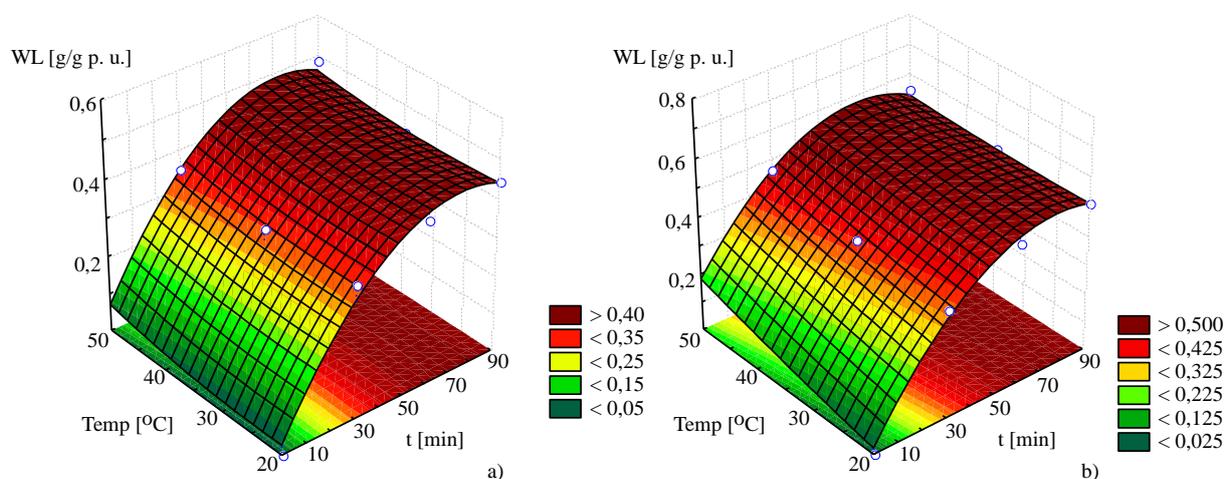
Trend povećanja WL je najintenzivniji na početku procesa. Količina izdvojene vode raste sa povećanjem temperature i trajanja procesa. U skladu sa prikazanim trendom, uočava se da je najintenzivnije

izdvajanje vode zabeleženo do 60 min procesa, pri temperaturi od 50°C, dok se u daljem procesu nastavlja rastući trend, ali sa znatno manjim intenzitetom, za oba primenjena osmotska rastvora.

Uočljivo je da se veća količina vode izdvoji iz osmotski dehidriranog uzorka lista koprive, ako se koristi melasa šećerne repe, kao osmotski rastvor. Rastvori većih koncentracija iskazuju veću pogonsku silu za difuziju vode iz tkiva uzoraka u okolni rastvor (Nićetin, 2017). Opravdano je što se melasa šećerne repe pokazala kao efikasniji osmotski agens za uklanjanje vode, jer ima veći početni sadžaj suve materije (81,54%), u odnosu na vodeni rastvor saharoze i natrijum hlorida (60% suve materije).

U prvih 30 minuta procesa, difuzija vode iz uzoraka je najintenzivnija jer je tada koncentracioni gradijent između potopljenih biljnih tkiva i okolnog rastvora najveći. Osmotski rastvori se daljim tokom procesa razblažuju vodom koja je difundovala iz potopljenih uzoraka pri čemu rastu i vrednosti gubitka vode, ali manjom brzinom. Po isteku 60 min procesa brzina migracije molekula vode iz tretiranih uzoraka opada, a vrednosti gubitka vode približavaju se ravnotežnom stanju, na kome se proces izdvajanja vode zaustavlja (Torreggiani, 1993).

Na slici 4.1. prikazane su promene WL tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.1. Gubitak vlage (WL) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Slika 4.1. a) i b) prikazuju zavisnost gubitka vlage (WL) od promena procesnih parametara, temperature procesa u rastvorima natrijum-hlorida (R₁) i rastvoru melase šećerne repe (R₂) i vremena trajanja procesa. Na oba dijagrama se zapaža da sa porastom vrednosti procesnih parametra (t i T) se povećava i količina izdvojene vode.

Na porast WL, nakon osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁ uočava se uticaj oba parametra procesa (t i T). Na dijagramu a) pimećuje se da je u prvih 30 minuta procesa najintenzivniji rast WL parametra. Produženjem trajanja procesa i dalje rastu vrednosti WL, ali manjim intenzitetom, s tim što je porast gubitka vode još izražajniiji na najvišim temperaturama.

Na dijagramu b) može se zapaziti da temperatura procesa ima veći uticaj u poređenju sa vremenom trajanja procesa na izdvajanje vode iz osmotski tretiranih uzoraka lista koprive u rastvoru R₂. Uočeno je da dolazi do intenzivnijeg porasta parametra gubitka vode prilikom povećavanja temperature i konstantnog vremena procesa, nego u slučaju variranja vremena imerzije pri konstantnim temperaturnim uslovima. Vrednosti WL ravnomerno rastu sa povećanjem trajanja procesa. U prvih 60 minuta procesa povećanje WL parametra je intenzivnije, na sve tri procesne temperature. Nakon tog vremena vrednosti WL se približavaju ravnotežno i gubitak vode se smanjuje.

4.1.2. Priraštaj suve materije (SG) u uzorcima osmotski dehidriranog ista koprive

Priraštaj suve materije (SG) je pored parametra gubitka vode najbitniji parameter za sagledavanje kinetike procesa osmotske dehidracije. On predstavlja suprotni tok materije od toka difuzije vode (*Filipović, 2013*). Stepem prodiranja rastvorenih supstanci iz osmotskog rastvora u tretirano tkivo kvantitavno je određen vrednošću parametra SG i posmatra se u odnosu na ukupnu suhu materiju uzoraka, kod oba ispitivana rastvora (*Filipčev i sar., 2009*).

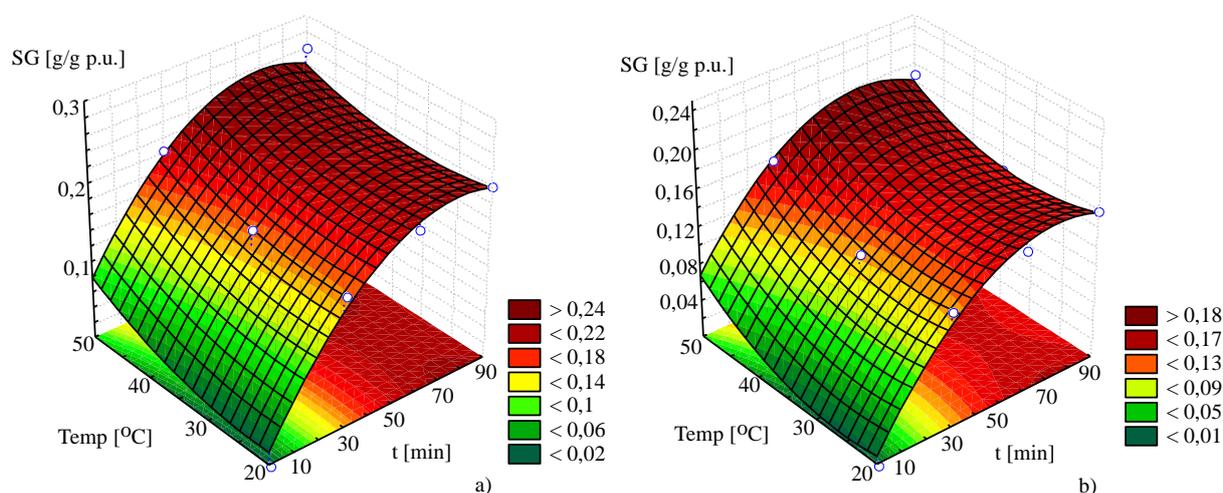
Definisanje sastava suve materije, primenom melase šećerne repe, kao osmotskog rastvora, veoma je kompleksno, jer melasa predstavlja višekomponenti sistem. Analiziranjem svake pojedinačne komponente melase koja prodire u tretirani materijal veoma je komplikovano, ali sa druge strane veoma bitno, s obzirom da baš te komponente kojima je melasa bogata (minerali, vitamin...) doprinose poboljšanju kvaliteta dehidriranog biljnog materijala. Kada se kao osmotski rastvor koristi vodeni rastvor saharoze i natrijum-hlorida, kvalitativne karakteristike priraštaja suve materije su poznate, jer u biljno tkivo mogu da difunduju samo molekuli saharoze i natrijum-hlorida.

Najveća vrednost priraštaja suve materije nakon osmotske dehidracije lista koprive u osmotskom rastvoru R₁ iznosila je $0,260 \pm 0,000$ g/g p.u., a $0,189 \pm 0,004$ u osmotskom rastvoru R₂, (tabele 4.1., 4.2). U oba slučaja temperatura procesa bila je 50°C, vreme trajanja 90 minuta.

U uzorcima lista koprive, osmotski tretiranim u rastvorima natrijum-hlorida (R₁) i melasi šećerne repe (R₂), priraštaj suve materije (SG) raste sa povećanjem temperature i vremenom trajanja procesa. Na višim temperaturama ćelijska membrana nakon dužeg kontakta sa osmotskim rastvorom gubi svoju permeabilnost i time doprinosi porastu vrednosti priraštaja suve materije (SG) (*Elmoazzen i sar., 2009*). Pored toga, osmotski

rastvor impregnira biljno tkivo (prodire u kanale međucelijskog prostora) i istiskuje vazduh iz kanala, što svakako utiče na krajnju vrednost priraštaja suve materije (*Kausalya i sar., 2006*).

Na slici 4.2. prikazane su promene SG tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.2. Priraštaj suve materije (SG) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Najintenzivnija impregnacija površinskog sloja tkiva lista koprive natrijum-hloridom i saharozom iz rastvora R₁, kao i saharozom i različitim osmoaktivnim materijama iz rastvora R₂, zapažene su između 30 i 60 minuta procesa pri sve tri procesne temperature. Vrednosti SG nakon 30 minuta procesa na 20°C, 35°C i 50°C u R₁ rastvoru, iznosile su: $0,174 \pm 0,003$ g/g p.u., $0,203 \pm 0,002$ g/g p.u. i $0,206 \pm 0,003$ g/g p.u., (tabela 4.1.), dok su u R₂ rastvoru iznosile: $0,123 \pm 0,001$ g/g p.u., $0,119 \pm 0,001$ g/g p.u. i $0,158 \pm 0,002$ g/g p.u., (tabela 4.2.). Nakon 60 minuta procesa i dalje se uočava blagi porast SG, ali sa manjim intenzitetom.

Upoređivanjem vrednosti priraštaja suve materije u zavisnosti od tipa rastvora kojima su uzorci lista koprive osmotski tretirani, uočava se da su u svim slučajevima veći priraštaji suve materije postignuti primenom rastvora R₁. Dokazano je da veličina molekula u rastvoru ima značajan uticaj na odnos gubitka vode i prirasta suve materije. Što je manji molekul rastvorka, on se brže i lakše probija u unutrašnjost tkiva koje se dehidrira (*Tonon i sar., 2007*). Molekuli soli zbog male molekulske mase difunduju u većoj meri u potopljeno tkivo, gde dolazi do strukturne promene u ćelijskoj membrani, što dovodi do povećanja njene permeabilnosti. Povećano prodiranje saharoze u tretirane uzorke posledica je povećanja permeabilnosti ćelijske membrane (*Yadav i Singh, 2014*). Pretpostavlja se da su veće vrednosti priraštaja suve materije (SG) u uzorcima tretiranim u rastvoru natrijum-hlorida i saharoze (R₁) rezultat ovog fenomena. Višekomponentni sastav melase sadrži jedinjenja različitih molekulskih veličina i težina, između kojih je i makromolekul saharoze, ali u znatno manjim količinama nego u rastvoru natrijum-hlorida i saharoze (R₁).

Koprivica, 2013 svojim istraživanjima pokazuje da na parameter procesa gubitka vlage (WL), porast temperature na početku procesa, više utiče nego na parameter priraštaja suve materije (SG). Pogonska sila za maseni transfer je velika na početku procesa, dok je struktura tretiranog tkiva nepromenjena. Tokom procesa dolazi do blagog oštećenja tkiva, koja mogu da utiču na fenomen prenosa mase. Putem difuzije kroz intercelularne prostore dolazi do usvajanje osmotskog rastvorka. Mehanizam usvajanja suve materije veoma malo doprinosi gubitku vode, uglavnom se odigrava putem osmoze između ćelija (*Atares i sar., 2011; Torregiani, 1993*). Posledica razlike u veličini molekula je razlika u difuzivnosti vode i rastvorka (*Lazarides i sar., 1994*).

Posmatrajući sa stanovišta osmotske dehidracije visoke vrednosti priraštaja suve materije nisu poželjne. Cilj osmotske dehidracije je da se postigne što veće uklanjanje vode iz tretiranog materijala, uz što manji priraštaj suve materije, tj. da odnos gubitak vode/priraštaj suve materije bude što veći (*Ćurčić i sar., 2015*). Dobijeni rezultati koji ukazuju na manje vrednosti SG daju prednost upotrebi melase u odnosu na rastvor šećera i soli u pogledu efikasnosti osmotskog tretmana. Prednost upotrebe melase kao osmotskog rastvora ogleda se i u njenom povoljnom uticaju na kvalitet dehidriranog materijala. U list koprive, pored molekula saharoze, prodiru i važne mineralne i bioaktivne komponente melase, što je pogodno sa nutritivnog aspekta (*Nićetin, 2017*).

4.1.3. Aktivnosti vode (a_w) u uzorcima osmotski dehidriranog lista koprive

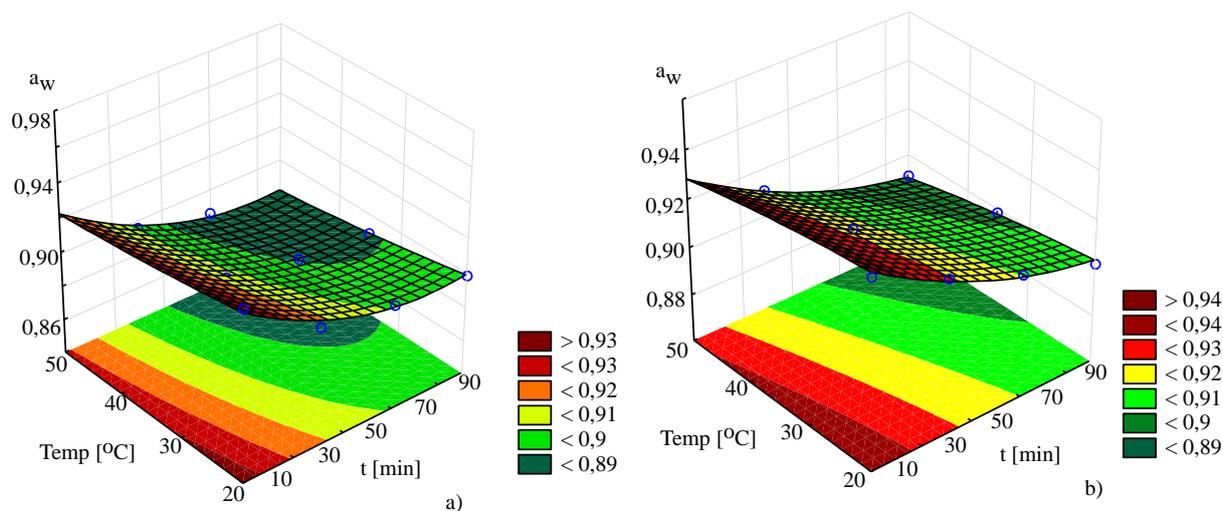
Prisutnu vodu u tretiranom uzorku moguće je, u velikom procentu (više od 50%), ukloniti osmotskom dehidracijom. Tokom procesa vrlo je bitno kontrolisati vrednosti aktivnosti vode (a_w), s obzirom da ona više nego priraštaj suve materije utiče na stabilnost dehidriranog uzorka i njegovu mikrobiološku sigurnost (*Yadav i Singh, 2014*).

U tabelama 4.1. i 4.2. predstavljene su srednje vrednosti parametara a_w , izmerenih u svežim i dehidriranim uzorcima lista koprive u različitim uslovima procesa. Srednje vrednosti a_w se kod svih dehidriranih uzoraka statistički značajno razlikuju u poređenju sa srednjim vrednostima u početnim uzorcima, a takođe se i većina uzoraka tretiranih pri različitim procesnim parametrima međusobno statistički značajno razlikuju u pogledu prosečnih a_w vrednosti.

Sniženje aktivnosti vode osmotskim tretmanom lista koprive u rastvoru R_1 kretalo se od $0,909 \pm 0,012$ do $0,879 \pm 0,016$ (tabela 4.1.). Najniža a_w vrednost ($0,879 \pm 0,016$) uočena je na temperaturi od 50°C , nakon 90 minuta procesa, ali je postignuto sniženje u odnosu na svež uzorak dovoljno da rast i razvoj većine bakterija u uzorcima osmotski tretiranog lista koprive bude onemogućen (granična a_w vrednost ispod koje prestaje rast većine bakterija je 0,91) (*Ayerst, 1969; Pitt i Miscamble 1995; Krulj 2018*).

Na osnovu vrednosti prikazanih u tabeli 4.2. primetno je da se a_w uzoraka lista koprive, tretiranih u rastvoru R_2 u odnosu na polaznu a_w vrednost ($0,939 \pm 0,016$) snižavala u rasponu od $0,924 \pm 0,029$ do $0,891 \pm 0,014$. Primenom viših temperatura, bez obzira na dužinu tretmana, ostvaruju se a_w vrednosti ispod graničnih za metaboličko delovanje većine bakterija i kvasaca. Uticaj rastvora melase na snižavanje aktivnosti vode dolazi do izražaja na višim temperaturama, usled smanjenja njene početne viskoznosti.

Na slici 4.3. prikazane su promene a_w tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



Slika 4.3. Aktivnost vode (a_w) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Prosečna aktivnost vode u svežim uzorcima lista koprive iznosila je $0,939 \pm 0,016$. S obzirom da je aktivnost vode značajan faktor održivosti, ovako velika vrednost ukazuje na kratku održivost lista koprive. Kod svih ispitanih uzoraka sadržaj slobodne vode se smanjuje, što potvrđuju izmerene a_w vrednosti, koje su u svim slučajevima manje u odnosu na svež uzorak.

Poznavanje graničnih a_w vrednosti za limitiranje rasta mikroorganizama važno je sa zdravstvenog aspekta i aspekta očuvanja hrane. Na vrednost a_w u hrani utiču i temperatura, pH sredine, sadržaj dodate soli i drugi faktori (Lončar, 2015).

Dobijenim rezultatima a_w vrednosti lista koprive u rastvorima natrijum-hlorida i saharoze (R_1) i melasi šećerne repe (R_2), pokazuju da se rast i razvoj većine bakterija i kvasaca može ograničiti postupkom osmotske dehidracije.

Analize mikrobioloških profila dehidriranog poluproizvoda urađene su upravo radi provere i potvrde higijenske i zdravstvene bezbednosti procesa osmotske dehidracije lista koprive.

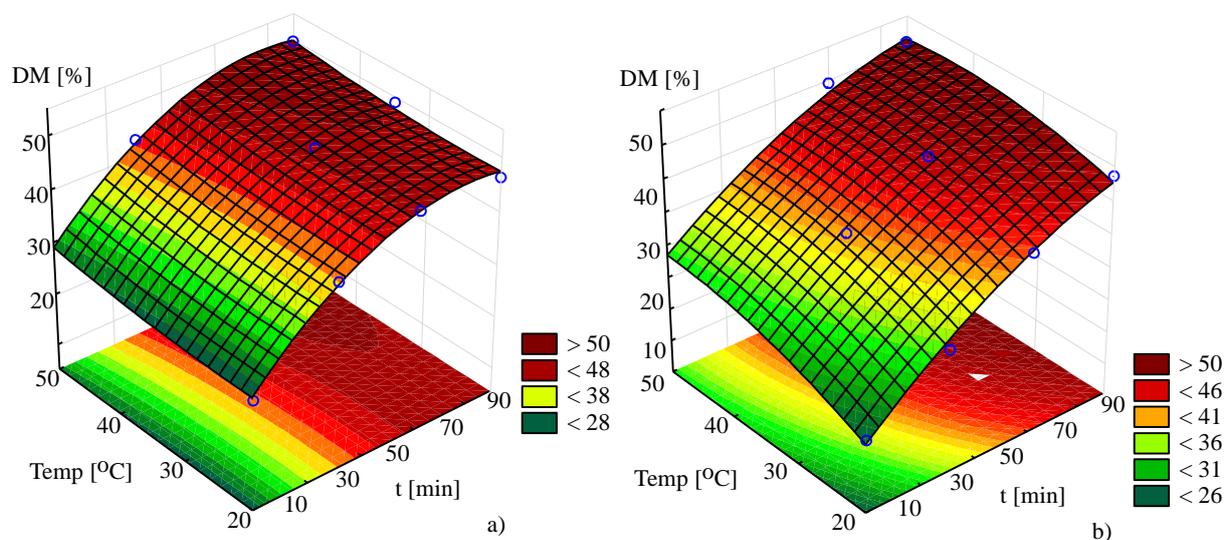
4.1.4. Sadržaj suve materije (DM) osmotski dehidriranog lista koprive

Prosečan sadržaj suve materije svežeg lista koprive iznosio je $26,163 \pm 0,907\%$. Najveće postignute vrednosti sadržaja suve materije osmotski dehidriranog lista koprive bile su: $51,209 \pm 0,872\%$ u osmotskom rastvoru R_2 , a $49,690 \pm 0,907\%$ u osmotskom rastvoru R_1 (tabele 4.1. i 4.2.). U oba osmotska rastvora najveće vrednosti sadržaja suve materije postignute su nakon 90 minuta trajanja procesa, pri najvišim temperaturama ($T=50^\circ\text{C}$).

Kao posledica uklanjanja vode (dehidracija) i prodiranja suve materije iz rastvora u biljno tkivo (impregnacija) javlja se povećanje sadržaja suve materije. Pojam impregnacije predstavlja istiskivanje vazduha iz međucelijskog prostora parenhimskog tkiva biljne sirovine i ispunjavanje tog prostora koncentrovanim osmotskim rastvorom (*Koprivica, 2013*). Zbog toga, vrednosti parametra DM direktno zavise od dobijenih vrednosti za kinetičke parametre WL i SG, na svim ispitivanim procesnim parametrima. Step povećanja DM zavisi i od uslova pod kojima je izveden postupak (vreme trajanja procesa i radna temperatura), kao i od vrste primenjenog osmotskog rastvora (tabele 4.1. i 4.2.), što odgovara podacima iz literature (*Ničetin, 2017*).

Povećanjem radnih temperatura i produženjem vremena trajanja procesa postiže se viši sadržaj suve materije u dehidriranom listu koprive, a na osnovu prikazanog trenda dolazi se do zaključka da se proces osmotske dehidracije najintenzivnije odvija do 60 min, nakon čega u narednih 30 min teži ravnotežnim vrednostima i kraju procesa. Najniži sadržaj suve materije u rastvoru R_1 zabeležen je na temperaturi od 35°C , nakon 30 minuta procesa, i iznosio je: $39,031 \pm 0,756\%$. U rastvoru R_2 najniža vrednost zabeležena na procesnim parametrima od 20°C i 30 min iznosila je $33,921 \pm 0,701\%$. Na ovim procesnim uslovima zapažen je i najmanji gubitak vode, a manji stepen prodiranja suve materije iz rastvora, pa se najniža vrednost DM, kao i u prethodnim razmatranjima, pripisuje velikom viskozitetu melase na nižim temperaturama i u samom početku procesa.

Na slici 4.4. prikazane su promene DM tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.4. Sadržaj suve materije (DM) tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Na dijagramu 4.4. a) vidi se izražen uticaj parametara temperature i vremena trajanja procesa na povećanje sadržaja suve materije u listu koprive dehidriranom u rastvoru R₁. Sa porastom vrednosti oba procesna parametra uočava se pravilan porast parametra DM.

Isti trend uticaja parametara temperature i vremena uočen je i prilikom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂ (dijagram 4.4. b)). Porastom oba procesna parametra statistički značajno se utiče na porast sadržaja suve materije u listu koprive tretiranom u oba osmotska rastvora (tabela 4.1. i 4.2.). Zapaža se da je u rastvoru melase šećerne repe (R₂), pri najvišim procesnim parametrima (t=90 minuta, T=50°C), primetan veliki porast vrednosti sadržaja suve materije (DM).

Sa porastom procesnih parametara (vreme trajanja procesa i temperatura) ubrzava se prenos mase između uzorka i osmotskog rastvora, kako vode iz uzorka koji se dehidrira, tako i rastvorenih supstanci iz osmotskog rastvora u uzorak. Prema tome očekivano je da maksimalne vrednosti parametara gubitka vlage, sadržaja suve materije i priraštaja suve materije budu zabeležene na maksimalnim vrednostima tehnoloških parametara (T i t) i to u osmotskom rastvoru melase šećerne repe (R₂), zbog većeg sadržaja suve materije u odnosu na rastvor natrijum-hlorida i saharoze (R₁).

4.1.1.1. Matematičko modelovanje odziva WL, SG, DM i a_w tokom osmotskog tretmana lista koprive RSM metodom

Rezultati analize varijanse (ANOVA) modela odzivnih površina, prikazani su u tabelama 4.3. i 4.6. Modeli su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata, dobijenih tokom osmotskog tretmana lista koprive u osmotskim rastvorima natrijum-hlorida i saharoze (R_1) i melase šećerne repe (R_2). Analizirani su statistički značajni uticaji na osnovu procesnih parametara rezultata, kao i njihove međusobne zavisnosti na odzive matematičkih modela. Kao model odzivnih površina korišćen je polinom drugog reda (SOP) u obliku jednačine (3.10.), radi predviđanja funkcije (3.9.), za sve procesne parametre, odnosno nezavisno promenljive veličine.

4.1.1.2. Modeli odziva WL, SG, a_w i DM osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

U tabeli 4.3. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za odzive WL, SG, a_w i DM za osmotski tretman lista koprive u rastvoru R_1 . Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje WL najveći uticaj imaju linearni i kvadratni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$ i $p < 0,05$, respektivno. Najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje SG imaju linearni i kvadratni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$ i $p < 0,05$, respektivno. Na model za predikciju a_w najveći uticaj imaju linearni članovi t i T, kao i kvadratni član t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$, $p < 0,05$ i $p < 0,10$, respektivno. Najveći uticaj u SOP modelu za predikciju DM imaju i linearni i kvadratni član t ($p < 0,01$ i $p < 0,10$).

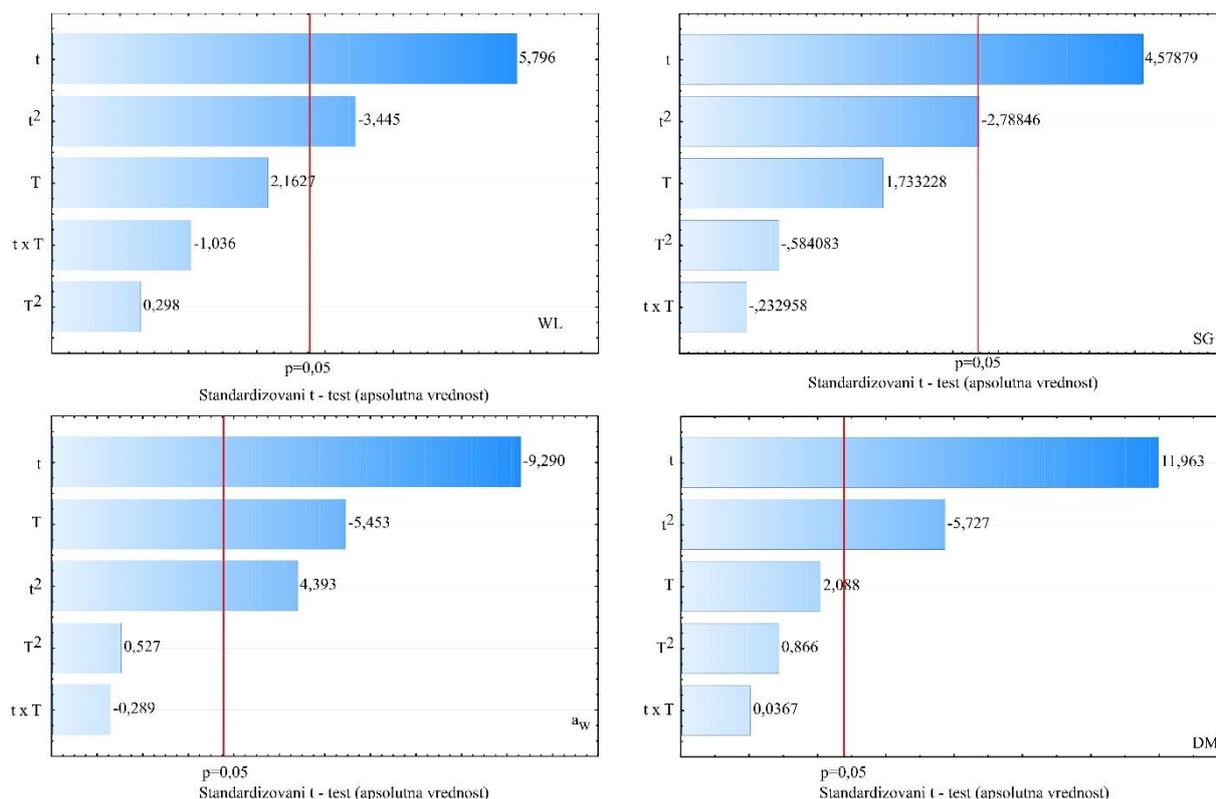
Tabela 4.3. ANOVA modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Član	df	WL	SG	a_w	DM
t	1	0,090 ⁺	0,018 ⁺	$8,38 \cdot 10^{-4}$ **	223,183 ⁺
t ²	1	0,028*	0,006*	$1,43 \cdot 10^{-5}$ *	20,459**
T	1	0,001	0,002	$3,07 \cdot 10^{-5}$ *	11,541
T ²	1	0,000	0,001	$4,30 \cdot 10^{-4}$	3,452
t × T	1	0,000	0,000	$2,23 \cdot 10^{-4}$	0,561
Greška	3	0,007	0,003	$9,54 \cdot 10^{-4}$	14,700

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, *Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

**Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Na slici 4.5. prikazani su Paretovi dijagrami modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 . Paretovi dijagrami prikazuju standardizovane, apsolutne vrednosti t-testa za svaki član SOP modela za kinetičke parametre procesa osmotskog tretmana i određuju njihovu uticajnost i statističku značajnost. Iz navedene slike vidi se da u SOP modelu za izračunavanje WL najveći uticaj imaju linearni i kvadratni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$ i $p < 0,05$, respektivno. Najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje SG i DM imaju linearni i kvadratni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$ i $p < 0,05$, respektivno.



Slika 4.5. Paretovi dijagrami modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Na osnovu rezultata merenja formirani su matematički modeli u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva WL, SG, a_w i DM za osmotski tretman lista koprive u rastvoru R₁ u zavisnosti od t i T. U tabeli 4.4. regresioni koeficijenti prikazani su srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata izražena je preko *p* vrednosti.

Tabela 4.4. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

	WL	SG	a _w	DM
β ₀	0,063±0,146	0,055±0,091	0,975±0,055 ⁺	19,229±6,846 [*]
β ₁	0,012±0,002 ⁺	0,006±0,001 ⁺	0,000±0,001	0,384±0,084 [*]
β ₁₁	0,000±0,000 [*]	0,000±0,000 [*]	0,000±0,000	-0,002±0,001 ^{**}
β ₂	-0,003±0,009	-0,004±0,006	-0,004±0,004	0,476±0,436
β ₂₂	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,006±0,006
β ₁₂	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,001±0,002

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

Srednje vrednosti razlika za odzive WL, SG, a_w i DM bile su oko 0, a standardne devijacije razlika, kao i varijansa razlika takođe su bile bliske 0. Ovakvi rezultati pokazuju da model na odgovarajući način

predstavlja eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁. Pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%. Dobre osobine za generalizaciju modela pokazane su parametrima Skew. (engl. *skewness* krivljenje), koja predstavlja odstupanje od normalne raspodele i Kurt. (kurtoisis), koji predstavlja odstupanje od "nazubljenosti" normalne raspodele.

Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2 i r^2_{adj}), prikazane u tabeli 4.5. ukazuju na pouzdanu predikciju WL, SG, a_w i DM za osmotski tretman lista koprive u rastvoru R₁, na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.4. i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.5. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	r^2_{adj}	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
WL	0,006	0,039	-0,007	0,000	0,962	0,911	0,441	-0,979	-0,003	0,027	0,001
SG	0,002	0,023	-0,005	0,000	0,945	0,868	0,192	-0,826	-0,002	0,016	0,000
a _w	0,001	0,015	-0,002	1,933	0,702	0,657	-0,011	0,412	-0,001	0,011	0,000
DM	11,849	1,721	-0,422	4,900	0,969	0,927	-0,413	-0,306	-0,188	1,201	1,442

4.1.1.3. Modeli odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

U tabeli 4.6. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂. Iz navedene tabele vidi se da u SOP modelu za izračunavanje WL najveći uticaj imaju linearni i kvadratni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$, a veoma uticajan je i linearni član T ($p < 0,05$). Najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje SG imaju linearni i kvadratni članovi t ($p < 0,01$), kao i linearni i kvadratni članovi T ($p < 0,05$ i $p < 0,10$). Za izračunavanje a_w najveći uticaj imaju linearni članovi t i T (statistički značajan na nivou $p < 0,01$). Najveći uticaj u SOP modelu za predikciju DM imaju linearni članovi t i T ($p < 0,01$ i $p < 0,05$), a takođe i kvadratni član t sa statističkom značajnošću na nivou $p < 0,10$.

Tabela 4.6. ANOVA modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

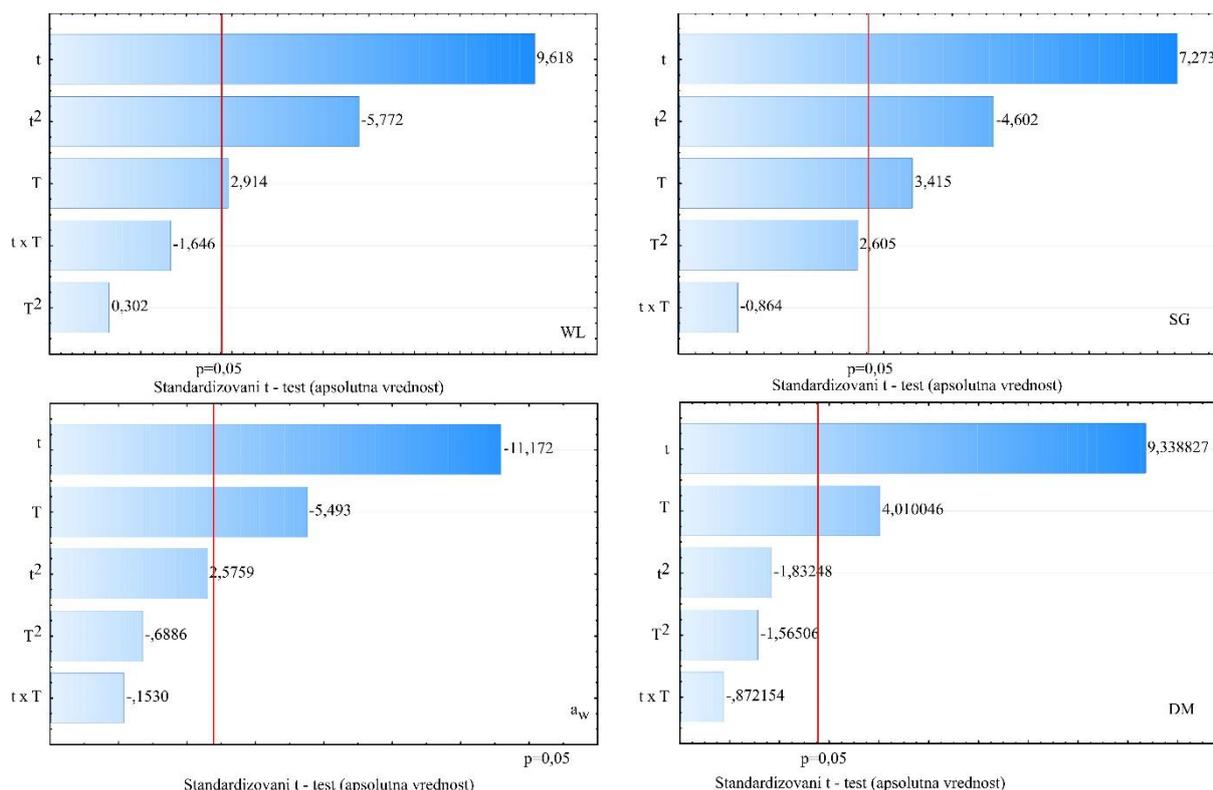
Član	df	WL	SG	a_w	DM
t	1	0,096 ⁺	0,009 ⁺	8,0E-04 ⁺	206,348 ⁺
t ²	1	0,035 ⁺	0,004 ⁺	4,2E-05 ^{**}	13,499 ^{**}
T	1	0,009 [*]	0,002 [*]	1,9E-04 ⁺	38,755 [*]
T ²	1	0,000	0,001 ^{**}	3,0E-06	8,265
t × T	1	0,003	0,000	1,5E-07	0,417
Greška	3	0,004	0,001	2,6E-05	7,567

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Na slici 4.6. prikazani su Paretovi dijagrami modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂. Paretovi dijagrami prikazuju standardizovane, apsolutne vrednosti t-testa za svaki član SOP modela za kinetičke parametre procesa osmotskog tretmana i određuju njihovu uticajnost i statističku značajnost.

Iz navedene slike se uočava da u SOP modelu za izračunavanje WL najveći uticaj imaju linearni i kvadratni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$, a veoma uticajan je i linearni član T ($p < 0,05$). Najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje SG imaju linearni i kvadratni članovi t ($p < 0,01$), kvadratni član T ($p < 0,10$) i linearni član T, statistički značajno na nivou $p < 0,05$. Za izračunavanje a_w najveći uticaj imaju linearni članovi t i T (statistički značajan na nivou $p < 0,01$) i kvadratni t, na nivou ($p < 0,10$). Najveći uticaj u SOP modelu za predikciju DM imaju linearni član t i T ($p < 0,01$ i $p < 0,05$, respektivno).



Slika 4.6. Paretovi dijagrami modela odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Za predikciju vrednosti odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2 u zavisnosti od t i T , formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena, na osnovu rezultata merenja.

U tabeli 4.7. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata izražena je preko p vrednosti.

Tabela 4.7. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

	WL	SG	a_w	DM
β_0	-0,054±0,116	0,077±0,047	0,945±0,052 ⁺	12,277±4,912 ^{**}
β_1	0,014±0,001 ⁺	0,004±0,001 ⁺	0,000±0,001	0,391±0,060 ⁺
β_{11}	0,000±0,000 ⁺	0,000±0,000 ⁺	0,000±0,000	-0,002±0,001 ^{**}
β_2	0,003±0,007	-0,006±0,003	-0,001±0,003	0,850±0,312 ^{**}
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,009±0,004
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,001±0,001

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

Model je odgovarajući za predstavljanje eksperimentalnih podataka procesa osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru melase šećerne repe (R_2), zbog rezidualne vrednosti koja je pokazala dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, srednja vrednost oko nule, dok je okvir granice poverenja od 95%.

Pouzdana predikcija WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru melase šećerne repe (R_2), potvrđena je zahvaljujući visokim vrednostima koeficijenta determinacije (r^2) i niskim vrednostima parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE prikazanih u tabeli 4.8. koji ukazuju na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.7. Ovom predikcijom dokazano je i dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.8. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
WL	0,004	0,031	-0,005	0,000	0,983	0,613	-0,802	-0,002	0,022	0,000
SG	0,001	0,012	-0,002	0,000	0,973	0,668	-0,961	-0,001	0,009	0,000
a_w	0,000	0,002	0,000	0,199	0,983	-0,186	-1,382	0,000	0,002	0,000
DM	7,560	1,375	-0,021	4,697	0,983	-0,875	-1,328	-0,010	0,972	0,945

4.2. Uticaj procesnih parametara na ukupni sadržaj minerala osmotski tretiranog lista koprive

U tabelama 4.9., 4.10., 4.11. i 4.12. prikazane su srednje vrednosti ponavljanja odziva: Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co sa standardnim devijacijama, za uzorke lista koprive u dva različita osmotska rastvora R_1 i R_2 , tokom 30, 60 i 90 minuta procesa (t) osmotske dehidracije, kao i na tri različite radne temperature (T). Vrednosti sadržaja mineralnih materija u kontrolnim i osmotski dehidriranim uzorcima izražene su u mg/100g polaznog uzorka.

U tabeli 4.9. prikazane su promene sadržaja Ca, Mg, Na i K u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁.

Tabela 4.9. Promene sadržaja Ca, Mg, Na i K u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁

Kat	t (min)	Temp (°C)	Ca (mg/100g _{p.u.})	Mg (mg/100g _{p.u.})	Na (mg/100g _{p.u.})	K (mg/100g _{p.u.})
1	0	20	26,595±0,026 ^b	6,595±0,026 ^a	6,405±1,226 ^a	50,752±1,226 ^a
2	30	20	26,100±0,385 ^{ab}	6,583±0,108 ^a	8,817±0,177 ^b	50,616±1,690 ^b
3	30	35	25,840±0,521 ^{ab}	6,531±0,162 ^a	9,740±0,115 ^{cd}	50,341±0,640 ^{bcd}
4	30	50	25,301±0,356 ^a	6,512±0,145 ^a	9,312±0,143 ^{bc}	50,178±0,998 ^{bc}
5	60	20	25,957±0,419 ^{ab}	6,546±0,133 ^a	10,208±0,172 ^{de}	50,543±1,001 ^{bcd}
6	60	35	25,556±0,109 ^a	6,505±0,072 ^a	10,911±0,024 ^{fg}	50,138±0,441 ^d
7	60	50	25,049±0,152 ^a	6,498±0,071 ^a	10,782±0,188 ^{efg}	50,002±0,280 ^d
8	90	20	25,832±0,630 ^{ab}	6,533±0,107 ^a	10,759±0,213 ^{ef}	50,343±0,876 ^{cd}
9	90	35	25,359±0,479 ^{ab}	6,496±0,107 ^a	11,341±0,197 ^g	50,004±1,777 ^{de}
10	90	50	24,985±0,384 ^a	6,489±0,096 ^a	12,545±0,380 ^h	49,996±1,463 ^e

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 kontrolni uzorak; n=3

U tabeli 4.10 prikazane su promene sadržaja Fe, Cu, Zn, Mn i Co u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁.

Tabela 4.10. Promene sadržaja Fe, Cu, Zn, Mn, i Co u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁

Kat	t (min)	Temp (°C)	Fe (mg/100g _{p.u.})	Cu (mg/100g _{p.u.})	Zn (mg/100g _{p.u.})	Mn (mg/100g _{p.u.})	Co (mg/100g _{p.u.})
1	0	20	30,989±0,062 ^a	12,098±0,450 ^a	27,305±0,450 ^a	41,089±0,518 ^a	1,407±0,010 ^a
2	30	20	30,828±1,033 ^a	11,989±0,216 ^b	27,215±0,126 ^b	40,960±0,606 ^{ab}	1,370±0,019 ^b
3	30	35	30,509±0,338 ^a	11,875±0,163 ^{bc}	27,185±0,660 ^b	40,835±1,020 ^{ab}	1,289±0,026 ^{bc}
4	30	50	30,182±0,480 ^a	11,682±0,235 ^{bc}	27,103±0,373 ^{ab}	40,761±0,619 ^{ab}	1,180±0,016 ^{bc}
5	60	20	30,706±0,298 ^a	11,737±0,152 ^{bc}	27,155±0,546 ^b	40,801±0,408 ^{ab}	1,276±0,021 ^{bc}
6	60	35	30,381±0,269 ^a	11,643±0,058 ^{bc}	26,995±0,318 ^b	40,753±1,034 ^{ab}	1,203±0,033 ^{bc}
7	60	50	30,001±0,098 ^a	11,502±0,255 ^{bc}	26,876±0,277 ^b	40,557±0,252 ^{ab}	1,002±0,001 ^{bc}
8	90	20	30,585±0,350 ^a	11,606±0,082 ^{bc}	27,104±0,422 ^b	40,789±0,981 ^b	1,186±0,004 ^{bc}
9	90	35	30,122±0,492 ^a	11,512±0,272 ^c	26,951±0,431 ^b	40,606±0,559 ^b	1,172±0,010 ^{bc}
10	90	50	29,896±0,343 ^a	11,349±0,172 ^{bc}	26,801±0,465 ^b	40,506±0,515 ^b	0,982±0,006 ^c

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 kontrolni uzorak; n=3

U tabeli 4.11. prikazane su promene sadržaja Ca, Mg, Na i K u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂.

Tabela 4.11. Promene sadržaja Ca, Mg, Na i K u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂

Kat	t (min)	T (°C)	Ca (mg/100g _{p.u.})	Mg (mg/100g _{p.u.})	Na (mg/100g _{p.u.})	K (mg/100g _{p.u.})
1	0	20	26,595±0,026 ^b	6,595±0,026 ^a	6,405±1,226 ^a	50,752±1,226 ^a
2	30	20	30,576±0,423 ^a	7,874±0,105 ^{ab}	7,177±0,107 ^b	66,485±0,794 ^b
3	30	35	29,663±0,376 ^a	8,763±0,119 ^{ab}	7,552±0,107 ^{bc}	79,138±1,107 ^c
4	30	50	35,135±0,707 ^a	8,952±0,122 ^{ab}	7,576±0,130 ^{bc}	80,161±1,566 ^c
5	60	20	36,132±0,344 ^a	10,930±0,115 ^{ab}	7,837±0,132 ^{cd}	82,340±0,426 ^c
6	60	35	38,498±0,452 ^a	11,954±0,123 ^{ab}	8,221±0,209 ^{def}	94,174±1,738 ^e
7	60	50	45,819±0,380 ^a	13,865±0,172 ^{ab}	8,232±0,095 ^{def}	96,834±0,815 ^e
8	90	20	36,475±0,616 ^a	11,969±0,065 ^b	7,962±0,133 ^{cde}	89,751±1,913 ^d
9	90	35	45,008±0,464 ^a	12,122±0,192 ^b	8,353±0,227 ^{ef}	94,457±2,151 ^e
10	90	50	46,696±0,062 ^a	14,938±0,214 ^{ab}	8,601±0,126 ^f	97,903±0,905 ^e

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 kontrolni uzorak

U tabeli 4.12. prikazane su promene sadržaja u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂.

Tabela 4.12. Promene sadržaja Fe, Cu, Zn, Mn i Co u listu koprive tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂

Kat	t (min)	T (°C)	Fe (mg/100g _{p.u.})	Cu (mg/100g _{p.u.})	Zn (mg/100g _{p.u.})	Mn (mg/100g _{p.u.})	Co (mg/100g _{p.u.})
1	0	20	30,989±0,062 ^a	12,098±0,450 ^a	27,305±0,450 ^a	41,089±0,518 ^a	1,407±0,010 ^a
2	30	20	53,890±0,703 ^b	21,644±0,339 ^b	48,757±0,550 ^b	71,716±1,084 ^b	2,411±0,032 ^b
3	30	35	71,911±1,183 ^c	28,716±0,352 ^c	65,520±0,733 ^c	75,495±1,777 ^c	3,332±0,054 ^c
4	30	50	72,470±1,640 ^{cd}	29,590±0,647 ^{cd}	66,442±0,509 ^{cd}	81,061±1,034 ^c	3,471±0,092 ^c
5	60	20	75,786±0,671 ^d	30,726±0,541 ^d	69,172±1,090 ^d	78,419±1,804 ^c	3,171±0,098 ^c
6	60	35	91,484±1,250 ^f	37,554±1,109 ^f	83,085±1,845 ^f	80,365±1,423 ^e	4,349±0,053 ^e
7	60	50	96,947±1,598 ^g	38,909±0,459 ^f	85,938±1,138 ^{fg}	85,832±2,930 ^{ef}	4,405±0,039 ^{ef}
8	90	20	87,879±1,486 ^e	35,515±0,621 ^e	79,272±1,503 ^e	83,585±1,063 ^d	3,984±0,066 ^d
9	90	35	98,474±1,231 ^g	38,863±0,607 ^f	87,742±2,046 ^g	88,530±1,204 ^e	4,391±0,091 ^e
10	90	50	98,627±1,674 ^g	40,999±0,564 ^g	88,419±0,660 ^g	89,727±4,223 ^f	4,597±0,083 ^f

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 kontrolni uzorak

4.2.1.1. Promena sadržaja kalcijuma (Ca) u osmotski dehidriranom listu koprive

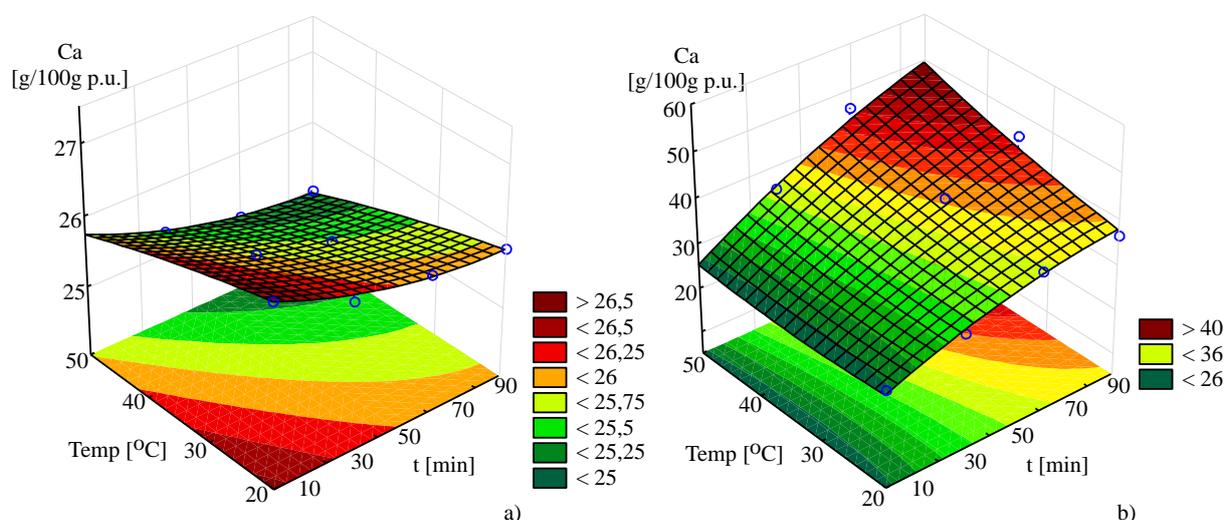
U ljudskom organizmu najzastupljeniji mineral je kalcijum. Daje čvrstoću skeletu i veoma je važna komponenta u održavanju strukture ćelije.

Kalcijum učestvuje u koagulaciji krvi, kontrakciji skeletnih mišića i srca, krvnih sudova, nerava, u oslobađanju i sintezi hormona. Ima ulogu koenzima u metaboličkim procesima i sintezi enzima potrebnih za proces varenja.

Nedovoljan unos kalcijuma može uzrokovati osteomalaciju i osteoporozu, sporo zarastanje rana, bolesti zuba, srčanu palpitaciju, mišićne grčeve, gubitak apetita, nesanicu i iritabilnosti. Preporučena dnevna doza kalcijuma je oko 1g (Lončar, 2015).

Procesom osmotske dehidratacije povećao se sadržaj Ca u svim uzorcima lista koprive dehidriranim u osmotskim rastvorima R₂, dok se u uzorcima dehidriranim u osmotskom rastvoru R₁ sadržaj Ca smanjio (tabele 4.9., 4.11.).

Na slici 4.7. prikazane su promene sadržaja Ca tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.7. Promene sadržaja Ca tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Prosečni sadržaj Ca u svežem listu koprive bio je $26,595 \pm 0,026$ mg/100g p.u.. Najviša vrednost Ca postignuta osmotskom dehidratacijom lista koprive u R₂ rastvoru, nakon 90 minuta, na 50°C, iznosila je $46,696 \pm 0,062$ mg/100g p.u., a u uzorku lista koprive tretiranom u rastvoru R₁, pod istim procesnim parametrima, bila je $24,985 \pm 0,384$ mg/100g p.u..

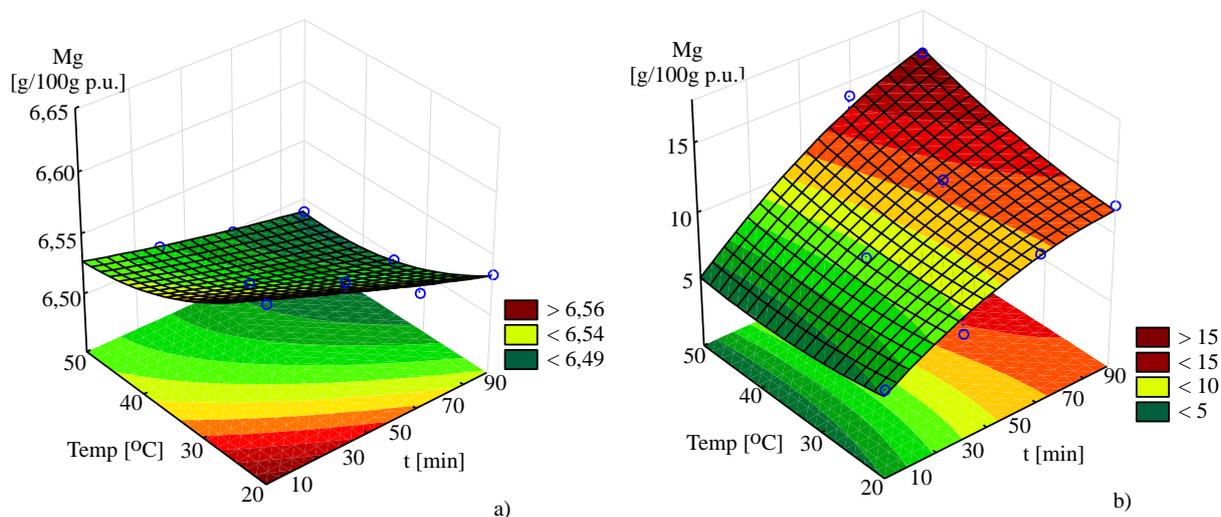
4.2.1.2. Promena sadržaja magnezijuma (Mg) u osmotski dehidriranom listu koprive

Magnezijum je neophodan u sintezi proteina, nukleinskih i masnih kiselina, kao i u procesima proizvodnje energije. Magnezijum ima više uloga u procesima deobe ćelije i metabolizmu ćelije. Reguliše kretanje kalijuma u ćelijama srca i interaguje sa kalcijumom u regulisanju rada krvnih sudova i mišića. Nedostatak magnezijuma u organizmu može dovesti do poremećaja kardiovaskularnog, centralnog nervnog i gastrointestinalnog sistema kao i skeleta. Preporučena dnevna doza magnezijuma je od 300 do 420 mg (Trajković, 2013; Lončar, 2015).

Procesom osmotske dehidracije sadržaj Mg u uzorcima lista koprive dehidriranim u R_1 se smanjio, dok se u uzorcima dehidriranim u R_2 povećao u odnosu na početni sadržaj u svežem listu koprive (tabele 4.9. i 4.11.).

Najveći sadržaj Mg postignut je dehidratacijom u osmotskom rastvoru R_2 i iznosio je $14,938 \pm 0,214$ mg/100g p.u.. Pod istim osmotskim parametrima sadržaj Mg u R_1 , iznosio je $6,489 \pm 0,096$ mg/100g p.u.. Ove vrednosti sadržaja Mg za oba osmotska rastvora postignute su pri najvišoj temperaturi i najdužem vremenu.

Na slici 4.8. prikazane su promene sadržaja Mg tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



Slika 4.8. Promene sadržaja Mg tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Primetno povećanje sadržaja Mg u uzorcima lista koprive dehidriranim u rastvoru R_2 u odnosu na tretirane uzorke u rastvoru R_1 potvrđuje uticaj melase šećerne repe na nutritivno obogaćivanje tretiranih uzoraka.

4.2.1.3. Promena sadržaja natrijuma (Na) u osmotski dehidriranom listu koprive

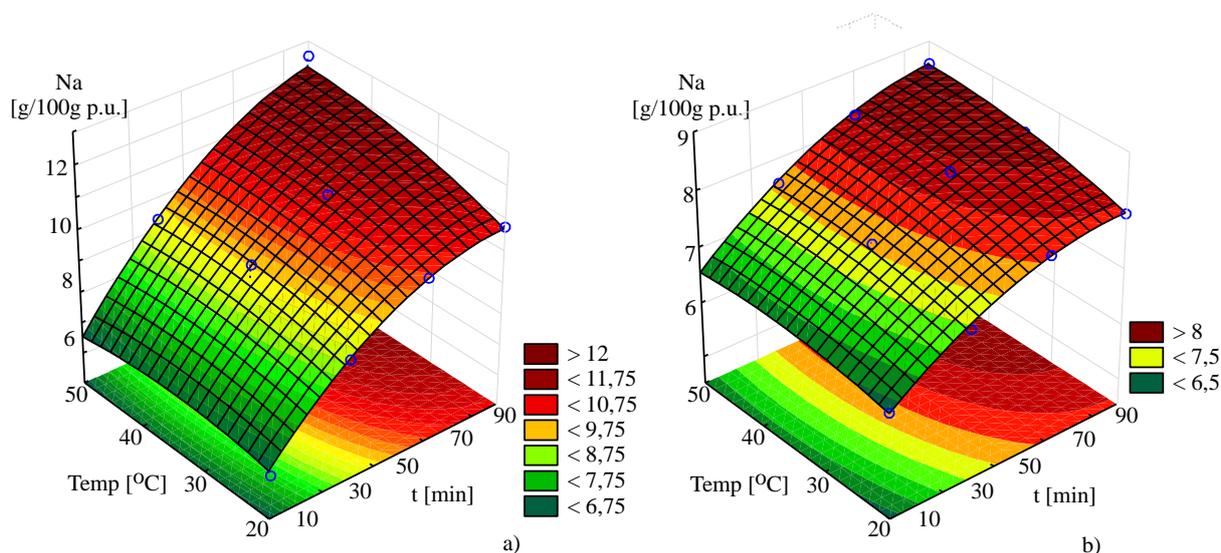
Natrijum se u relativno malim količinama nalazi u hranljivim supstancama, pa se unosi preko hrane najčešće u obliku kuhinjske soli. Dnevne potrebe odraslog čoveka procenjuju se na 5 g NaCl. Natrijum je za organizam čoveka izuzetno važan, kao glavni katjon ekstracelularne tečnosti.

Natrijum u organizmu reguliše i održava ravnotežu osmotskog pritiska krvne plazme i drugih telesnih tečnosti, utiče na zadržavanje tečnosti u organizmu, reguliše kiselo-bazne ravnoteže, održava membranski potencijal i permeabilnost ćelija (Filipčev, 2009; Lončar 2015). Negativna strana visokog unosa natrijuma je pojačano izlučivanje kalcijuma i povećanje rizika od stvaranja bubrežnog kamenca. Postoji veza i između povišenog krvnog pritiska i povećanog unosa soli (Lončar, 2015).

Prosečni sadržaj Na u svežem uzorku iznosio je $6,405 \pm 1,226$ mg/100g p.u.. Nakon procesa osmotske dehidracije povećao se sadržaj Na u svim uzorcima lista koprive (tabele 4.9. i 4.11.). Najveći sadržaj Na postignut je dehidracijom u osmotskom rastvoru R₁ i iznosio je $12,545 \pm 0,380$ mg/100g p.u. (početnog uzorka), dok je maksimalna vrednost tokom osmotskog rastvora R₂ bila $8,601 \pm 0,126$ mg/100g p.u..

Za pomenute osmotske rastvove, najveće vrednosti sadržaja Na postignute su nakon 90 minuta procesa osmotske dehidracije, pri najvišim radnim temperaturama ($T=50^\circ\text{C}$).

Na slici 4.9. prikazane su promene sadržaja Na tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.9. Promene sadržaja Na tokom osmotskiog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Isti trend je uočen na oba prikazana dijagrama (4.9. a) i b)) - sadržaj Na raste u uzorcima lista koprive, dehidriranim u oba osmotska rastvora. Sa porastom temperature i tokom procesa sadržaj Na se srazmerno povećava.

4.2.1.4. Promena sadržaja kalijuma (K) u osmotski dehidriranom listu koprive

Oko 98% ukupne količine kalijuma prisutno je u tečnostima izvan ćelija i utiče na neuromuskulatornu aktivnost. Kalijum u velikoj meri utiče na aktivnost srčanog mišića, pri tome je antagonist kalcijumu.

Ravnoteža između unosa natrijuma i kalijuma je izuzetno bitna. S obzirom da kalijum sa natrijumom učestvuje u regulisanju normalnog osmotskog pritiska ćelija. Previsok unos natrijuma iscrpljuje zalihe kalijuma.

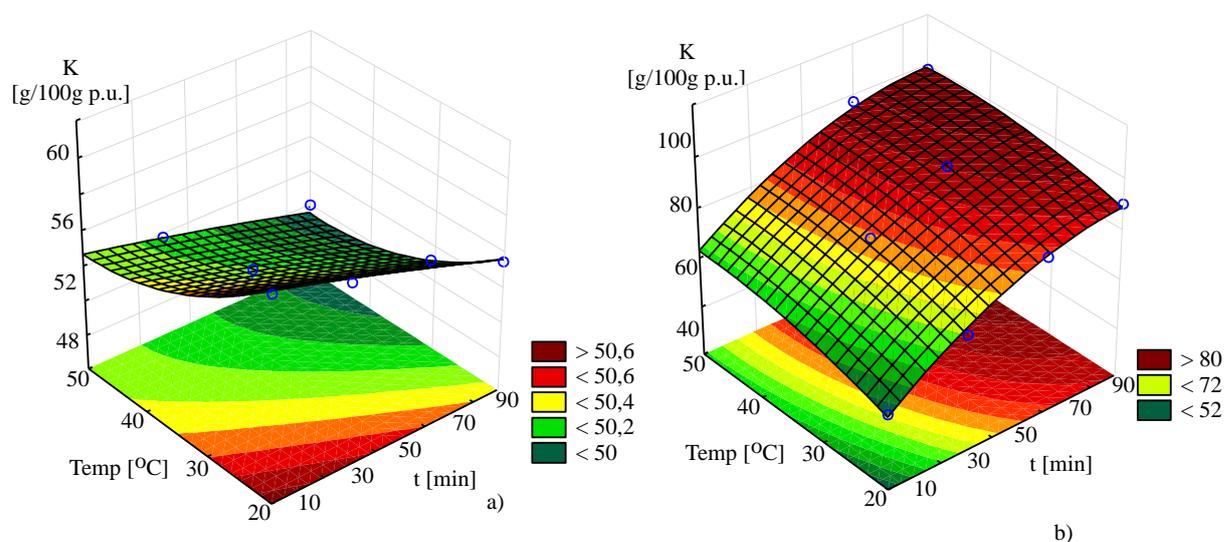
Kalijum je kofaktor mnogih enzima i neophodan je u sintezi insulina u pankreasu, fosforilaciji kreatinina i metabolizmu ugljenih hidrata, kao i sintezi proteina (*Filipčev, 2009; Lončar, 2015*).

Dnevne potrebe za unosom kalijuma su oko 2g za odraslog čoveka. Nedostatak kalijuma u organizmu izaziva brz i nepravilan rad srca, povišen krvni pritisak, slabost mišića, paralizu, mučninu i stomadne tegobe (*Lončar, 2015*).

Nakon procesa osmotske dehidracije povećao se sadržaj K u uzorcima dehidriranim u rastvoru NaCl i saharoze (R_1), dok se u uzorcima dehidriranim u rastvoru melase (R_2) sadržaj drastično povećao u odnosu na početni sadržaj u svežem uzorku (tabele 4.9. i 4.11.).

Najveći sadržaj K postignut je dehidratacijom u osmotskom rastvoru R_2 i iznosio je $97,903 \pm 0,905$ mg/100g p.u., dok u osmotskom rastvoru R_1 , pri istim procesnim parametrima sadržaj K iznosio je $49,996 \pm 1,463$ mg/100g p.u.. Ove vrednosti sadržaja K za oba osmotska rastvora postignute su pri t (90 min) i T (50°C).

Na slici 4.10. prikazane su promene sadržaja K tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



Slika 4.10. Promene sadržaja K tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Na dijagramu (4.10. a)) uočava se trend opadanja sadržaja K sa porastom t i T , dok je na dijagramu (4.10 b)) zapažen obrnuti trend. Sa porastom procesnih parametara raste i sadržaj K.

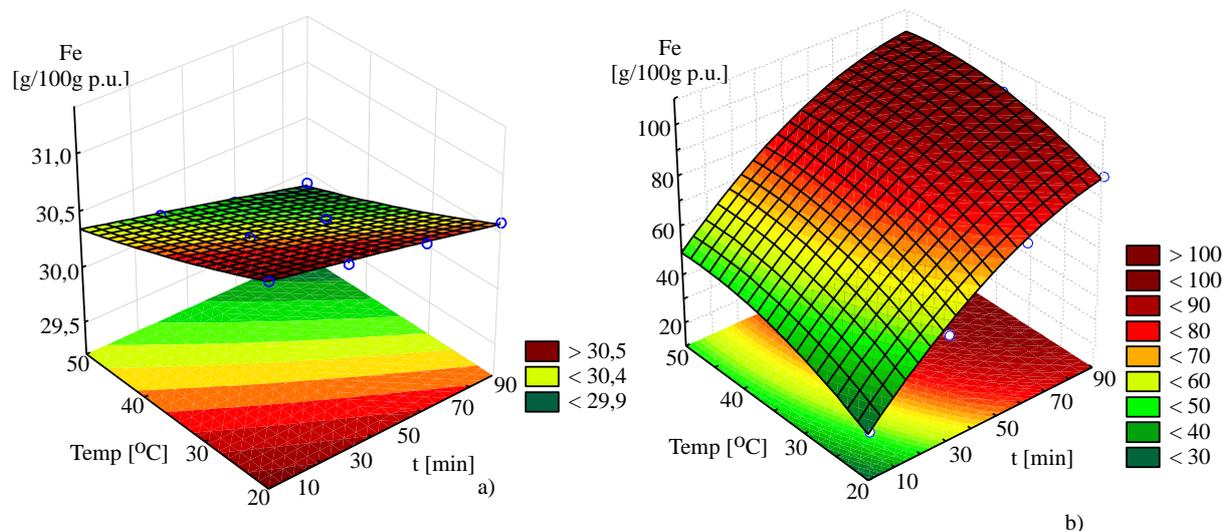
4.2.1.5. Promena sadržaja gvožđa (Fe) u osmotski dehidriranom listu koprive

Gvožđe ima veliku ulogu kao kofaktor mnogih proteina u ljudskom organizmu. Jedan od važnijih oligoelemenata u ljudskom organizmu je Fe. Ima ulogu u prenošenju i vezivanju kiseonika iz pluća u perifernu krv, a čini i sastavni deo hema u hemoglobinu. U ljudskom organizmu najveći procenat gvožđa (80%) koristi se u eritroblastima za sintezu hemoglobina. U okviru mišićnih vlakana (mioglobin), kao i u drugim tkivima organizma i u sastavu pomenutih proteina nalazi se preostali procenat (10-15%). U ljudskom organizmu se uravnoteženom ishranom dnevno apsorbira oko 1-2 mg gvožđa (10-15% od ukupno unetog gvožđa) i isto toliko izgubi deskvamacijom epitela sluzokože digestivnog trakta i epiderma kože. Kod žena se gvožđe dodatno gubi tokom menstrualnog ciklusa (*Bergeron, 1986*).

Nedostatak gvožđa u organizmu može da nastane usled povećanog gubitka gvožđa (hronična, mala krvarenja iz digestivnog trakta, čir, tumori digestivnog trakta, produžena menstrualna krvarenja, tumori materice itd.), loše apsorpcije (ahlorhidrija, odstranjenje želuca, resekcija želuca, celijakna bolest), povećane potrebe (pubertet, trudnoća, dojenje) i nedovoljnog unošenja gvožđa hranom (*Xiaofang, 2018*).

Prosečna vrednost sadržaja Fe u svežem listu koprive iznosila je $30,989 \pm 0,695 \text{ mg}/100 \text{ g p.u.}$. Najveći sadržaj Fe, postignut u uzorku lista koprive dehidriranom u R_2 rastvoru iznosio je $98,627 \pm 1,674 \text{ mg}/100 \text{ g p.u.}$. Na istim procesnim parametrima ($T=90 \text{ min}$ i $t=50^\circ\text{C}$) vrednost sadržaja Fe u uzorku dehidriranom u R_1 rastvoru, iznosila je $29,896 \pm 0,343 \text{ mg}/100 \text{ g p.u.}$ (tabele 4.10. i 4.12.).

Na slici 4.11. prikazane su promene sadržaja Fe tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



Slika 4.11. Promene sadržaja Fe tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Na prikazanom dijagramu (4.11. a)) uočena je promena sadržaja Fe u uzorcima lista koprive, dehidriranim u R₁, u konstantom opadanju tokom procesa, dok dijagram (4.11. b)) pokazuje da je porast sadržaja Fe srazmeran sa porastom procesnih parametara (t i T), tokom čitavog procesa. Porast sadržaja Fe u uzorku dehidriranom u melasi može se objasniti osmotskom dehidratacijom u nutritivno bogatoj melasi šećerne repe.

4.2.1.6. Promena sadržaja bakra (Cu) u osmotski dehidriranom listu koprive

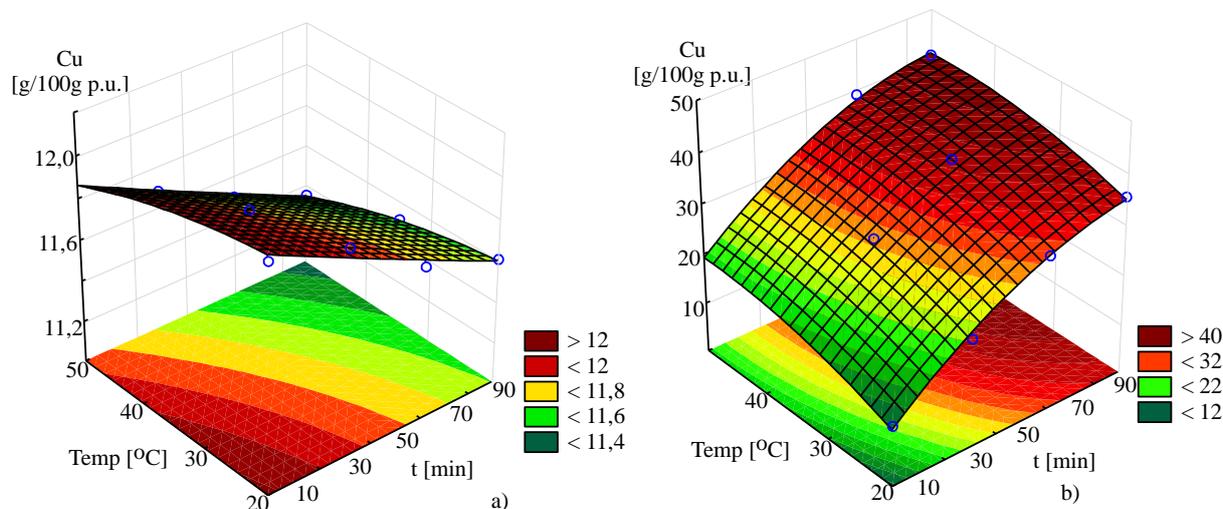
Bakar je važan oligoelement za ljudski organizam, potreban za važne metaboličke procese poput ćelijskog disanja, sinteze neurotransmitera, stvaranja nekih peptidnih hormona i vezivanja slobodnih radikala. Takođe je bitan deo spojeva poput elastina, kolagena i keratina, te učestvuje u stvaranju melanina i održavanju homeostaze gvožđa u ćeliji. Iako je esencijalni metal u telu, bakar može biti i jako toksičan za organizam. Zdrava odrasla osoba mora dnevno uneti 1-2 mg bakra u organizam. Deo unete količine apsorbuje se najvećim delom u tankom crevu, u obliku rastvorljivih kompleksa sa aminokiselinama i proteinom tipa metaloproteina.

Za pravilno funkcionisanje organizma potrebna je regulacija koncentracije bakra u organizmu. I nedostatak bakra i njegov višak dovode do niza poremećaja. Do neravnoteže u koncentraciji bakra u organizmu dovodi ili njegov nepravilni unos ili neki genetski poremećaj. Prema tome, poremećaji metabolizma bakra grubo mogu da se podele na stečene i genetske (*Kodama i sar., 200; Bandmann i sar., 2015*).

Genetski uslovljena oboljenja koja remete metabolizam bakra i dovode do teških poremećaja u funkcionisanju ljudskog organizma su Wilsonova bolest, Menkesova bolest i varijante, Mednik sindrom i Huppke-Brendl sindrom. Poremećaj homeostaze bakra je glavna karakteristika ovih bolesti (*Marinkić i sar., 2014*).

Prosečna vrednost sadržaja Cu u svežem listu koprive iznosila je $12,098 \pm 0,450$ mg/100g_{p.u.}. Najveći sadržaj postignut u uzorku lista koprive dehidriranom u R₂ rastvoru, iznosio je $40,999 \pm 0,564$ mg/100g_{p.u.}, dok je pod istim procesnim parametrima ta vrednost uzorka lista tretiranog u R₁ rastvoru bila $11,349 \pm 0,172$ mg/100g_{p.u.} (tabele 4.10. i 4.12.). Ove vrednosti sadržaja Cu za oba osmotska rastvora postignute su pri najvišoj temperaturi i najdužem vremenu procesa osmotske dehidratacije.

Na slici 4.12. prikazane su promene Cu tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.12. Promene sadržaja Cu tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Dijagrami 4.12 a) i b) pokazuju obrnute trendove. Na prvom, uočava se blago opadanje sadržaja Cu tokom čitavog procesa, dok se na drugom zapaža porast sadržaja Cu, sa porastom procesnih parametara (t i T).

4.2.1.7. Promena sadržaja cinka (Zn) u osmotski dehidriranom listu koprive

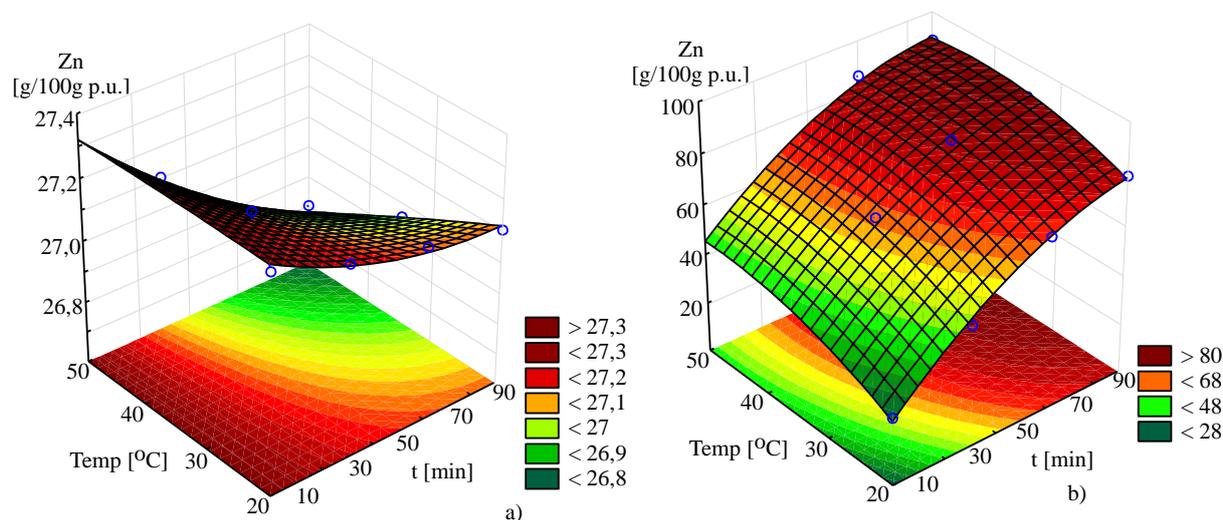
Cink je prisutan u svakoj ćeliji i neophodan je za pravilno funkcionisanje organizma. Za razliku od Fe, koji se nalazi u definisanim ćelijskim komponentama i ima definisane fiziološke uloge, uloga cinka se može definisati u tri opšte funkcionalne klase, odnosno katalitičke, strukturne i regulatorne funkcije. Istraživanja su potvrdila da je cink važan za brojne fiziološke procese u organizmu, pre svega za finu regulaciju i usklađenost nervnog sistema i hormona, za funkcionisanje odbrambenih snaga organizma, za održavanje strukture i zdravlja kože i obnavljanje koštanog tkiva, a važnost cinka se najbolje ogleda u činjenici da je neophodan za izgradnju proteina (Roohani i sar., 2013).

Cink je neophodan za funkcionisanje kože i ćelija koštanog tkiva i učestvuje u stvaranju skoro svih hormona. Čini sastavni deo brojnih enzima u vitalnim procesima organizma, kao što su funkcionisanje gena, sinteza proteina, metabolički i transportni procesi. Cink se u mozgu ponaša kao stabilizator raspoloženja i deluje umirujuće na nervni sistem, a učestvujući u sintezi proteina podstiče rast i razvoj. Nedostatak Zn u organizmu može dovesti do slabljenja imuniteta, pojačane nervne napetosti, hroničnog umora, otežanog zarastanja rana, kožnih promena, noćnog slepila, poremećaja ukusa i dugotrajne dijareje (Prasad i sar., 1963).

Prosečna vrednost sadržaja Zn u svežem listu koprive iznosila je $27,305 \pm 0,450$ mg/100g p.u.. Najveći sadržaj postignut u uzorku lista koprive dehidriranom u R₂ rastvoru iznosio je $88,419 \pm 0,660$ mg/100g p.u., a u

uzorku dehidriranom u R₁ rastvoru, pod istim parametrima, $26,801 \pm 0,465$ mg/100g p.u. (tabele 4.10. i 4.12.). Ove vrednosti sadržaja Zn za oba osmotska rastvora postignute su pri najvišoj temperaturi i najdužem vremenu procesa osmotske dehidracije.

Na slici 4.13. prikazane su promene sadržaja Zn tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.13. Promene sadržaja Zn tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

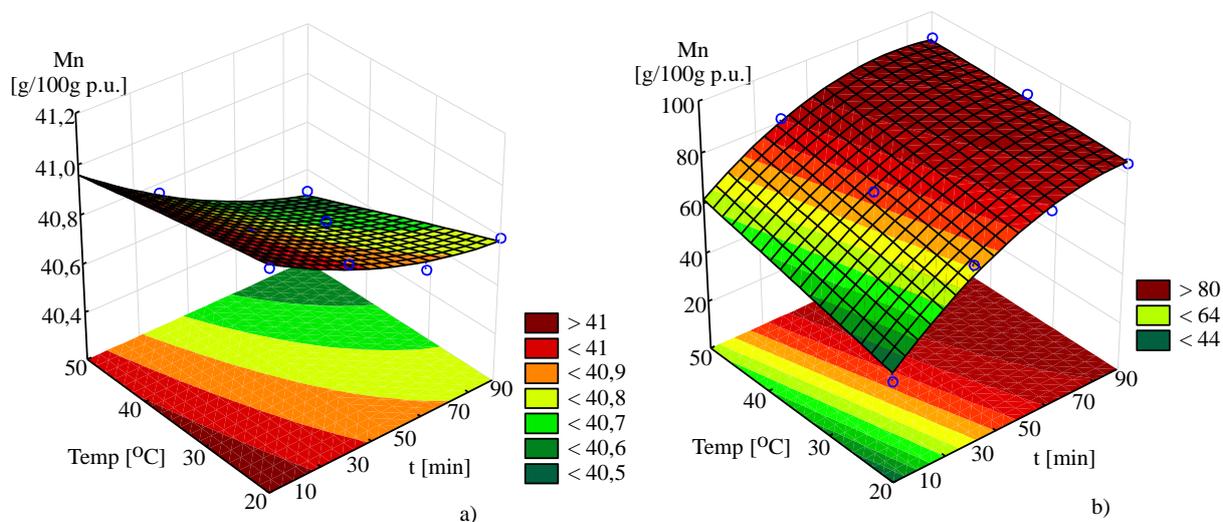
Na prikazanim dijagramima (4.13 a) i b)) uočava se konstantan pad sadržaja Zn u listovima koprive, dehidriranim u R₁ rastvoru, tokom čitavog procesa, dok dijagram koji pokazuje promenu sadržaja Zn u uzorcima dehidriranim u R₂ rastvoru pokazuje konstantan porast vrednosti sa porastom procesnih parametara (t i T).

4.2.1.8. Promena sadržaja mangana (Mn) u osmotski dehidriranom listu koprive

Mg ima u svim ćelijama u organizmu, a najviše u organima čije su ćelije bogate mitohondrijima (jetra, pankreas, bubreg). Mangan je esencijalni element za ljude i životinje. Ima važnu ulogu u metabolizmu kalcijuma i fosfora, kao i održavanju reproduktivnih funkcija organizma. Ima ulogu koenzima i aktivira mnoge enzime. Pomaže sintezu hemoglobina. Značajan je za stvaranje tiroksina, hormona tireoidne žlezde. Pomaže proizvodnju ugljenih hidrata i masti. Važan je za metabolizam kalcijuma i fosfora (rastenje). Pomaže u prevenciji osteoporoze. Poboljšava pamćenje. Smanjuje nervnu razdražljivost (*Szentmihályi i sar., 2006*).

U tabelama 4.10. i 4.12. prikazane su vrednosti sadržaja Mn u uzorcima lista koprive dehidriranim u R₁ i R₂ osmotskim rastvorima. Prosečna vrednost sadržaja Mn u svežem uzorku lista koprive iznosila je $41,089 \pm 0,518$ mg/100g p.u.. Najveća postignuta vrednost uočena je u uzorku dehidriranom u R₂ rastvoru, na najvećim procesnim parametrima (t i T): $89,727 \pm 4,223$ mg/100g p.u., pod istim procesnim parametrima, vrednost uzorka tretiranog u R₁, iznosila je $40,506 \pm 0,515$ mg/100g p.u..

Na slici 4.14. prikazane su promene sadržaja Mn tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.14. Promene sadržaja Mn tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

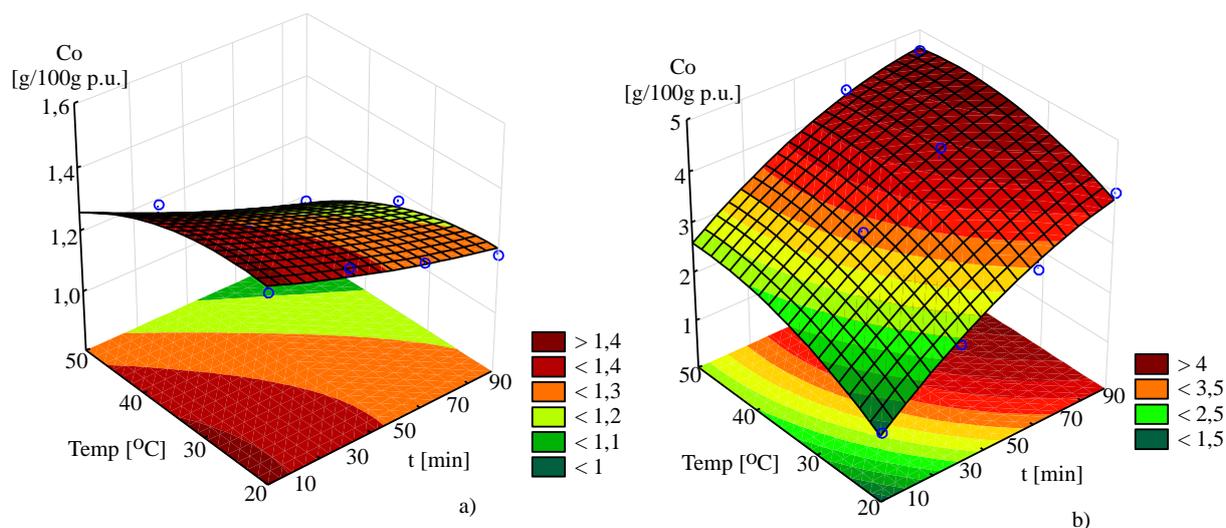
Dijagrami 4.14. a) i b) prikazuju drastičan porast sadržaja Mn tokom procesa u uzorcima tretiranim u melasi, dok se sadržaj Mn u uzorcima tretiranim u rastvoru NaCl i saharoze postepeno smanjuje.

4.2.1.9. Promena sadržaja kobalta (Co) u osmotski dehidriranom listu koprive

U proseku ljudsko telo sadrži manje od 1mg Co, a najveće koncentracije tog minerala nalazi se u mišićima, kostima, jetri i bubrezima. Kod ljudi nalazi se u sastavu vitamina B₁₂ i to mu je i jedina uloga u ljudskom organizmu. Potreban je za stvaranje crvenih krvnih zrnaca, održavanje zdravlja živaca i ćelija sluznice ždrela i želuca. Kobalt se apsorbuje u digestivnom traktu i zavisi od unete doze. Unošenjem ovog minerala u malim dozama, ljudski organizam ga mnogo lakše apsorbuje, što nije slučaj kada su u pitanju veće doze. Kobalt se najviše akumulira u jetri čoveka (organ gde se čuva vitamin B₁₂), ima ga oko 20% od njegove ukupne količine u organizmu. Kobalt se izlučuje uglavnom urinom, ali u manjim količinama i fecesom (MacPherson i sar., 2003; Swaminathan, 2003).

U tabelama 4.10. i 4.12. prikazane su promene vrednosti sadržaja Co u uzorcima lista koprive, dehidriranim u R₁ i R₂ osmotskim rastvorima. Prosečna vrednost sadržaja Co u svežem uzorku lista koprive iznosila je $1,407 \pm 0,007$ mg/100g p.u.. Najveća postignuta vrednost je uočena u uzorku dehidriranom u R₂ rastvoru, na najvećim procesnim parametrima (t i T): $4,597 \pm 0,083$ mg/100g p.u.. Pod istim procesnim parametrima, vrednost uzorka tretiranog u R₁, iznosila je $0,982 \pm 0,006^c$ mg/100g p.u..

Na slici 4.15. prikazane su promene sadržaja Co tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.15. Promene sadržaja Co tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Iz dijagrama 4.15. a) i b) uočava se drastičan porast sadržaja Co tokom procesa u uzorcima tretiranim u melasi, dok se sadržaj Co u uzorcima tretiranim u rastvoru NaCl i saharoze postepeno smanjuje.

4.2.2. Modeli osmotske dehidracije lista koprive za minerale u rastvoru R₁

U tabeli 4.13. i 4.14. prikazane su ANOVA kalkulacije razvijenog SOP modela za odzive Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁. Tabele pokazuju da u SOP modelu na odzive sadržaja Ca, Mg, K, Cu, Mn i Co najveći uticaj imaju linearni članovi t i T, statistički značajno po nivou $p < 0,01$ ili $p < 0,05$, respektivno. U slučaju Fe i Zn, pored linearnih članova, statističku značajnost ima i kvadratni član T ($p < 0,01$ i $p < 0,05$, respektivno), dok na Na najveći uticaj u SOP modelu ima linearni član t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$.

Tabela 4.13. ANOVA modela odziva Ca, Mg, Na i K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Član	df	Ca	Mg	Na	K
t	1	3,36E-01 ⁺	1,57E-03 ⁺	1,32E+01 ⁺	7,54E-02 ⁺
t ²	1	3,27E-02	6,08E-06	1,14E+00	1,31E-04
T	1	8,70E-01 ⁺	3,99E-03 ⁺	6,70E-01	2,46E-01 ⁺
T ²	1	4,07E-03	4,84E-04	1,63E-01	2,72E-02
t × T	1	6,97E-05	1,03E-04	2,87E-01	1,12E-03
Greška	3	1,66E-02	1,67E-04	6,22E-01	1,33E-02

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,
^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

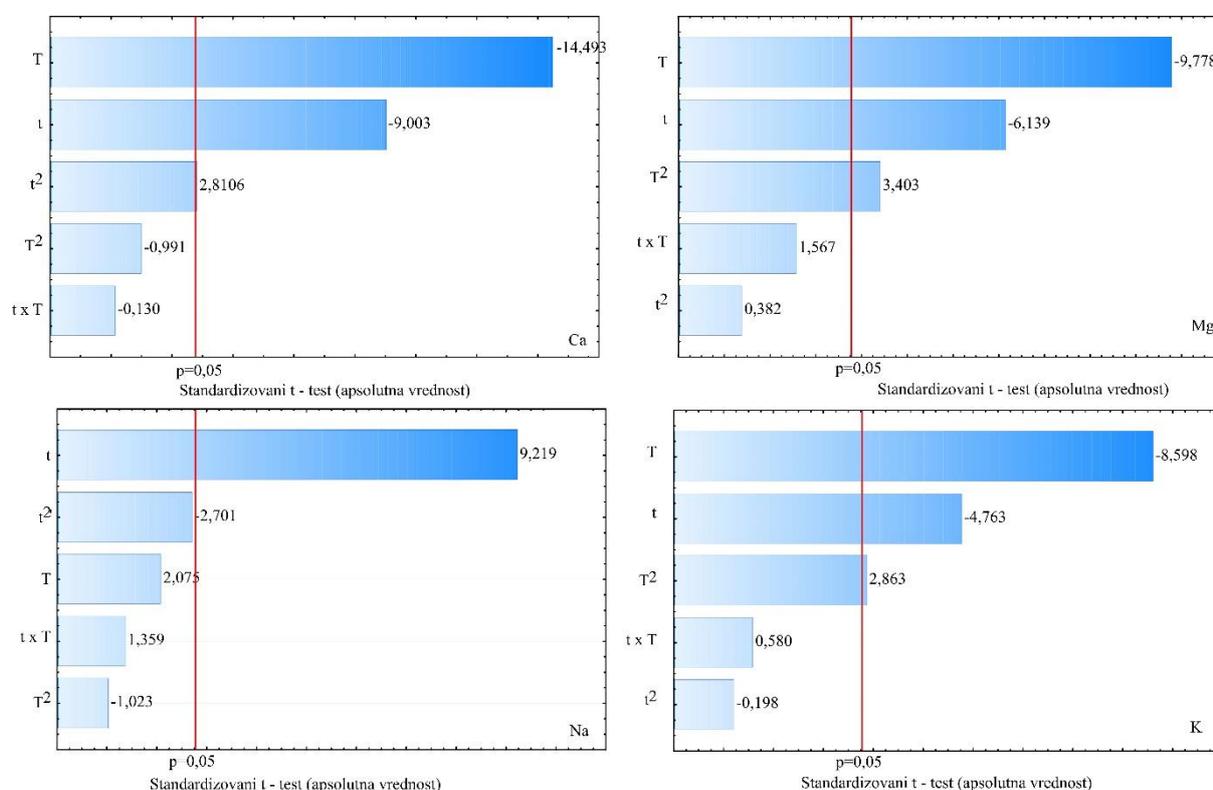
Tabela 4.14. ANOVA modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

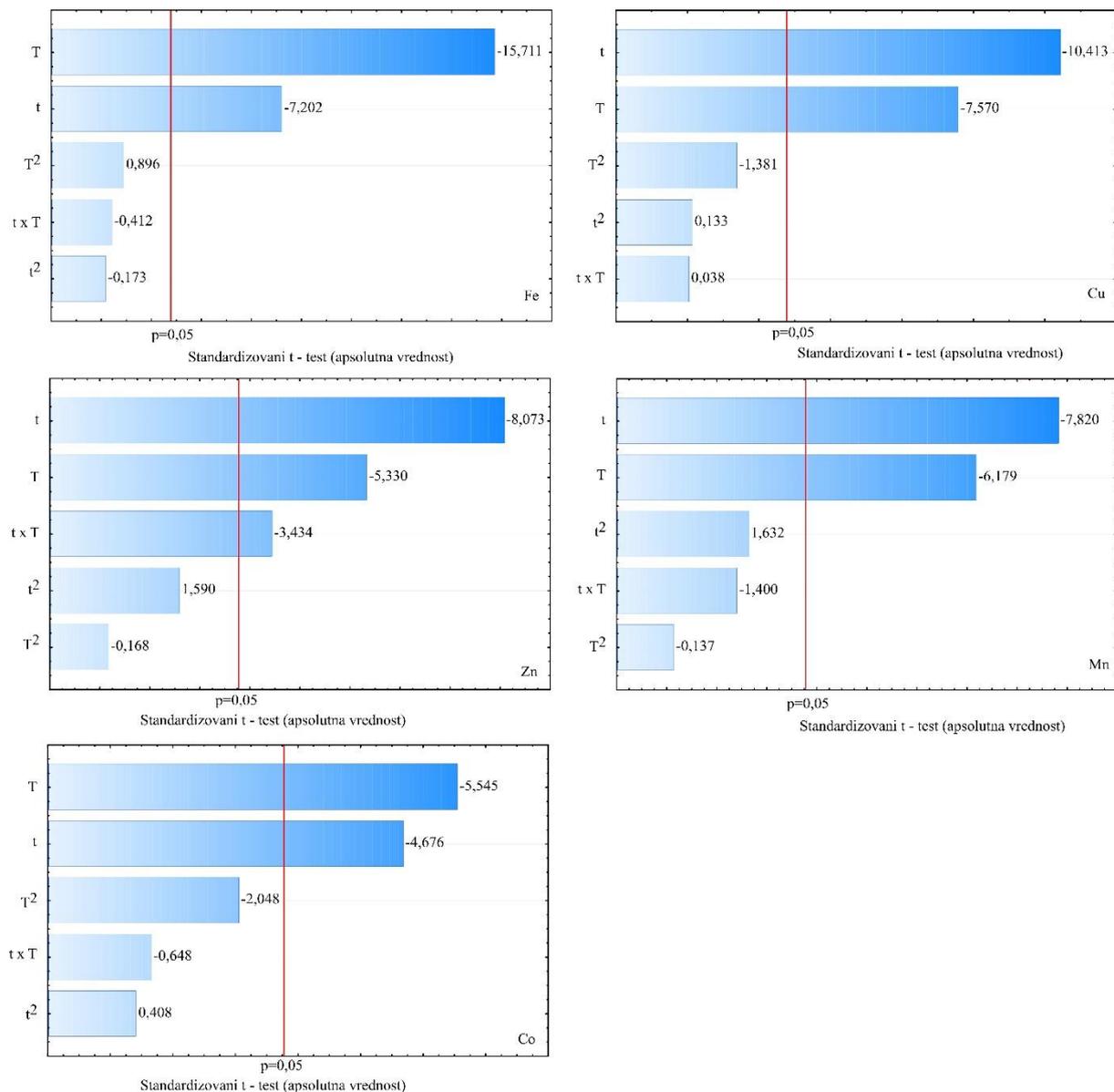
Član	df	Fe	Cu	Zn	Mn	Co
t	1	1,14E-01 ⁺	1,52E-01 ⁺	7,90E-02 ⁺	8,81E-02 ⁺	3,56E-02 ⁺
t ²	1	6,53E-05	2,48E-05	3,06E-03	3,84E-03	2,72E-04
T	1	5,41E-01	8,04E-02 [*]	3,44E-02 ⁺	5,50E-02 [*]	5,01E-02 [*]
T ²	1	1,76E-03 [*]	2,67E-03	3,44E-05 [*]	2,69E-05	6,83E-03
t × T	1	3,72E-04	2,07E-06	1,43E-02	2,82E-03	6,83E-04
Greška	3	8,76E-03	5,61E-03	4,85E-03	5,76E-03	6,51E-03

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Na slici 4.16. i 4.17. prikazani su Paretovi dijagrami modela odziva Ca, Mg, Na i K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co za osmotski tretman lista koprive u rastvoru R₁. Iz ove slike se vidi da u SOP modelu za izračunavanje Ca najveći uticaj imaju linearni članovi t i T, statistički značajno na nivou p<0,01 i p<0,05, respektivno. Najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje Mg imaju linearni članovi t i T, statistički značajno na nivou p<0,01 i kvadratni član T. Za izračunavanje Na najveći uticaj imaju linearni članovi t i T. Najveći uticaj u SOP modelu za predikciju K imaju linearni članovi t i T (p<0,01). Za sve ostale prikazane minerale (Fe, Cu, Zn, Mn i Co), najveći uticaj na rezultat imaju linearni članovi t i T, statistički značajno na nivou p<0,01 i p<0,05, respektivno.

**Slika 4.16.** Paretovi dijagrami modela odziva Ca, Mg, Na i K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁



Slika 4.17. Paretovi dijagrami modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 u zavisnosti od t i T .

U tabeli 4.15. i 4.16. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p vrednosti.

Tabela 4.15. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive Ca, Mg, Na, K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

	Ca	Mg	Na	K
β_0	25,789±1,031 ⁺	6,546±0,337	5,120±1,457	48,029±3,094 ⁺
β_1	-0,012±0,013 ^{**}	-0,003±0,004 [*]	0,084±0,018	0,110±0,038
β_{11}	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,001±0,000 [*]	-0,001±0,000 [*]
β_2	0,034±0,066	0,015±0,021	0,090±0,093	0,174±0,197
β_{22}	-0,001±0,001 [*]	0,000±0,000	-0,001±0,001 [*]	-0,003±0,003 [*]
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,001±0,000	0,001±0,001

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

Tabela 4.16. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

	Fe	Cu	Zn	Mn	Co
β_0	30,179±1,208 ⁺	11,422±0,587	26,990±1,275	37,526±2,634 ⁺	1,393±0,084 ⁺
β_1	0,030±0,015	0,016±0,007	0,051±0,016	0,051±0,032	0,002±0,001
β_{11}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_2	0,025±0,077	0,050±0,037	0,026±0,081	0,151±0,168	0,002±0,005
β_{22}	0,000±0,001	0,000±0,001	0,000±0,001	-0,001±0,002 [*]	0,000±0,000
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,001±0,001 [*]	0,000±0,000

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

Standardne devijacije razlika, varijansa razlika, kao i srednje vrednosti razlika za odzive Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co bile su oko 0. Pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%, rezultati pokazuju da model na odgovarajući način predviđa eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 .

Parametrima Skew. (engl. *skeweness* krivljenje), koja predstavlja odstupanje od normalne raspodele i Kurt. (kurtoisis), koji predstavlja odstupanje od "nazubljenosti" normalne raspodele, prikazane su dobre osobine za generalizaciju modela.

Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2), prikazane u tabeli 4.17. ukazuju na pouzdanu predikciju Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co za osmotski

tretman lista koprive u rastvoru R₁, na osnovu modela prikazanog u tabelama 4.15. i 4.16. i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.17. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r ²	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
Ca	0,002	0,041	0,000	0,137	0,993	-0,863	-0,548	0,000	0,043	0,002
Mg	0,000	0,004	0,000	0,049	0,986	0,465	0,490	0,000	0,004	0,000
Na	0,078	0,249	0,000	1,798	0,975	0,118	-0,320	0,000	0,263	0,069
K	0,002	0,036	0,000	0,063	0,980	0,260	-1,029	0,000	0,038	0,001
Fe	0,001	0,030	0,000	0,080	0,993	-0,573	0,001	0,000	0,031	0,001
Cu	0,001	0,024	0,000	0,162	0,988	0,357	-0,213	0,000	0,025	0,001
Zn	0,001	0,022	0,000	0,070	0,979	-0,355	-1,082	0,000	0,023	0,001
Mn	0,001	0,024	0,000	0,054	0,980	-0,007	-1,458	0,000	0,025	0,001
Co	0,001	0,026	0,000	1,954	0,962	-0,314	-0,824	0,000	0,027	0,001

4.2.3. Modeli osmotske dehidracije lista koprive za minerale u rastvoru R₂

U tabelama 4.18. i 4.19. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za odzive sadržaja Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂. Iz tabela se vidi da u SOP modelu za izračunavanje Ca i Mg najveći uticaj imaju linearni član t, statistički značajno na nivou p<0,01. Za K i Co najveći uticaj imaju linearni članovi t i T, sa statističkom značajnošću na nivou p<0,01 ili p<0,05. Za Fe najveću značajnost takođe imaju samo linearni članovi t i T, dok na Na, Cu i Zn najveću značajnost imaju linearni članovi t i T, ali i kvadratni t (p<0,01 ili p<0,05). Što se tiče Mn najveću statističku značajnost pokazuju linearni članovi t (p<0,01).

Tabela 4.18. ANOVA modela odziva Ca, Mg, Na i K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Član	df	Ca	Mg	Na	K
t	1	1,83E+02 ⁺	3,39E+01 ⁺	1,82E+00 ⁺	7,86E+02 ⁺
t ²	1	5,19E+00	1,69E+00	1,80E-01 [*]	7,71E+01
T	1	3,99E+01	2,30E+00	1,85E-01 ⁺	1,75E+02 [*]
T ²	1	1,79E+00	6,51E-01	3,92E-02	2,32E+01
t × T	1	1,81E+01	2,57E+00	2,53E-02	1,34E+00
Greška	3	0,240265	0,024647	0,011751	36,244

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Tabela 4.19. ANOVA modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

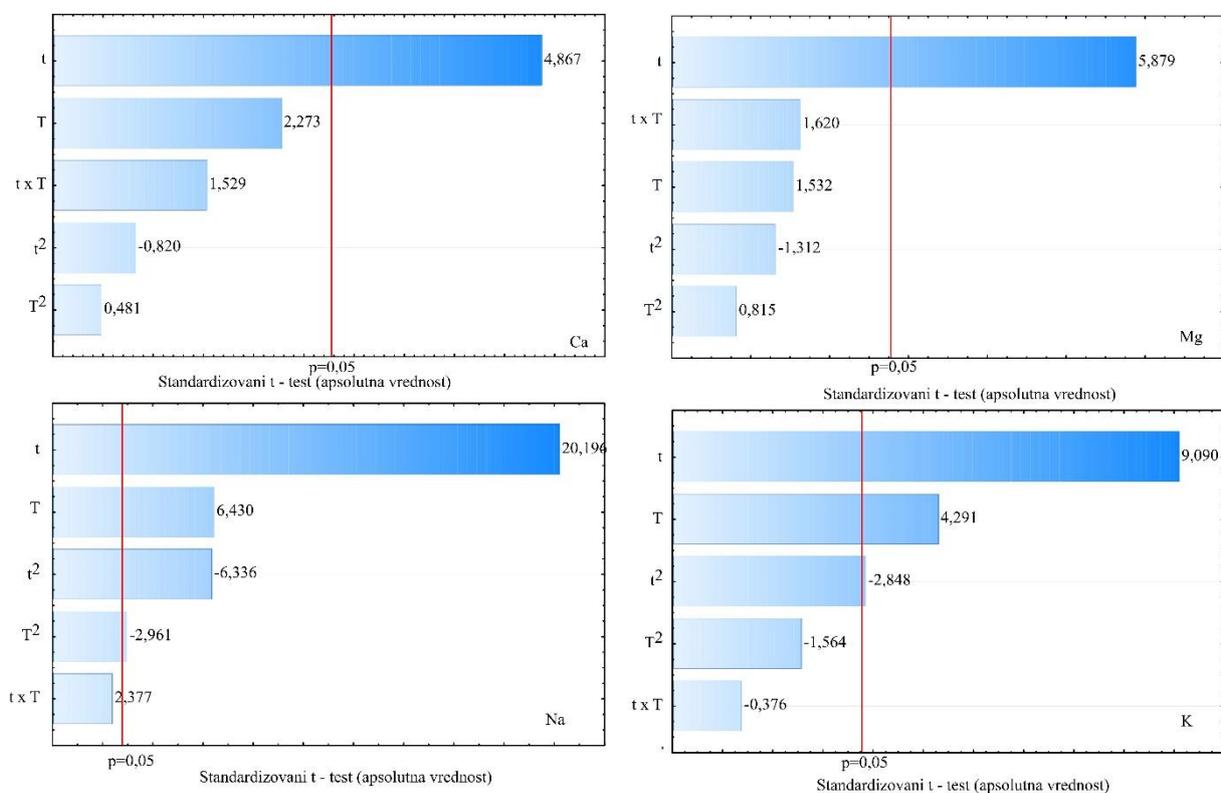
Član	df	Fe	Cu	Zn	Mn	Co
t	1	1,65E+03 ⁺	2,88E+02 ⁺	1,30E+03 ⁺	6,28E+02 ⁺	2,89E+00 ⁺
t ²	1	1,07E+02	2,11E+01 [*]	9,84E+01 [*]	1,22E+02	1,40E-01
T	1	3,54E+02 ⁺	6,19E+01 ⁺	2,84E+02 ⁺	1,40E+02	1,25E+00 [*]
T ²	1	7,34E+01	8,23E+00	6,15E+01	9,53E-02	2,31E-01
t × T	1	4,53E+00	2,61E-01	8,49E+00	2,26E+01	2,59E-02
Greška	3	49,327	8,0674	28,894	81,827	0,159264

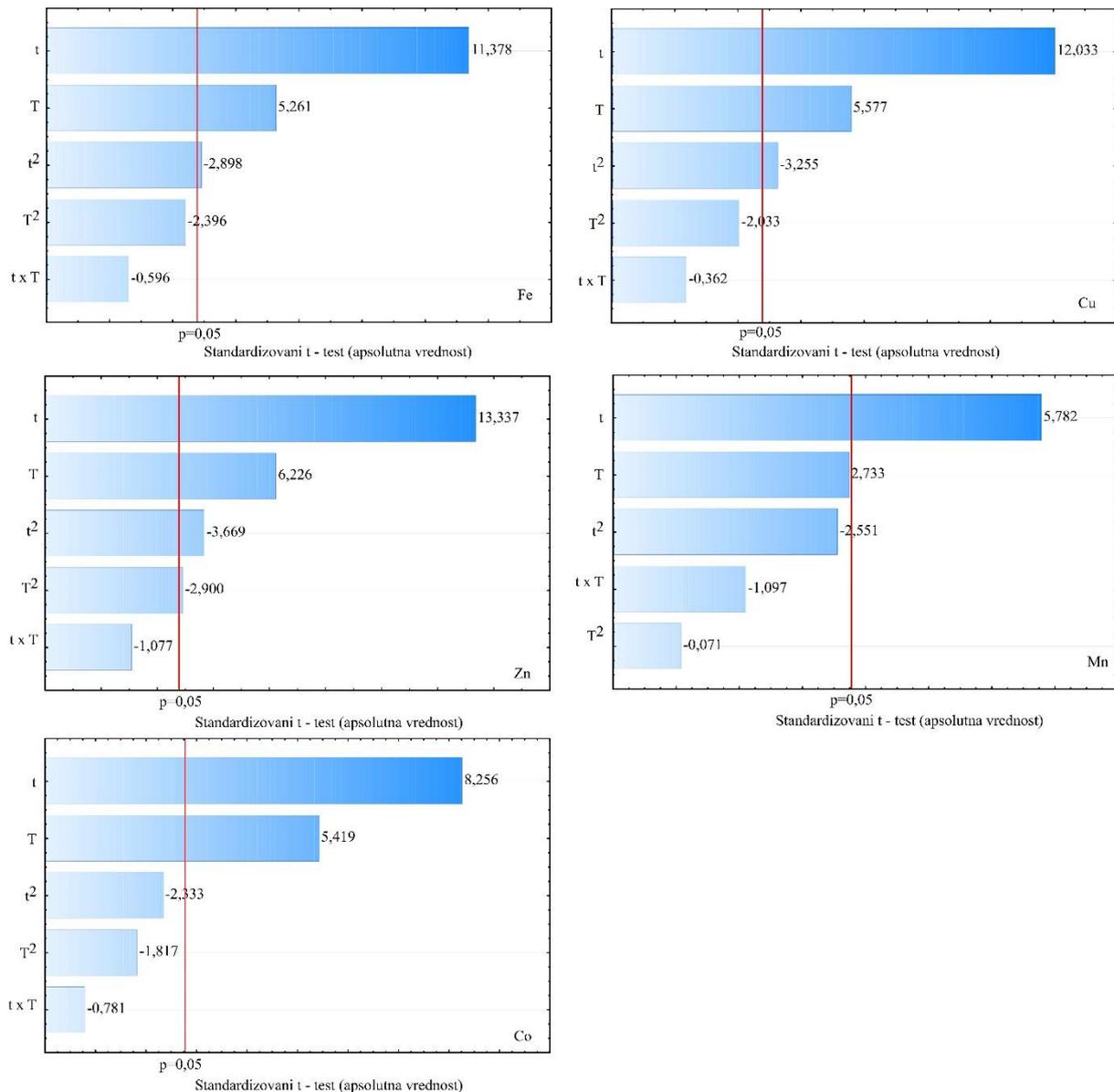
⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Slike 4.18. i 4.19. prikazuju Paretove dijagrame modela odziva Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co za osmotski tretman lista koprive u rastvoru R₂. Paretovi dijagrami prikazuju standardizovane, apsolutne vrednosti t-testa za svaki član SOP modela za kinetičke parametre procesa osmotskog tretmana i određuju njihovu uticajnost i statističku značajnost.

Na osnovu slika, zaključuje se da na SOP model za izračunavanje modela odziva sadržaja Ca i Mg utiču samo linearni članovi t. Na ostale odzive sadržaja Na, K, Fe, Cu i Zn utiču linearni i kvadratni članovi t, kao i linearni član T, statistički značajno na nivou p<0,01 ili p<0,05, dok na preostale odzive sadržaja Mn i Co uticaj imaju samo linearni i kvadratni članovi t (p<0,01 ili p<0,05).

**Slika 4.18.** Paretovi dijagrami modela odziva Ca, Mg, Na i K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂



Slika 4.19. Paretovi dijagrami modela odziva Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Sa dobijenim rezultatima formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva sadržaja Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂ u zavisnosti od t i T. U tabelama 4.20. i 4.21. prikazani su regresioni koeficijenti sa srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko *p* vrednosti.

Tabela 4.20. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive sadržaja Ca, Mg, Na i K tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

	Ca	Mg	Na	K
β_0	25,638±0,875 ⁺	6,599±0,280 ⁺	5,469±0,194 ⁺	24,197±10,750 ^{**}
β_1	0,011±0,011	0,002±0,003	0,037±0,002 ⁺	0,844±0,132 ⁺
β_{11}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 ⁺	-0,004±0,001 [*]
β_2	0,032±0,056	0,012±0,018	0,051±0,012 [*]	1,523±0,684 ^{**}
β_{22}	0,000±0,001	0,000±0,000	-0,001±0,000 [*]	-0,015±0,009
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,001±0,003

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,
^{**}Značajan na nivou p<0,10

Tabela 4.21. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive sadržaja Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

	Fe	Cu	Zn	Mn	Co
β_0	-11,762±12,541	-2,836±5,072	-11,927±9,598	-10,901±16,153	-0,641±0,713
β_1	1,132±0,154 ⁺	0,461±0,062 ⁺	1,062±0,118 ⁺	1,574±0,198 ⁺	0,052±0,009 ⁺
β_{11}	-0,005±0,002 [*]	-0,002±0,001 [*]	-0,005±0,001 [*]	-0,008±0,002 [*]	0,000±0,000 ^{**}
β_2	2,558±0,798 [*]	0,892±0,323 ^{**}	2,371±0,611 [*]	3,021±1,028 [*]	0,125±0,045 ^{**}
β_{22}	-0,027±0,011 ^{**}	-0,009±0,004	-0,025±0,008 [*]	-0,031±0,014 ^{**}	-0,001±0,001 ^{**}
β_{12}	-0,002±0,004	-0,001±0,001	-0,003±0,003	-0,001±0,005	0,000±0,000

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,
^{**}Značajan na nivou p<0,10

Dobijeni rezultati, koji se kreću oko 0, pokazuju da model za odzive sadržaja Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co na odgovarajući način predstavlja eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂.

Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2), prikazane u tabeli 4.22. ukazuju na pouzdanu predikciju Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂.

Tabela 4.22. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive sadržaja Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r ²	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
Ca	3,860	1,757	0,000	3,825	0,931	-0,048	-0,833	0,000	1,852	3,431
Mg	0,490	0,626	0,000	5,424	0,940	-0,307	-1,076	0,000	0,660	0,435
Na	0,002	0,042	0,000	0,430	0,995	-0,526	-0,200	0,000	0,045	0,002
K	4,754	1,950	0,000	2,107	0,981	-0,078	-1,446	0,000	2,056	4,226
Fe	6,389	2,261	0,000	2,703	0,988	0,616	0,131	0,000	2,383	5,680
Cu	0,996	0,892	0,000	2,778	0,989	-0,137	-1,406	0,000	0,941	0,885
Zn	3,657	1,711	0,000	2,407	0,992	-0,011	-0,954	0,000	1,803	3,251
Mn	9,387	2,740	0,000	3,374	0,957	0,188	-0,703	0,000	2,889	8,344
Co	0,021	0,130	0,000	3,386	0,982	0,329	-1,271	0,000	0,137	0,019

4.3. Mikrobiološka analiza osmotski tretiranog lista koprive

Uticaj procesa osmotske dehidracije na mikrobiološki profil pokazan je praćenjem vrednosti aktivnosti vode (a_w). Nakon procesa, zabeležene vrednosti dehidriranih uzoraka lista koprive (tabele 4.1. i 4.2.) bile su niže od graničnih vrednosti za rast većine mikroorganizama (*Vereš, 1991*), čime potvrđujemo pozitivan uticaj procesa osmotske dehidracije na mikrobiološki profil osmotski dehidriranog lista koprive.

U tabelama 4.23. i 4.24. prikazani su rezultati mikrobiološke analize (srednje vrednosti tri ponavljanja sa standardnim devijacijama) za sveže uzorke lista koprive, kao i uzorke dehidrirane u dva različita osmotska rastvora R₁ i R₂, tokom 30, 60 i 90 minuta trajanja procesa, na tri različite temperature (20, 35 i 50°C).

U tabeli 4.23. prikazane su promene broja Enterobakterija, kvasca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁.

Tabela 4.23. Pokazatelji mikrobiološke aktivnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Kat	t	T	Enth**	KvasPles***
	(min)	(°C)	(CFU/g)	(CFU/g)
1	0	20	2399±26 ^e	159496±1 ^f
2	30	20	2371±37 ^d	113999±1842 ^e
3	30	35	2318±77 ^d	93896±1053 ^e
4	30	50	2312±44 ^d	100616±1008 ^e
5	60	20	2346±15 ^d	83068±236 ^d
6	60	35	2255±29 ^c	71615±585 ^c
7	60	50	2176±94 ^b	73813±468 ^c
8	90	20	2241±24 ^b	73605±1483 ^c
9	90	35	2224±77 ^b	66642±636 ^b
10	90	50	2110±64 ^a	45343±385 ^a

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 kontrolni uzorak; $n=3$

Enterobakterijae *kvasci i plesni

U tabeli 4.24. prikazane su promene parametara mikrobiološkog dejstva tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂.

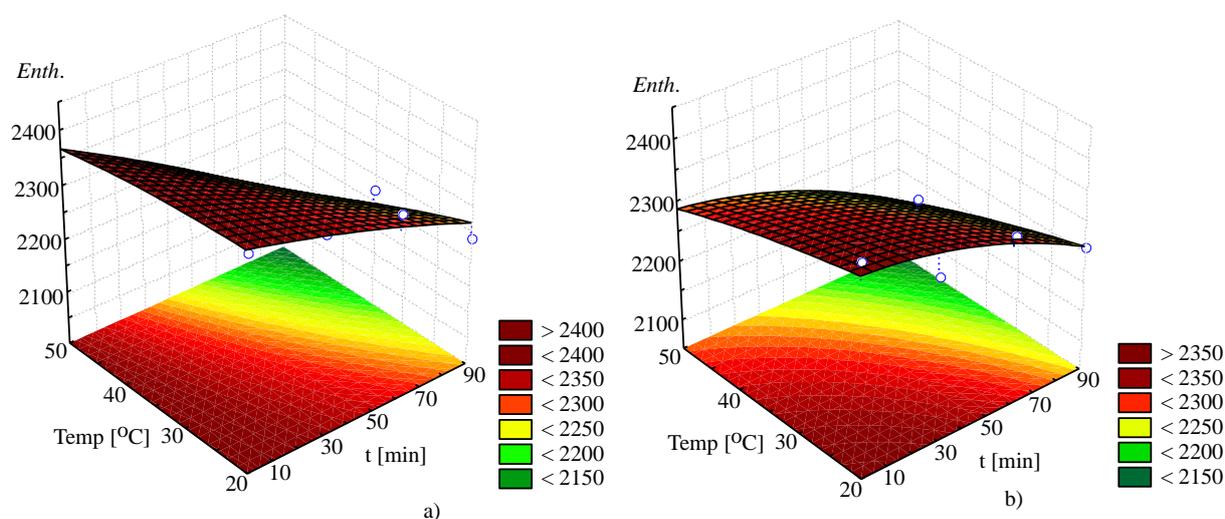
Tabela 4.24. Pokazatelji mikrobiološke aktivnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Kat	t	T	Enth**	KvasPles***
	(min)	(°C)	(CFU/g)	(CFU/g)
1	0	20	2399±43 ^c	159496±2680 ^f
2	30	20	2320±35 ^b	110075±877 ^e
3	30	35	2293±13 ^b	68115±858 ^d
4	30	50	2250±31 ^b	65371±1122 ^d
5	60	20	2332±36 ^b	57809±1021 ^d
6	60	35	2296±23 ^b	21633±402 ^b
7	60	50	2237±21 ^b	15315±122 ^b
8	90	20	2257±24 ^b	35295±472 ^c
9	90	35	2201±30 ^b	13633±293 ^b
10	90	50	2126±67 ^a	6748±116 ^a

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 kontrolni uzorak; $n=3$

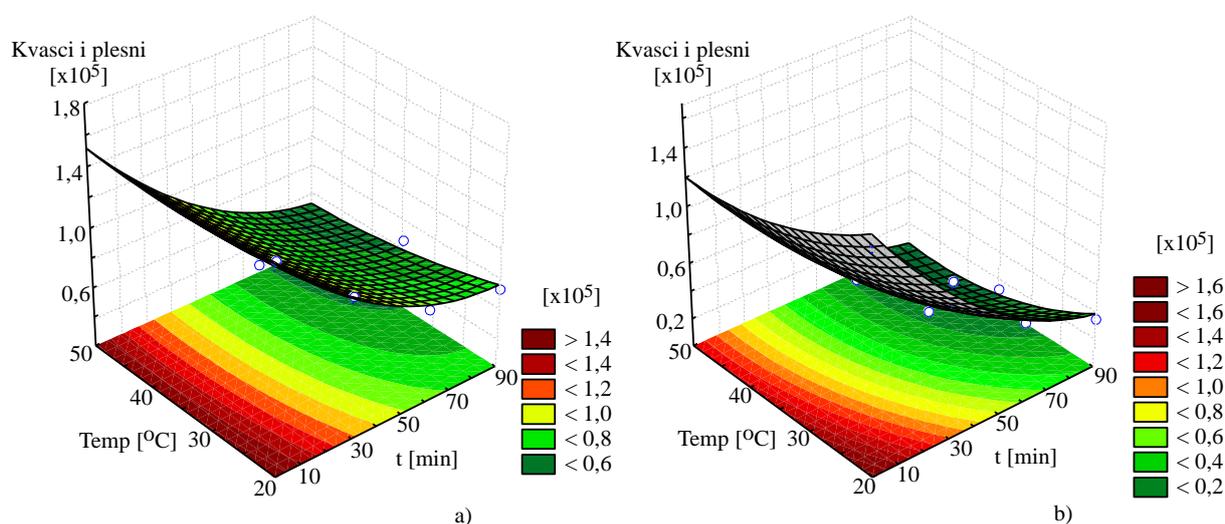
Enterobakterija; *kvasci i plesni

Na slici 4.20. prikazane su promene broja Enterobakterija tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₂, b) lista koprive u rastvoru R₁.



Slika 4.20. Promene broja Enterobakterija tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Na slici 4.21. prikazane su promene broja kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₂, b) lista koprive u rastvoru R₁.



Slika 4.21. Promene broja kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Na slikama 4.20. a) i b) i 4.21. a) i b) uočava se da broj Enterobakterija, kvasaca i plesni uzoraka lista koprive, dehidriranim u oba osmotska rastvora opadaju sa porastom procesnih parametara, ali da je smanjenje broja Enterobakterija, kvasaca i plesni mnogo uočljivije u uzorcima tretiranim u R₂ rastvoru.

4.3.1. Modeli osmotske dehidratacije lista koprive za mikrobiološke parametre u rastvorima R₁ i R₂

U tabeli 4.25. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za odzive Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R₁ i R₂. Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje Enterobakterija najveći uticaj imaju linearni članovi t i T, statistički značajno na nivou p<0,01 ili p<0,05, dok SOP model za izračunavanje kvasaca i plesni najviše zavisi od linearnog člana t i kvadratnog člana t, statistički značajno na nivou p<0,01 ili p<0,05, kao i linearnog člana T, statistički značajno na nivou p<0,05 ili p<0,10.

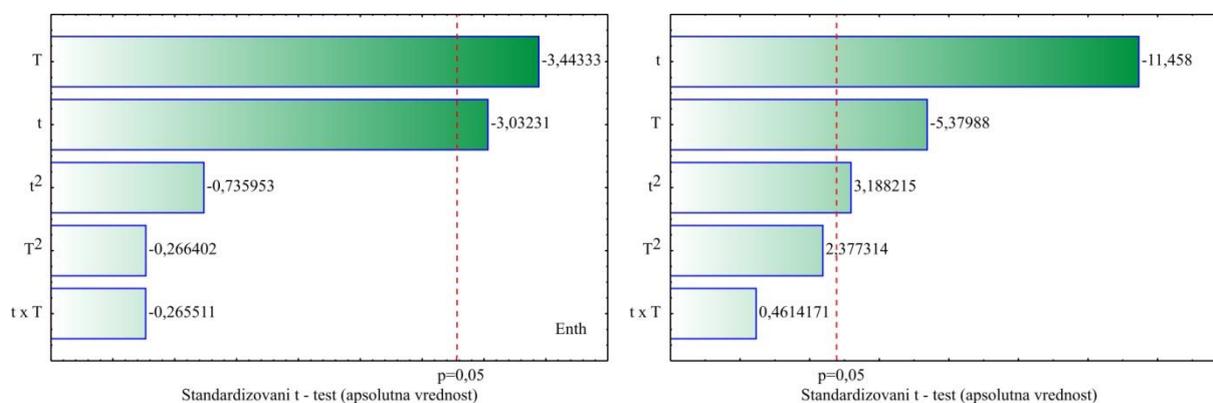
Tabela 4.25. ANOVA modela odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni, tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R₁ i R₂

Član	df	R ₂		R ₁	
		Enth	KvasPles	Enth	KvasPles
t	1	9729,11*	8·10 ^{9*}	21636,56 ⁺	5·10 ⁹⁺
t ²	1	573,09	6·10 ^{8*}	78,60	5·10 ^{8*}
T	1	12545,35*	2·10 ^{9*}	11604,30*	3·10 ^{8**}
T ²	1	75,09	4·10 ^{8**}	106,95	4·10 ⁷
t × T	1	74,59	1·10 ⁷	1856,98	4·10 ⁷
Greška	4	4232,39	2·10 ⁸	3932,75	2·10 ⁸

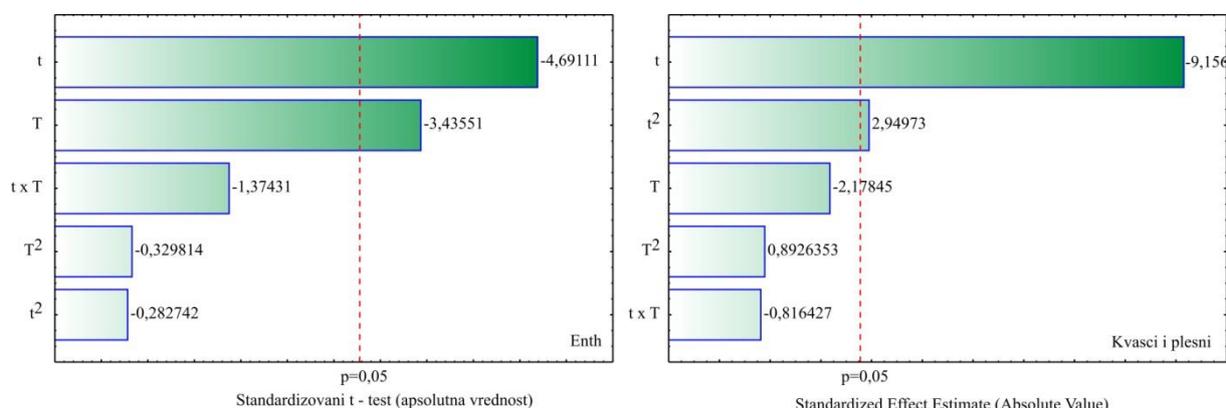
⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, *Statistički značajan na nivou p<0,05,

** Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Slike 4.22. i 4.23. prikazuju Paretove dijagrame modela odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni, tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 i R_2 . Iz slika se vidi da u SOP modelu za izračunavanje Enterobakterija najveći uticaj imaju linearni članovi t i T , dok SOP model za broj kvasaca i plesni najviše zavisi od linearnog člana t i kvadratnog člana t , kao i linearnog člana T .



Slika 4.22. Paretovi dijagrami modela odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1



Slika 4.23. Paretovi dijagrami modela odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Na osnovu rezultata merenja formirani su matematički modeli u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R_2 i R_1 , u zavisnosti od t i T . U tabeli 4.26. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p vrednosti.

Tabela 4.26. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R₂ i R₁

	R ₂		R ₁	
	Enth	KvasPles	Enth	KvasPles
β_0	2409,956±116,169 ⁺	252056,444±28130,930 ⁺	2396,340±111,981 ⁺	182540,706±26400,805 ⁺
B ₁	-0,149±1,427	-2526,881±345,582 ⁺	-0,242±1,376	-1699,366±324,327 ⁺
B ₁₁	-0,011±0,015	11,684±3,665 [*]	-0,004±0,015	10,145±3,439 [*]
B ₂	-1,107±7,390	-5568,044±1789,576 [*]	1,010±7,124	-1654,021±1679,513
B ₂₂	-0,027±0,102	58,659±24,674	-0,032±0,098	20,671±23,157
B ₁₂	-0,009±0,034	3,795±8,225	-0,045±0,033	-6,302±7,719

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10

Prikazani rezultati u tabeli 4.26. pokazuju da model na odgovarajući način predviđa eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R₂ i R₁, pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%.

Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2 i $r^2_{adj.}$), prikazane u tabeli 4.27., ukazuju na pouzdanu predikciju Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R₁ i R₂, na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.25. i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.27. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive broja Enterobakterija, kvasaca i plesni tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁ i R₂

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	$r^2_{adj.}$	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
R ₁											
Enth	4·10 ⁴	90	-30	3	1	0,9	-0,1	0,1	-10	70	4·10 ³
KvasPles	2·10 ⁸	6·10 ³	2·10 ³	9	1	0,9	-0,3	0,6	8·10 ²	5·10 ³	2·10 ⁷
R ₂											
Enth	5·10 ³	40	-0,5	2	0,9	0,8	8·10 ⁻²	-1	-0,2	30	7·10 ²
KvasPles	2·10 ⁸	8·10 ³	-5·10 ²	40	1	1	0,5	-1	-2·10 ²	6·10 ³	3·10 ⁷

4.4. Uticaj procesnih parametara na ukupni antioksidativni potencijal i sadržaj fenola osmotski tretiranog lista koprive

Postoji veliki broj istraživanja na temu osmotskog sušenja, ali potpuni uticaj ovog procesa na kvalitet krajnjeg produkta i njegovu antioksidativnost nije dovoljno ispitan (*Landim i sar., 2016*). Veoma bitna je procena kvaliteta sa nutritivnog i senzornog aspekta s obzirom da ovi faktori direktno utiču na prihvatljivost dehidriranog proizvoda.

Fenolna jedinjenja i antioksidativne supstance su veoma bitne u ljudskoj ishrani. Samim tim praćenje promena antioksidativne aktivnosti i fenolnih jedinjenja tokom procesa osmotske dehidratacije je veoma važno (*Atares i sar., 2011*). Variranjem procesnih parametara tokom procesa osmotske dehidratacije može doći do oštećenja bioaktivnih jedinjenja. Gubitak vode može uzrokovati povećanje koncentracije hemijskih jedinjenja, dok priraštaj suve materije uzrokuje suprotan efekat i uzrokuje promene u koncentraciji hemijskih jedinjenja u osmotski tretiranom proizvodu. Na antioksidativnost i prisustvo fenolnih jedinjenja biljne sirovine koja se podvrgava osmotskoj dehidrataciji utiču osmotski rastvori (tip i koncentracija), vreme imerzije uzorka, temperatura osmotskog rastvora, odnos uzorak/rastvor, kao i oblik i veličina uzorka (*Ničetin i sar., 2017*).

U tabelama 4.28. i 4.29. prikazane su eksperimentalne vrednosti antioksidativne aktivnosti i ukupnih fenola za list koprive tretiran u rastvoru NaCl i saharoze (R_1) i rastvoru melase šećerne repe (R_2), tokom 30, 60 i 90 minuta trajanja procesa (t) i na tri različite temperature 20, 35 i 50°C (T). Ukupne vrednosti antioksidativne aktivnosti (FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP) i ukupnih fenola (FC) svežih i osmotski dehidriranih uzoraka lista koprive u funkciji procesnih parametara (t i T), variranih prema eksperimentalnom planu predstavljene su eksperimentalnim podacima u tabelama.

U tabeli 4.28. prikazane su promene parametara antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁.

Tabela 4.28. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Kat	t	Temp	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
	(min)	(°C)	(mM Fe(II))	(mM trolox)	(mM trolox)	(ml)	(ml)	(mg GAE/L)
1	0	20	1,321±0,009 ^g	0,965±0,009 ^g	0,388±0,000 ^h	0,017±0,000 ^d	0,016±0,002 ^a	0,143±0,005 ^f
2	30	20	1,109±0,019 ^f	0,754±0,019 ^f	0,317±0,003 ^g	0,017±0,000 ^{cd}	0,015±0,000 ^a	0,117±0,002 ^e
3	30	35	1,009±0,008 ^e	0,677±0,018 ^e	0,281±0,002 ^e	0,016±0,000 ^{bc}	0,015±0,000 ^a	0,107±0,001 ^d
4	30	50	1,033±0,018 ^e	0,704±0,007 ^e	0,294±0,005 ^f	0,017±0,000 ^{cd}	0,015±0,000 ^a	0,108±0,002 ^d
5	60	20	0,926±0,015 ^d	0,641±0,010 ^d	0,266±0,002 ^d	0,016±0,000 ^{bcd}	0,015±0,000 ^a	0,098±0,001 ^c
6	60	35	0,867±0,021 ^{bc}	0,591±0,010 ^{bc}	0,245±0,003 ^{bc}	0,016±0,000 ^{ab}	0,015±0,000 ^a	0,091±0,001 ^b
7	60	50	0,885±0,013 ^{cd}	0,604±0,003 ^c	0,255±0,003 ^{cd}	0,016±0,000 ^{bcd}	0,015±0,000 ^a	0,092±0,002 ^b
8	90	20	0,876±0,005 ^{bc}	0,608±0,013 ^c	0,246±0,001 ^{bc}	0,016±0,000 ^{ab}	0,015±0,000 ^a	0,092±0,002 ^b
9	90	35	0,834±0,016 ^b	0,565±0,006 ^b	0,237±0,002 ^b	0,016±0,000 ^{abc}	0,015±0,000 ^a	0,089±0,001 ^b
10	90	50	0,711±0,013 ^a	0,473±0,008 ^a	0,197±0,002 ^a	0,015±0,000 ^a	0,015±0,000 ^a	0,078±0,001 ^a

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 kontrolni uzorak; n=3

U tabeli 4.29. prikazane su promene parametara antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂.

Tabela 4.29. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Kat	t	Temp	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
	(min)	(°C)	(mM Fe(II))	(mM trolox)	(mM trolox)	(ml)	(ml)	(mg GAE/L)
1	0	20	1,321±0,009 ^a	0,965±0,009 ^a	0,388±0,009 ^a	0,017±0,000 ^a	0,016±0,000 ^a	0,143±0,002 ^a
2	30	20	1,323±0,028 ^a	0,937±0,008 ^a	0,396±0,007 ^a	0,019±0,000 ^b	0,016±0,000 ^{ab}	0,145±0,002 ^a
3	30	35	1,357±0,018 ^a	0,940±0,023 ^a	0,388±0,009 ^a	0,021±0,000 ^c	0,017±0,000 ^{cde}	0,145±0,002 ^a
4	30	50	1,327±0,017 ^a	0,933±0,004 ^a	0,395±0,005 ^a	0,021±0,000 ^c	0,016±0,000 ^{bcd}	0,144±0,003 ^a
5	60	20	1,333±0,017 ^a	0,958±0,005 ^a	0,392±0,005 ^a	0,021±0,000 ^c	0,016±0,000 ^{bc}	0,146±0,003 ^a
6	60	35	1,338±0,003 ^a	0,957±0,014 ^a	0,396±0,007 ^a	0,023±0,000 ^d	0,017±0,000 ^{cde}	0,146±0,002 ^a
7	60	50	1,359±0,030 ^a	0,935±0,008 ^a	0,400±0,005 ^a	0,024±0,000 ^e	0,017±0,000 ^{cde}	0,147±0,001 ^a
8	90	20	1,348±0,026 ^a	0,937±0,018 ^a	0,390±0,005 ^a	0,022±0,000 ^d	0,017±0,000 ^{cde}	0,144±0,001 ^a
9	90	35	1,358±0,023 ^a	0,957±0,012 ^a	0,388±0,007 ^a	0,024±0,001 ^e	0,017±0,000 ^{de}	0,146±0,001 ^a
10	90	50	1,335±0,011 ^a	0,935±0,015 ^a	0,392±0,001 ^a	0,024±0,000 ^e	0,017±0,000 ^e	0,146±0,003 ^a

*Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 kontrolni uzorak; n=3

4.4.1. Promena antioksidativnog potencijala lista koprive tokom osmotskog procesa

Promene antioksidativnih parametara tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvorima R₁ i R₂ prikazane su u tabelama 4.28. i 4.29. Tokom eksperimenta, povećavanje temperature i vremena trajanja procesa doveli su do povećanja antioksidativnih potencijala u uzorcima lista koprive tretiranim u melasi, a do smanjenja antioksidativnog potencijala u osušenim uzorcima tretiranim u rastvoru NaCl i saharoze.

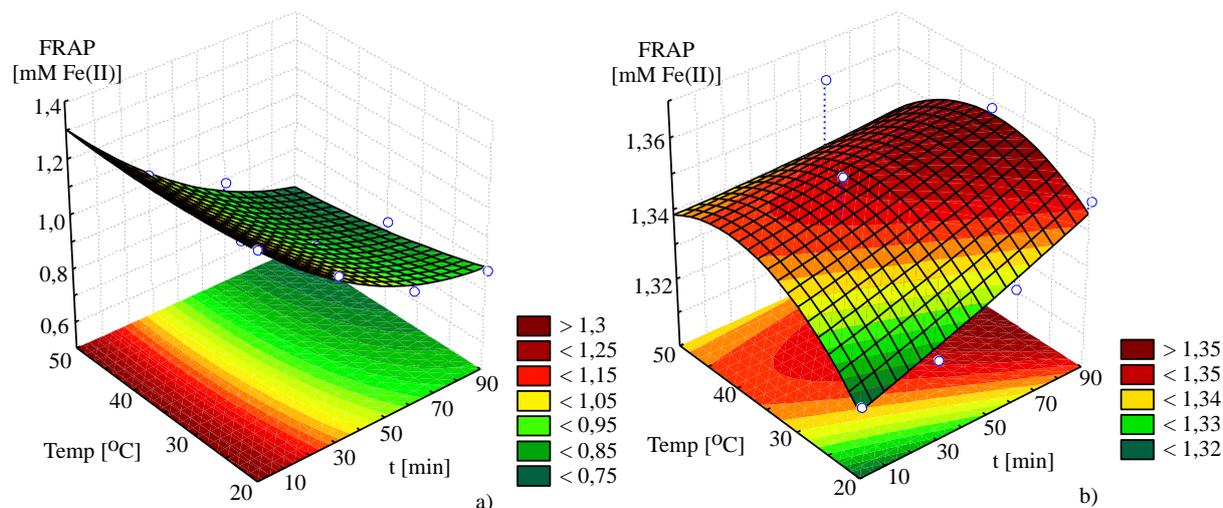
Kao što se iz priloženih rezultata može videti, osmotski tretman lista koprive na najvišim t (90 min) i T (50°C) dovodi do smanjenja vrednosti antioksidativnih potencijala uzoraka sušenih u R₁ od inicijalne 1,321±0,009 do 0,711±0,013 (mM Fe(II)) (FRAP test), 0,965±0,009 do 0,473±0,008 (mM trolox) (ABTS test), od 0,388±0,000 do 0,197±0,002 (mM trolox) (DPPH test), od 0,017±0,000 do 0,015±0,000 (ml) (HPMC test), od 0,016±0,002 do 0,015±0,000 (ml) (MRAP test) i od 0,143±0,005 do 0,078±0,001^a (mg GAE/L) (FC). Suprotan trend se primećuje kod uzoraka tretiranim u rastvoru R₂. U istom vremenskom periodu, na najvišoj temperaturi, zabeleženo je maksimalno povećanje antioksidativnog potencijala: od 1,321±0,009 do 1,335±0,011 (mM Fe(II)) (FRAP test), od 0,965±0,009 do 0,935±0,015 (mM trolox) (ABTS test), od 0,388±0,009 do 0,392±0,001 (mM trolox) (DPPH test), od 0,017±0,000 do 0,024±0,000 (ml) (HPMC test), od 0,016±0,000 do 0,017±0,000 (ml) (MRAP test) i od 0,143±0,002 do 0,146±0,003 (mg GAE/L) (FC).

Na osnovu ovih parametara, optimalni uslovi za osmotsko tretiranje lista koprive u R₂, mogu biti nakon 60 min i temperaturi osmotskog rastvora na 50°C. Sa druge strane osmotsko tretiranje uzoraka u R₁ nije prihvatljivo, s obzirom na činjenicu da vrednosti antioksidativnog potencijala lista koprive konstantno opadaju tokom tretmana. Ovo je u skladu sa tvrdnjom da melasa šećerne repe ima jak antioksidativni potencijal.

4.4.2. Zavisnost parametara antioksidativnog potencijala od parametara procesa tokom osmotskog tretmana

Zavisnost antioksidativne aktivnosti, određene FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metodama od temperature i vremena trajanja procesa tokom osmotskog tretmana lista koprive, prikazana je na slikama 4.24.-4.29. (a,b).

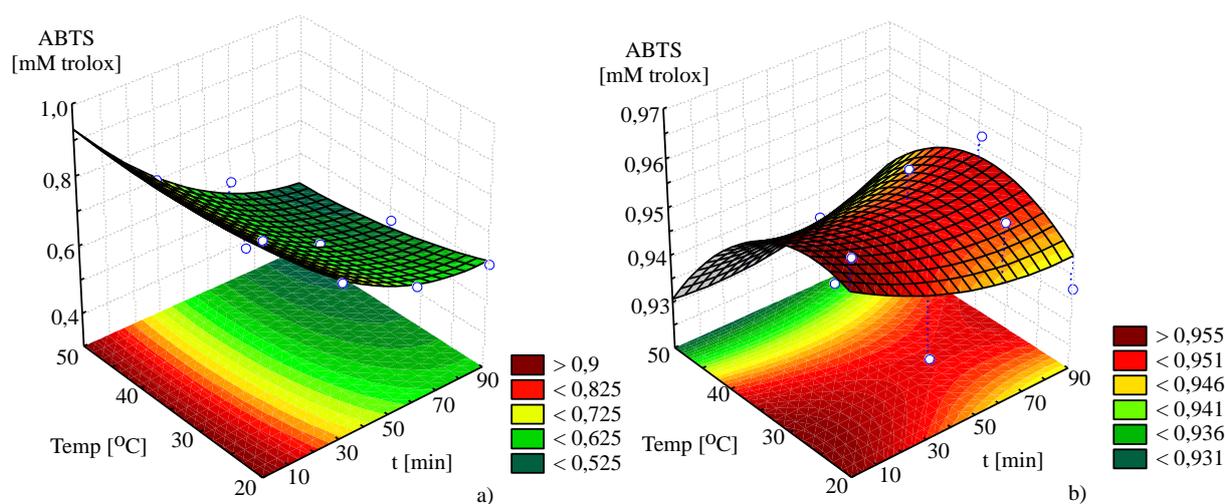
Na slici 4.24. prikazane su promene FRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.24. Promene FRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Na dijagramu 4.24. a) zapaža se da tokom osmotskog tretmana u rastvoru natrijum-hlorida i saharoze (R₁) uticaj procesnih parametara (t i T) podjednako utiče na izraženo smanjenje FRAP vrednosti tokom procesa. Tokom osmotske dehidracije lista koprive u rastvoru melase šerćerne repe (R₂) (slika 4.24. b)) sa porastom temperature uočava se značajno povećanje FRAP vrednosti u dehidriranim uzorcima.

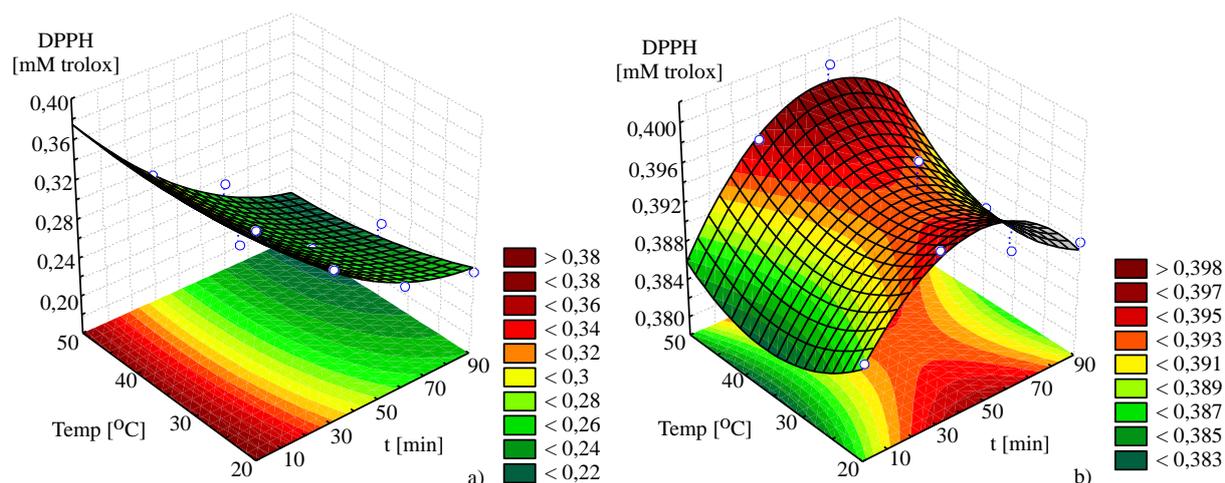
Na slici 4.25. prikazane su promene ABTS vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂.



Slika 4.25. Promene ABTS vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Posmatrajući sliku 4.25. a) uočeno je da antioksidativne vrednosti dobijene ABTS metodom uzoraka lista koprive dehidriranih u R_1 rastvoru, srazmerno opadaju sa porastom oba procesna parametra (t, T), dok je u uzorcima dehidriranim u R_2 rastvoru zabeležen obrnut trend, sa porastom temperature i vremena procesa, srazmerno rastu i ABTS vrednosti (slika 4.25. b)).

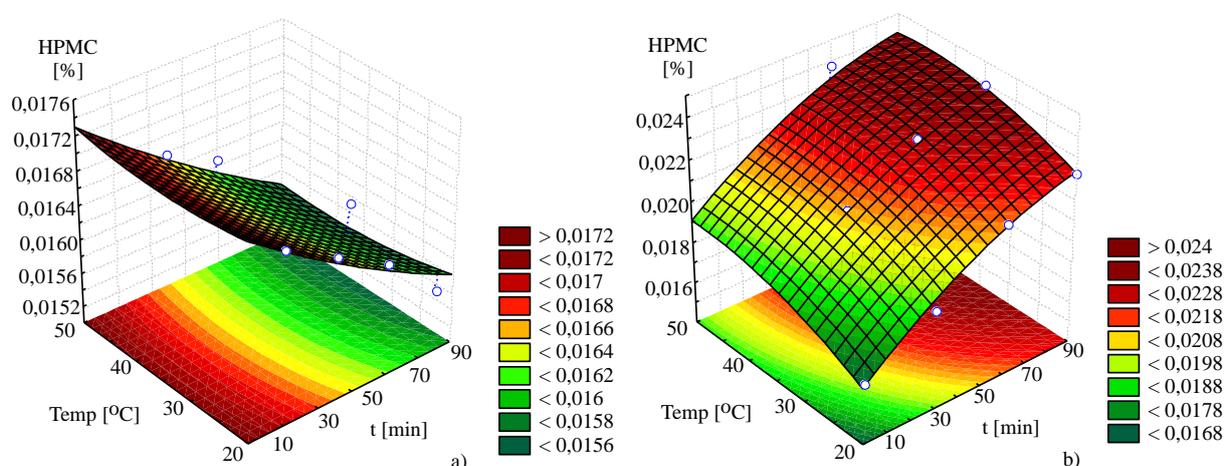
Na slici 4.26. prikazane su promene DPPH vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



Slika 4.26. Promene DPPH vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Na slici 4.26. (a i b) zapaža se uticaj procesnih parametara (t i T) na DPPH vrednosti dehidriranih uzoraka lista koprive u R_1 i R_2 rastvoru. DPPH vrednosti uzoraka dehidriranim u R_1 rastvoru, srazmerno opadaju sa porastom procesnih parametara, dok se na drugoj slici uočava održavanje vrednosti DPPH kao kod početnog uzorka i blagi porast vrednosti, koji se dobija zahvaljujući bogatoj melasi.

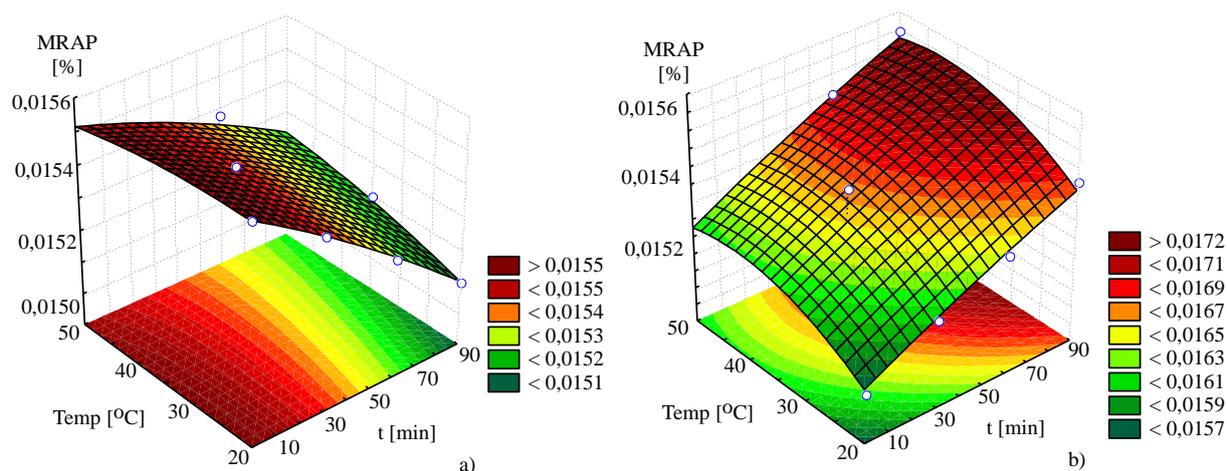
Na slici 4.27. prikazane su promene HPMC vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



Slika 4.27. Promene HPMC vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

HPMC vrednosti dehidriranih uzoraka lista koprive u oba procesna rastvora, prikazane su na slikama 4.27. (a i b). Sa dijagrama koji pokazuje dehidrataciju u R_1 rastvoru (slika 4.27. a)), uočava se pad HPMC vrednosti tokom trajanja procesa, gde je najniža vrednost nakon 90 minuta trajanja procesa. Sa druge strane, dehidratacija uzoraka u R_2 rastvoru (slika 4.27. b)) pokazuje drugačiji trend, gde sa porastom procesnih parametara (t i T) rastu i vrednosti HPMC.

Na slici 4.28. prikazane su promene MRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



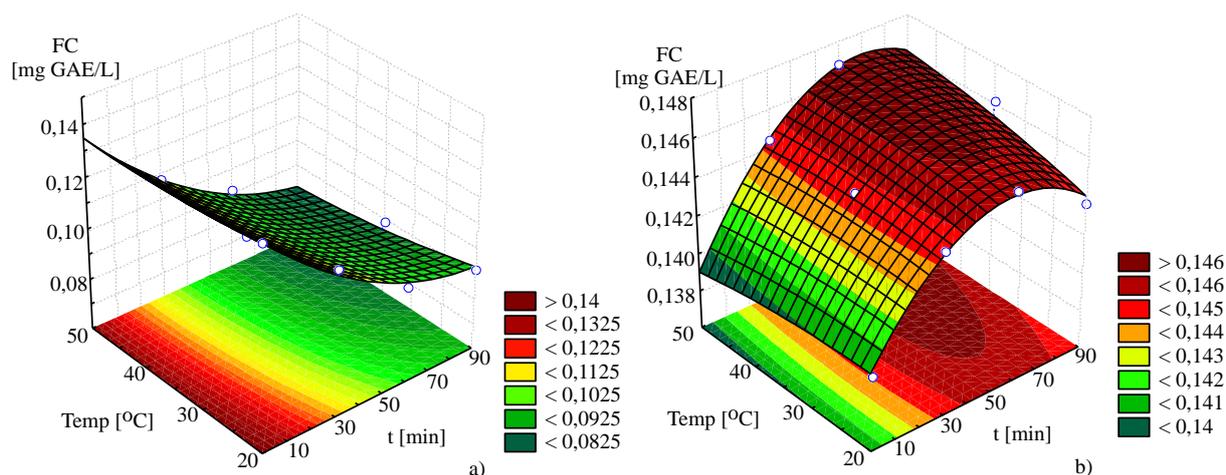
Slika 4.28. Promene MRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2

Vrednosti MRAP pravilno opadaju tokom čitavog procesa, srazmerno povećanju temperature i vremena imerzije u rastvoru natrijum-hlorida i saharoze (R_1). S druge strane, MRAP vrednosti ravnomerno rastu povećanjem dužine imerzije u rastvoru melase šećerne repe (R_2) i pri višim temperaturama procesa.

U listu koprive prisutan je veliki broj fenolnih jedinjenja, zahvaljujući svojim izraženim antioksidativnim svojstvima u velikoj meri doprinosi ukupnoj antioksidativnosti (*Almeida i sar., 2015; Abdul Qadir i sar., 2017*).

Eksperimentalni rezultati u tabelama 4.28. i 4.29., pokazuju da osmotski tretman utiče na promenu sadržaja fenolnih jedinjenja u tretiranom listu koprive, dok najveći uticaj ima tip primenjenog osmotskog rastvora. Primenom rastvora natrijum-hlorida i saharoze (R_1) sadržaj fenolnih jedinjenja u tretiranom listu koprive postepeno opada, dok se upotrebom rastvora melase šećerne repe (R_2) postiže suprotan efekat, zabeležen je porast sadržaja fenolnih jedinjenja sa povećanjem procesnih parametara (t i T).

Na slici 4.29. prikazane su promene FC vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R_1 , b) lista koprive u rastvoru R_2 .



Slika 4.29. Promene FC vrednosti tokom osmotskog tretmana: a) lista koprive u rastvoru R₁, b) lista koprive u rastvoru R₂

Na slici 4.29. (a i b) prikazana je promena sadržaja ukupnih fenola (FC), tokom procesa osmotske dehidracije lista koprive u rastvorima R₁ i R₂. Kao što je zaključeno na osnovu podataka iz tabele, vrednosti FC tokom procesa u rastvoru R₁ opadaju srazmerno sa parametrima procesa (t i T), dok se vrednosti FC tokom procesa dehidracije u R₂ rastvoru suprotno ponašaju, rastu sa povećanjem dužine imerzije i pri višim temperaturama procesa.

4.4.3. Modeli osmotske dehidracije lista koprive za antioksidativni potencijal u rastvoru R₁

Tabela 4.30. prikazuje ANOVA kalkulacije razvijenog SOP modela za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC za osmotski tretirane listove koprive u rastvoru R₁. Iz ove tabele se vidi da u SOP modelima za izračunavanje FRAP, ABTS, veliki uticaj ima linearni i kvadratni član t, statistički značajno na nivou p<0,01 i p<0,05, respektivno. Na DPPH, HPMC, MRAP statističku značajnost ima samo linerani član t (p<0,01), dok za FC najveći uticaj pokazuju linearni članovi t i T, kao i kvadratni t (p<0,01 i p<0,05, respektivno).

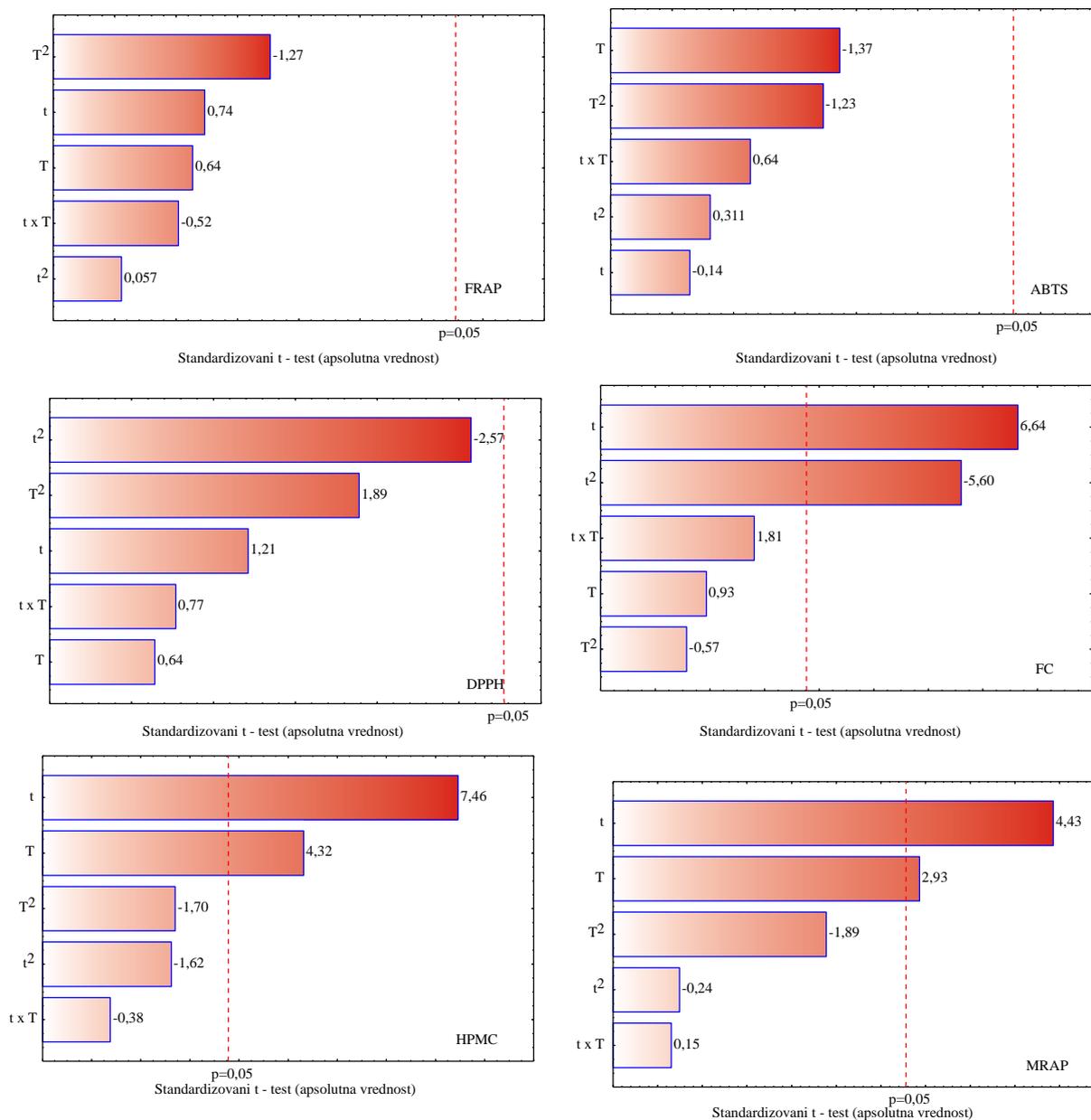
Tabela 4.30. ANOVA modela odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₁

Član	df	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
t	1	0,137 ⁺	0,081 ⁺	0,012 ⁺	$7,49 \cdot 10^{-7+}$	$7,96 \cdot 10^{-8+}$	$1,43 \cdot 10^{-3+}$
t ²	1	0,010 ^{**}	0,010 [*]	0,001	$2,63 \cdot 10^{-9}$	$4,63 \cdot 10^{-10}$	$1,23 \cdot 10^{-4*}$
T	1	0,007	0,005	0,001	$1,05 \cdot 10^{-8}$	$1,79 \cdot 10^{-9}$	$8,83 \cdot 10^{-5*}$
T ²	1	0,001	0,001	0,000	$1,93 \cdot 10^{-8}$	$6,00 \cdot 10^{-10}$	$6,14 \cdot 10^{-6}$
t × T	1	0,002	0,001	0,000	$2,85 \cdot 10^{-9}$	$4,74 \cdot 10^{-9*}$	$5,49 \cdot 10^{-6}$
Greška	3	0,006	0,005	0,001	$3,55 \cdot 10^{-7}$	$2,71 \cdot 10^{-9}$	$3,97 \cdot 10^{-5}$

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Slika 4.30. prikazuje Paretove dijagrame modela odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 .



Slika 4.30. Paretovi dijagrami modela odziva, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

Na osnovu slike zaključuje se da u SOP modelima za izračunavanje MRAP i HPMC veliki uticaj imaju linearni članovi t i T , statistički značajno na nivou $p < 0,01$ i $p < 0,05$. Primetan je i uticaj kvadratnog člana t u SOP modelu za predikciju FC, statistički značajno na nivou $p < 0,05$.

Formirani su matematički modeli u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 u zavisnosti od t i T , na osnovu izmerenih rezultata.

U tabeli 4.31. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p vrednosti.

Tabela 4.31. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
β_0	1,419±0,139 ⁺	1,061±0,122 ⁺	0,430±0,054 ⁺	0,017±0,001 ⁺	0,016±0,000 ⁺	0,151±0,011 ⁺
β_1	-0,008±0,002 ⁺	-0,007±0,002 ⁺	-0,003±0,001 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000 ⁺	-0,001±0,000 ⁺
β_{11}	0,000±0,000 ^{**}	0,000±0,000 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 ⁺
β_2	-0,007±0,009	-0,007±0,008	-0,003±0,003	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,001±0,001
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 [*]	0,000±0,000

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

Tabela 4.31. prikazuje rezultate rezidualne analize, koja je urađena da bi se potvrdila pretpostavka da razlike između eksperimentalnih i izračunatih vrednosti zadovoljavaju kriterijum homogenosti varijanse. Srednje vrednosti razlika za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC bile su oko 0, a standardne devijacije razlika, kao i varijansa razlika takođe su bile bliske 0. Ovakvi rezultati pokazuju da model na odgovarajući način predviđa eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1 , pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%.

Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2 i $r^2_{adj.}$) prikazane u tabeli 4.32., ukazuju na pouzdanu predikciju FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC za osmotski tretman lista koprive u rastvoru R_1 . Takođe, na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.30. ukazuje i na dobro poklapanje dobijenih vrednosti sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.32. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_1

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	$r^2_{adj.}$	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
FRAP	0,005	0,035	0,009	4,471	0,978	0,948	0,314	-0,861	0,004	0,024	0,001
ABTS	0,004	0,030	0,008	5,262	0,974	0,934	-0,038	0,587	0,004	0,021	0,000
DPPH	0,001	0,013	0,004	5,579	0,966	0,918	0,136	0,170	0,002	0,009	0,000
HPMC	0,000	0,000	0,000	2,119	0,774	0,765	0,468	0,131	0,000	0,000	0,000
MRAP	0,000	0,000	0,000	0,181	0,986	0,967	0,035	0,416	0,000	0,000	0,000
FC	0,000	0,003	0,001	3,647	0,986	0,968	0,509	-1,255	0,000	0,002	0,000

4.4.4. Modeli osmotske dehidracije lista koprive za antioksidativni potencijal u rastvoru R₂

ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC za osmotski tretirani list koprive u rastvoru R₂, prikazana je u tabeli 4.33. Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje HPMC i MRAP najveći uticaj imaju linearni članovi T i t, statistički značajno na nivou $p < 0,05$ (osim uticaja linearnog člana t na HPMC koji je statistički značajan na nivou $p < 0,01$). U SOP modelima za izračunavanje FC najveći uticaj imaju linearni i kvadratni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$.

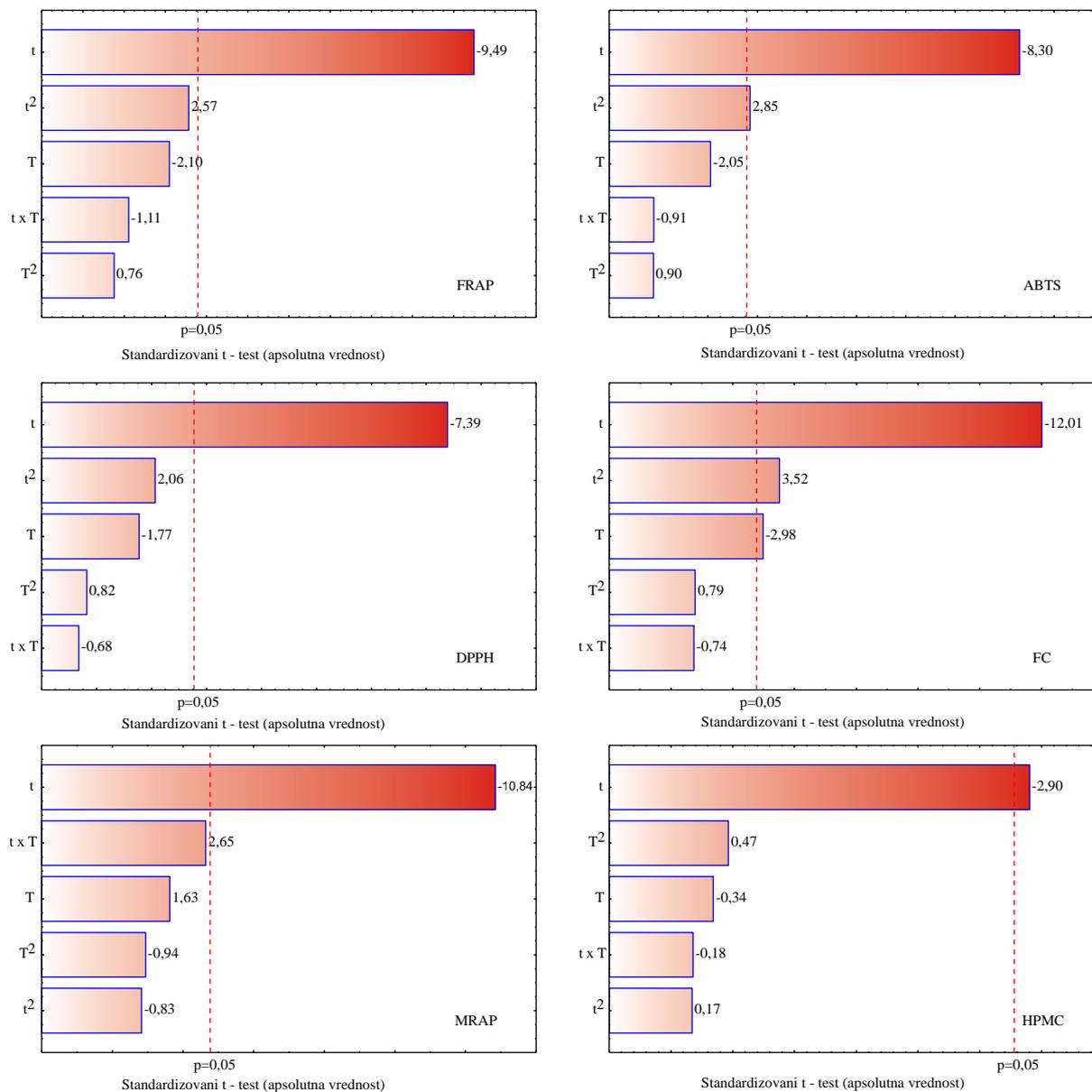
Tabela 4.33. ANOVA modela odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R₂

Član	df	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
T	1	0,0001	0,0000	0,0000	$1,55 \cdot 10^{-5+}$	$7,48 \cdot 10^{-7*}$	$1,72 \cdot 10^{-5+}$
t ²	1	0,0000	0,0000	0,0001	$7,34 \cdot 10^{-7}$	$2,27 \cdot 10^{-9}$	$1,23 \cdot 10^{-5+}$
T	1	0,0001	0,0003	0,0000	$5,19 \cdot 10^{-6*}$	$3,27 \cdot 10^{-7*}$	$3,39 \cdot 10^{-7}$
T ²	1	0,0003	0,0002	0,0000	$8,08 \cdot 10^{-7}$	$1,36 \cdot 10^{-7}$	$1,27 \cdot 10^{-7}$
t × T	1	0,0001	0,0001	0,0000	$4,02 \cdot 10^{-8}$	$8,99 \cdot 10^{-10}$	$1,28 \cdot 10^{-6}$
Greška	3	0,0009	0,0006	0,0000	$1,11 \cdot 10^{-6}$	$1,52 \cdot 10^{-7}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Paretovi dijagrami modela odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2 prikazani su na slici 4.31.



Slika 4.31. Paretovi dijagrami modela odziva, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

Slike pokazuju da u SOP modelu za izračunavanje FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC najveći uticaj imaju linearni članovi t, statistički značajno na nivou $p < 0,05$, osim što na FC statističku značajnost pokazuju i linearni član T, kao i kvadratni t ($p < 0,01$ i $p < 0,05$, respektivno).

Tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2 u zavisnosti od t i T, formirani su matematički modeli u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC.

U tabeli 4.34. prikazani su regresioni koeficijenti sa srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata izražena je preko p vrednosti.

Tabela 4.34. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2

	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
β_0	1,248±0,052 ⁺	0,927±0,045 ⁺	0,407±0,011 ⁺	0,012±0,002 ⁺	0,014±0,001 ⁺	0,140±0,002 ⁺
β_1	0,000±0,001	0,000±0,001	0,000±0,000	0,000±0,000*	0,000±0,000	0,000±0,000 ⁺
β_{11}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 ⁺
β_2	0,005±0,003	0,003±0,003	-0,001±0,001	0,000±0,000	0,000±0,000**	0,000±0,000
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, *Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

** Značajan na nivou $p < 0,10$

Rezultati prikazani u tabeli 4.35. prikazuju rezidualne analize, srednje vrednosti, standardne devijacije, kao i varijanse razlika za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC bile su oko 0. Ovakvi rezultati pokazuju da model na odgovarajući način predviđa eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2 .

Kao što je već pomenuto, niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2), prikazane u tabeli 4.35., ukazuju na pouzdanu predikciju FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2 , na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.33. i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

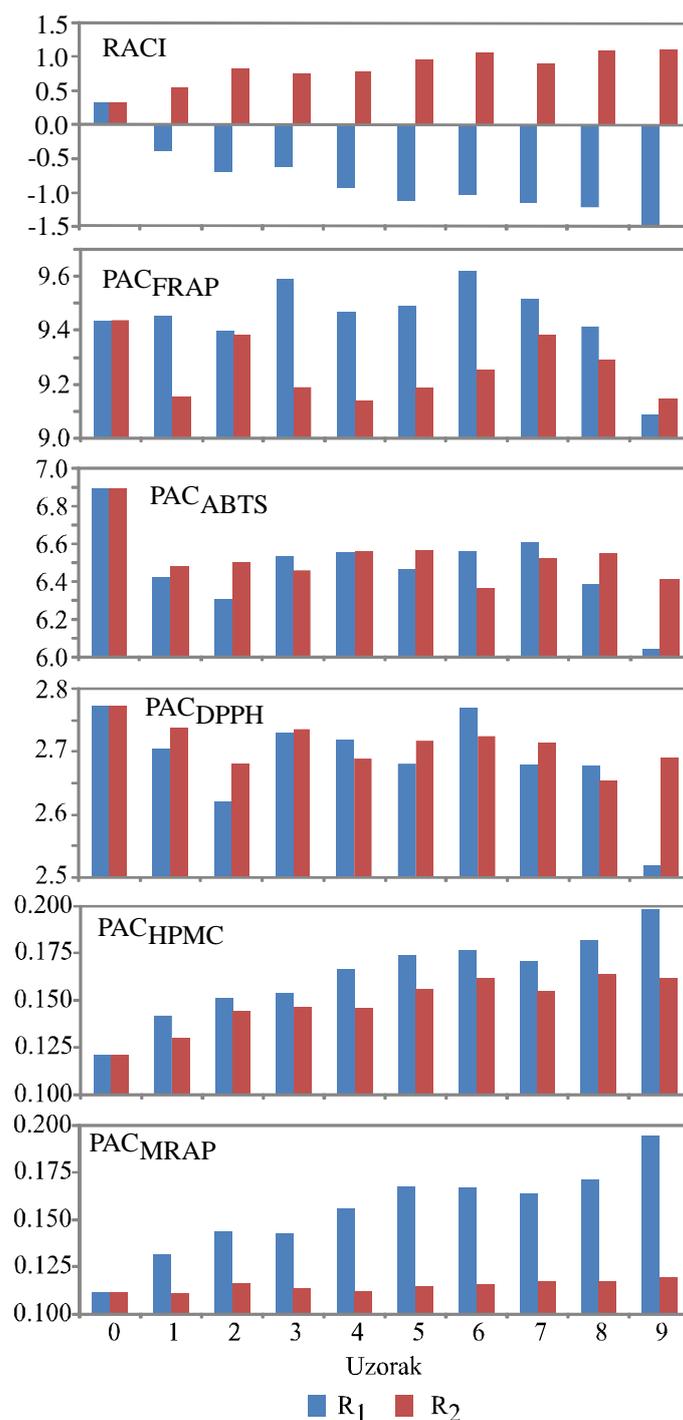
Tabela 4.35. Rezidualna analiza matematičkih modela za odzive FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista koprive u rastvoru R_2 .

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
FRAP	0,001	0,025	0,000	2,296	0,977	0,289	-0,883	0,000	0,026	0,001
ABTS	0,001	0,022	0,000	2,820	0,971	-0,020	-0,252	0,000	0,023	0,001
DPPH	0,000	0,010	0,000	2,976	0,963	0,107	-0,372	0,000	0,010	0,000
HPMC	0,000	0,000	0,000	0,994	0,806	0,564	-0,101	0,000	0,000	0,000
MRAP	0,000	0,000	0,000	0,082	0,986	0,269	0,131	0,000	0,000	0,000
FC	0,000	0,002	0,000	1,797	0,986	0,526	-1,059	0,000	0,002	0,000

4.5. Izračunavanje relativnog indeksa antioksidativnog kapaciteta i koeficijenta fenolne antioksidativnosti

Na osnovu rezultata klasifikacije uzoraka (slika 4.32.) primećuje se da superiornost uzoraka listova koprive osmotske dehidracije u R₂, u testovima, pri čemu je najvišu vrednost RACI od +1.108 dobijena posle 90 minuta tretmana na 50 °C. Uzorci tretirani u R₁ dali su najnižu vrednost RACI (-1.589) posle 90 minuta tretmana na 50°C. Rezultati su pokazali da su među osmotski dehidriranim uzorcima samo oni osmotski tretirani u R₂ dali pozitivnu vrednost RACI, dok su uzorci tretirani u R₁ dali negativnu vrednost RACI za sve testove.

Da bi se procenila efikasnost ekstrahovanih fenola, korišćen je koeficijent antioksidativnosti fenola antioksidansa (engl. phenol antioxidant coefficient - PAC) (Hodžić i sar., 2009). PAC se definiše kao odnos parametara antioksidativnosti i ukupnih fenola. PAC osmotski tretiranih uzoraka u R₁ i R₂ je predviđen za brzo poređenje antioksidativne efikasnosti ukupnih fenola koristeći različite analize antioksidativnog kapaciteta uzorka. Varijacije PAC_{HPMC} i PAC_{MRAP} su bile gotovo zanemarljive (procenjena varijansa je bila od $7,9 \cdot 10^{-6}$ do $5,5 \cdot 10^{-4}$), dok su varijacije PAC_{DPPH}, PAC_{FRAP} i PAC_{ABTS} bile veoma izražene (dobijene varijanse su bile 0,001 do 0,021). Najniže vrednosti PAC_{HPMC} i PAC_{MRAP} tokom osmotske dehidracije u R₂ pripisane su uzorcima sa niskim vrednostima RACI, tj. niskog antioksidativnog potencijala, dok su uzorci sa najnižim vrednostima RACI tokom osmotske dehidracije u R₁ imale najviše vrednosti PAC-a (Katalinić i sar., 2012).



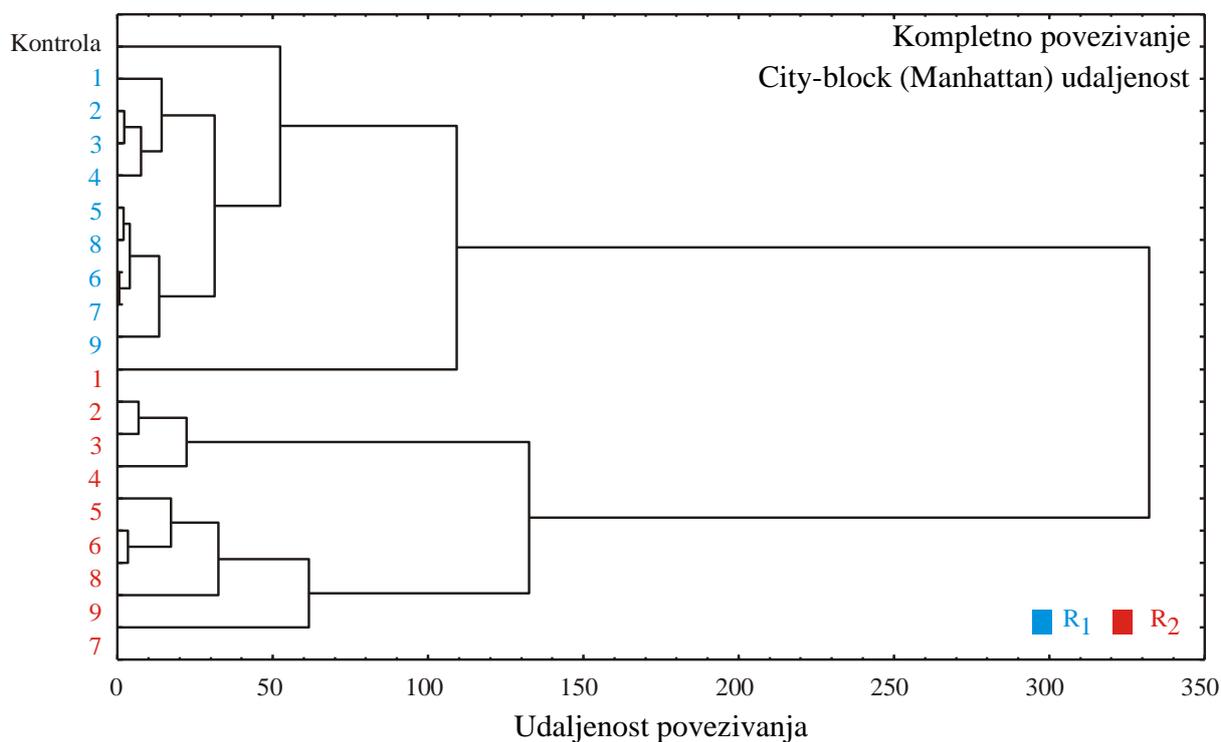
Slika 4.32. Relativni indeks antioksidativnog kapaciteta (RACI) i koeficijent antioksidativnosti fenola (PAC) uzoraka koprive

4.6. Klaster analiza (CA)

Slika 4.33. prikazuje dendrogram za klaster analizu za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive. Posmatrani kriterijumi su kinetički parametri (WL, SG, a_w i DM), kao i koncentracije minerala (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co).

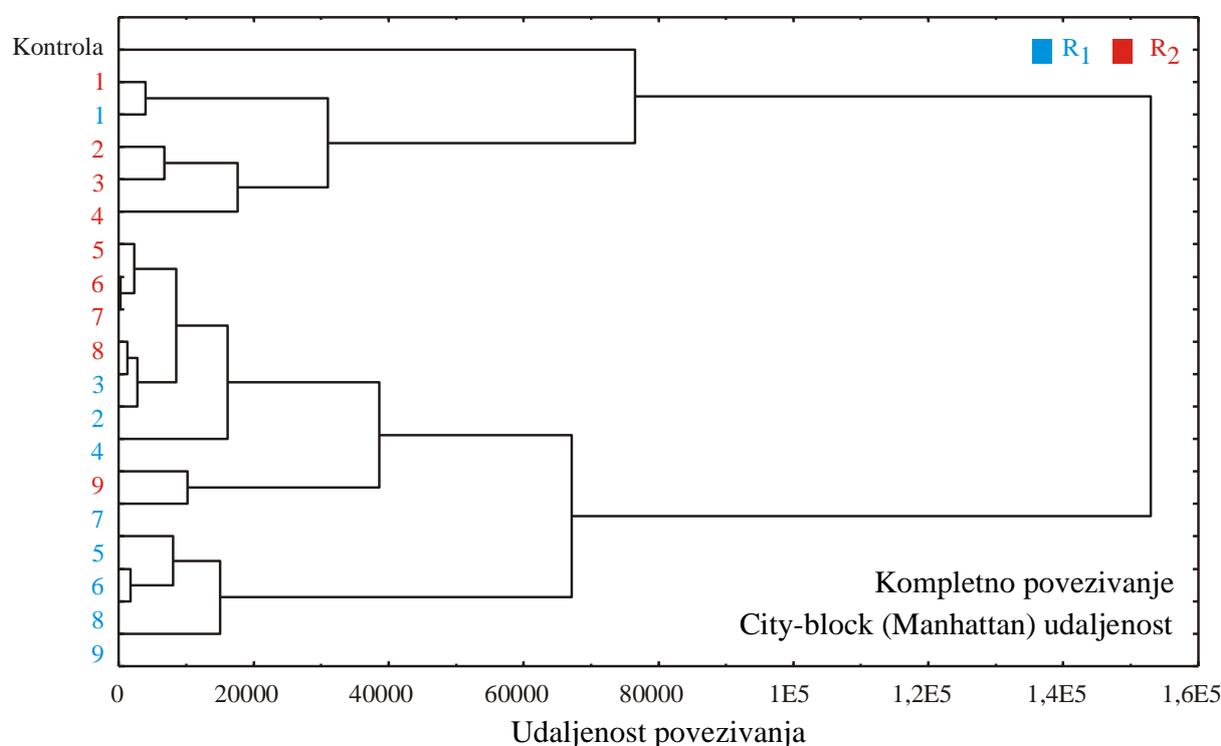
Dendrogram na slici 4.34. pokazuje klaster analizu kriterijuma za parametre antioksidativnog potencijala (FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC), kao i mikrobiološke parametre (broj Enterobakterija, kvasaca i plesni). Na slikama 4.33. i 4.34. računate su ukupne povezanosti tačaka (engl. complete linkage), a rastojanja između tačaka u 13-dimenzionalnom i 8-dimenzionalnom koordinatnom prostoru, respektivno, merena su korišćenjem City-block (Manhattan) algoritma. City-block udaljenosti, koje se prikazuju na ordinatnoj osi grafika merene su kao srednje razlike između dimenzija različitih uzoraka. Merenje udaljenosti City-block algoritmom daje rezultate slične Euklidskom merenju, ali je to merenje pogodnije zato što je smanjen uticaj pojedinačnih velikih udaljenosti (autlajer, engl. outlier), pošto se ne računaju kvadrati vrednosti pojedinačnih koordinata.

Dendrogram na slici 4.33. prikazuje klaster analizu za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive (posmatrane promenljive su bile: WL, SG, a_w , SG, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co). Na dendogramu se primećuju dva odvojena klastera, gornji koji obuhvata uzorke 1-9, koji su tretirani u rastvoru R_1 i kontrolni uzorak i donji klaster koji obuhvata uzorke 1-9, koji su tretirani u rastvoru R_2 (ovi uzorci imaju povećane koncentracije minerala u odnosu na uzorke tretirane u rastvoru R_1). Uočena je znatna udaljenost ova dva klastera (oko 330).



Slika 4.33. Dendrogram za klaster analizu za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R_1 i R_2 , pri čemu su praćeni kinetički parametri WL, SG, a_w i SG, kao i koncentracija minerala: Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co

Dendrogram na slici 4.34. prikazuje klaster analizu osmotski tretiranih uzoraka listova koprive pri čemu su korišćeni kriterijumi bili pokazatelji antioksidativnog kapaciteta (FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC), kao i mikrobiološki parametri (broj Enterobakterija, kvasaca i plesni). Na dendrogramu se primećuje postojanje dva klastera. Kontrolni uzorak je pozicioniran sa uzorcima 1 (tretiranih u rastvorima R₁ i R₂) i sa uzorcima 2-4 (tretiranih u rastvoru R₂). Ovi uzorci su sačuvali najveći antioksidativni kapacitet. Drugi klaster se sastoji od nekoliko podklastera, koji pokazuju da postoji sličnost između uzoraka 5-7, tretiranih u rastvoru R₂, kao i uzoraka 2-4 tretiranih u rastvoru R₁. Uzorci 5-9 tretirani u rastvoru R₁ poseduju najmanji antioksidativni kapacitet i grupisani su u odvojenoj grupi na dnu dendograma. Udaljenost između uzoraka je izražena i iznosi $1,6 \cdot 10^5$.



Slika 4.34. Dendrogram za klaster analizu za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R₁ i R₂, pri čemu su praćeni parametri antioksidativnog kapaciteta (FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC), kao i mikrobiološki parametri (broj Enterobakterija, kvasaca i plesni)

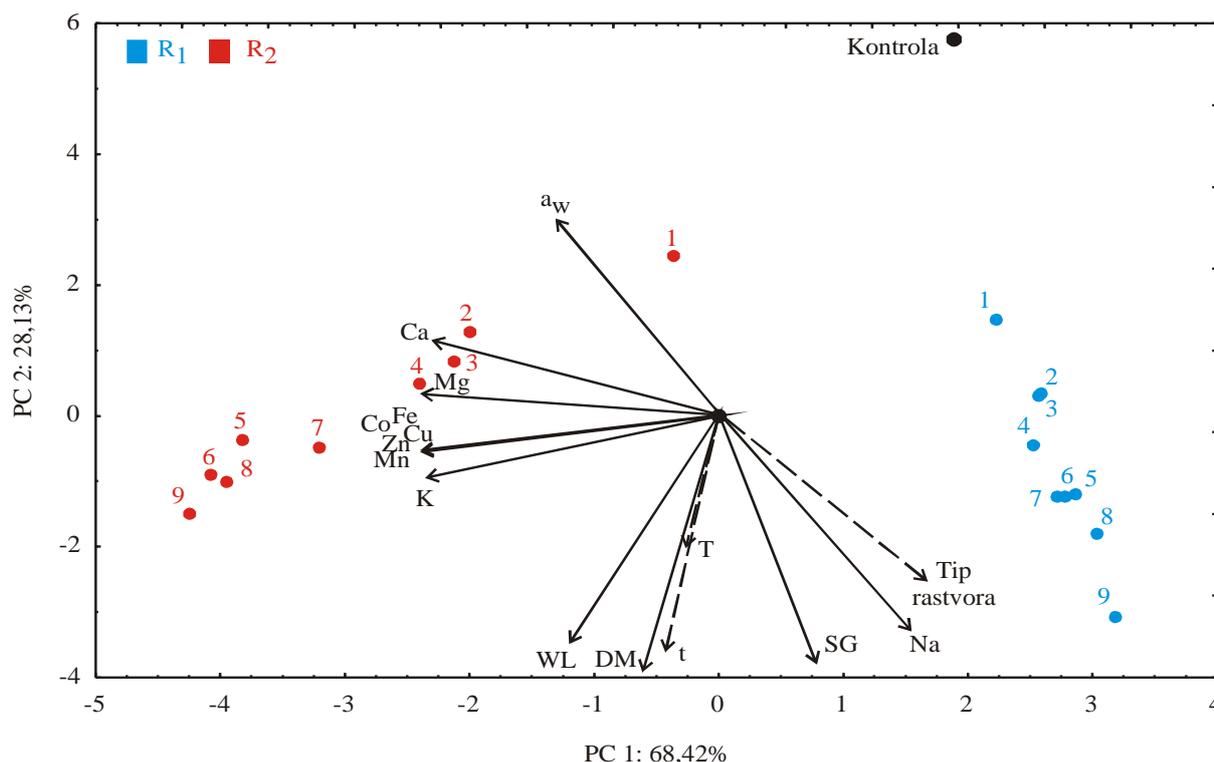
4.7. Analiza glavnih komponenti (engl. Principal component analysis - PCA)

PCA omogućava da se značajno smanji broj promenljivih koje učestvuju u analizi, a omogućava i detektovanje i analizu inherentne, skrivene, strukture između mernih veličina i odzivnih promenljivih koje se ispituju. Svi uzorci su pripremljeni pod striktno zadatim uslovima koji su definisani u eksperimentalnom planu i koji su grafički prikazani na PCA grafiku (slika 4.35.). Celokupna matrica merenih podataka osmotski tretiranih listova koprive u rastvorima R_1 i R_2 (posmatrani su kinetički parametri WL, SG, a_w i SG, kao i koncentracije minerala: Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co) podvrgnuta je PCA analizi.

Grafički prikaz trendova i efikasnost odvajanja grupa parametara na osnovu korišćenih deskriptora prikazana je na slici 4.35. gde su na grafiku prikazani uzorci korišćenjem prve dve glavne komponente, koje su dobijene iz PCA analize.

Na slici 4.35. se može videti da je izvršeno uspešno odvajanje grupa podataka za 19 uzoraka osmotski dehidriranih listova koprive (1 kontrolni uzorak, 9 uzoraka tretiranih u rastvoru R_1 i 9 uzoraka tretiranih u rastvoru R_2). Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 96,5% ukupne varijanse i da se to može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Koncentracije minerala: Ca (koja prikazuje 10,3% totalne varijanse, računane na osnovu korelacija), Mg (11,1%), K (10,7%), Fe (11,0%), Cu (11,0%), Zn (11,0%), Co (11,0%) i Mn (24,2) pokazale su negativni uticaj na računanje prve glavne komponente (PC1). Doprinosi WL (18,0%), SG (21,6%), DM (24,7%) i koncentracije Na (16,0%) bili su najznačajniji negativni uticaji za izračunavanje druge faktorske koordinate (PC2), dok je uticaj a_w (13,9%) bio najuticajniji pozitivan parametar za izračunavanje PC2.

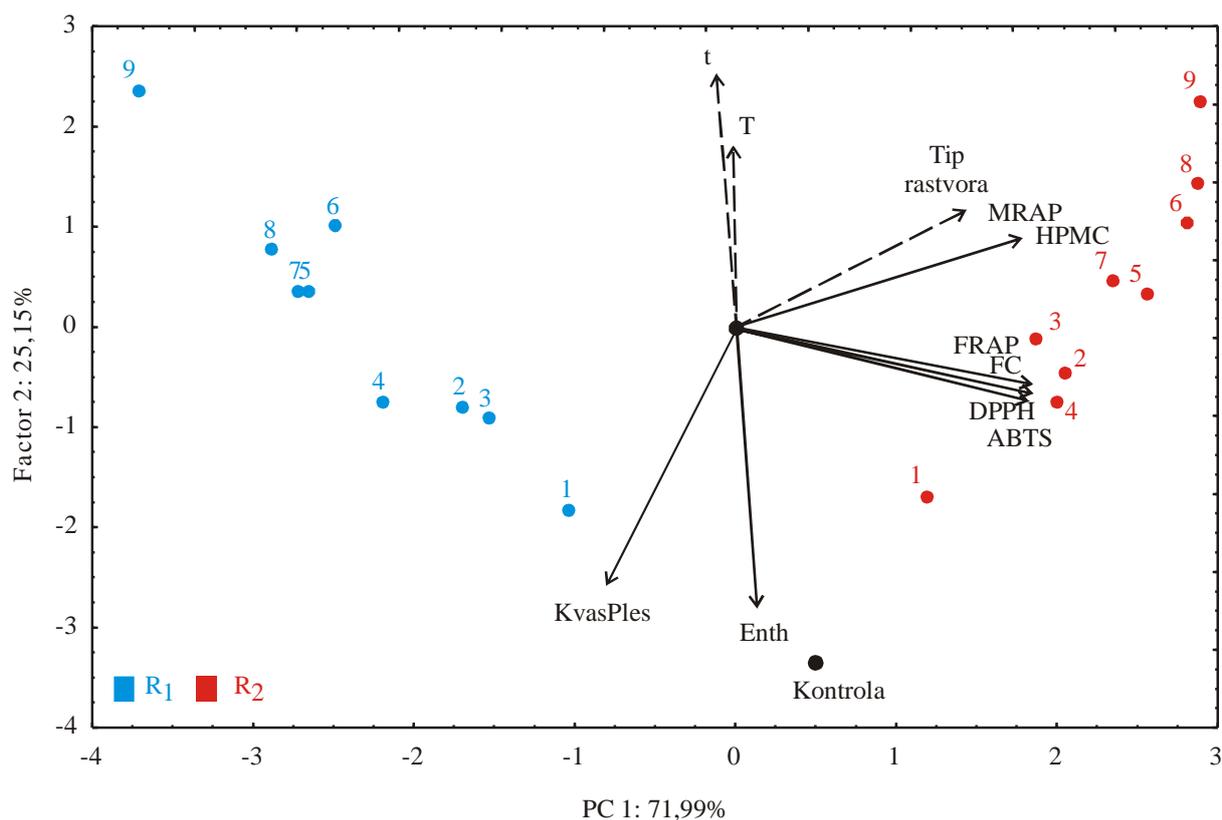
Uticaj procesnih parametara na različite uzorke može da se oceni sa slike 4.36. na kojoj su uzorci koji imaju veću koncentraciju minerala Ca, Mg, Fe, Co, Cu, Zn, Mn i K locirani u levoj zoni grafika. Veće vrednosti WL, SG, DM i koncentracije Na su primećene na donjoj strani grafika, dok su povećane vrednosti a_w zabeležene na gornjoj strani grafika. Uticaj osmotskog tretmana na uzorke listova koprive je jasno vidljiv na osnovu praćenja PC2, pri čemu je početni (kontrolni) uzorak pozicioniran na gornjem delu grafika, a trend povećanja WL, SG i DM se jasno uočava u toku trajanja osmotske dehidratacije, pri čemu ovi parametri naročito rastu pri porastu t i T . Koncentracija Na naročito raste za rastvor R_1 , što se vidi iz PCA grafika, pošto je vektor Na usmeren prema uzorcima koji su tretirani u rastvoru R_1 .



Slika 4.35. Biplot grafik za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R₁ i R₂, pri čemu su praćeni kinetički parametri WL, SG, a_w i SG, kao i koncentracija minerala: Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co

Grafički prikaz trendova i efikasnost odvajanja grupa parametara na osnovu korišćenih deskriptora prikazana je na slici 4.36. gde su na grafiku prikazani uzorci korišćenjem prve dve glavne komponente, koje su dobijene iz PCA analize.

Na slici 4.36. može se videti da je izvršeno uspešno odvajanje grupa podataka za 19 uzoraka. Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 97,13% ukupne varijanse i da se to može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Promenljive FRAP (koja prikazuje 16,4% ukupne varijanse), ABTS (16,1%), DPPH (16,3%), HPMC (15,6%), MRAP (15,5%) i FC (16,6%) su bile najznačajnije za opisivanje pozitivnih doprinosa prve glavne komponente (PC1), dok su doprinosi Enterobakterija (44,1%), kvasaca i plesni (36,9%) bili najznačajniji za izračunavanje negativnih efekata druge faktorske koordinate PC2.



Slika 4.36. Biplot grafik za testirane uzorke osmotski dehidriranih listova koprive u rastvorima R_1 i R_2 , pri čemu su praćeni parametri antioksidativnog kapaciteta FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC), kao i mikrobiološki parametri (broj Enterobakterija, kvasaca i plesni)

Uticaj procesnih parametara na različite uzorke može da se oceni sa slike 4.36. na kojoj su uzorci koji imaju veće pokazatelje antioksidativnosti locirani u desnoj strani grafika. Veći broj kvasaca, plesni i Enterobakterija primećen je na donjoj strani grafika. Uticaj osmotskog tretmana na uzorke listova koprive jasno je vidljiv na osnovu praćenja PC1, pri čemu je početni (kontrolni) uzorak pozicioniran na srednjem delu grafika, a trend povećanja FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC uzoraka tretiranih u rastvoru R_2 jasno se uočava, tokom trajanja tretmana. Trend kvasaca, plesni i Enterobakterija opadajući je u odnosu na PC2 koordinatu, pri čemu se uočava da vrednosti ovih promenljivih opadaju pri porastu t i T.

4.8. Veštačke neuronske mreže

U ovom istraživanju broj skrivenih neurona je varirao od $n = 5 - 10$, što je predloženo korišćenim programom (StatSoft Statistica 10 (2012)). Bilo je $x = 3$ ulaza, $y = 22$ izlaza i $m = 221$ težinskih koeficijenata. Za modelovanje veštačkih neuronskih mreža korišćen je BFGS algoritam (Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno), koji je ugrađen u korišćeni program. Rezultati kinetičkih parametara: WL, SG, a_w , DM, koncentracije minerala (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co), pokazatelja antioksidativnosti (FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC), kao i mikrobioloških parametara (broj kvasaca, plesni i Enterobakterija) ispitivani su tokom testiranja neuronske mreže u skrivenom sloju. Na osnovu proračuna, pokazalo se da su

eksponencijalna i logistička prenosna funkcija optimalne za izračunavanje odziva. Tabela 4.36. prikazuje r^2 vrednosti za svaku od proučavanih promenljivih tokom faza učenja, testiranja i validacije.

Korišćeni višeslojni perceptron model (Multi-Layer Perceptron – MLP) su označeni u StatSoft Statistica programu na sledeći način: nakon oznake MLP sledi broj ulaza, broj neurona u skrivenom sloju, a zatim broj izlaza. Optimalni broj skrivenih neurona izabran je minimiziranjem razlika između vrednosti predviđenih mrežom i onih eksperimentalno dobijenih. Kao indikatori performanse mreža korišćene su sume r^2 i suma kvadrata odstupanja (SOS-engl. Sum of Squares), između merenih i izračunatih izlaza za svaku dobijenu ANN, tokom faza učenja, testiranja i validacije.

Performansa veštačke neuronske mreže utvrđena je na osnovu sume svih r^2 (što veća vrednost) i sume svih kvadrata odstupanja (što manja vrednost) za sve promenljive u jednoj mreži, čime je utvrđeno da je optimalni broj skrivenih neurona 8 (tabela 4.36.), pa je njena oznaka MLP 3-8-21. Vrednosti sume svih kvadrata odstupanja su takođe korišćene kao kriterijum za terminaciju iteracije mreže, što je podrazumevano u korišćenom programu. Čim suma kvadrata odstupanja počne da raste, zaustavlja se faza „učenja“ mreže, a ako do toga ne dođe ova faza se završava nakon fiksiranog broja ciklusa (*Taylor, 2006*). Primećeno je da veći broj neurona povećava kompleksnost strukture neuronskih mreža, ali značajno ne poboljšava ponašanje mreže (*Kollo i Rosen, 2005*), jer je u fazi testiranja mreža MLP 3-8-21 imala $r^2=0,973$.

Tabela 4.36. Performanse rada veštačke neuronske mreže pri predikciji promenljivih

Ime mreže	Performanse			Greška			Algor.	Funk. greške	Akt. fn. skriv.i sloj	Akt. fn. izlaz. sloj
	Tren.	Test.	Valid.	Tren.	Test.	Valid.				
MLP 3-8-21	0,973	0,886	0,883	2,4E+07	1,3E+07	4,9E+08	BFGS 40	SOS	Exponential	Logistic

4.8.1. Simulacija ANN

Osobine osmotski tretiranih uzoraka, odnosno izlazi (WL, SG, a_w , DM, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC, kvasci, plesni i Enterobakterije) mogu se izračunati korišćenjem jednačine (3.14.) na osnovu matrica W_1 i B_1 , kao i matrica W_2 i B_2 , koje predstavljaju težinske koeficijente i greške računanja vezane za skriveni sloj. Takođe, izlazi se mogu izračunati primenom prenosnih funkcija f_1 i f_2 (iz tabele 4.37.) u skrivenom i izlaznom sloju respektivno, na matricu ulaznih promenljivih X , korišćenjem iste jednačine. Algebarski sistem jednačina može se jednostavno računati u Microsoft Excel programu za predviđanje izlaza.

U Tabeli 4.37. prikazani su članovi matrice W_1 i vektora B_1 (predstavljani u "bias" redu), a u Tabelama 4.38. i 4.39. članovi W_2 i vektora B_2 ("bias") za skriveni sloj.

Tabela 4.37. Članovi matrice W_1 i vektora B_1

	1	2	3	4	5	6	7	8
Tip	-0,850	1,272	0,290	2,599	-0,302	1,035	-0,590	1,418
T	1,238	-0,644	0,171	-0,827	0,151	-0,856	-1,667	1,363
T	1,011	-0,648	-0,897	-0,098	-0,381	0,507	-0,396	0,808
Bias	-0,032	-0,421	0,128	-0,063	0,082	-0,330	1,141	-1,210

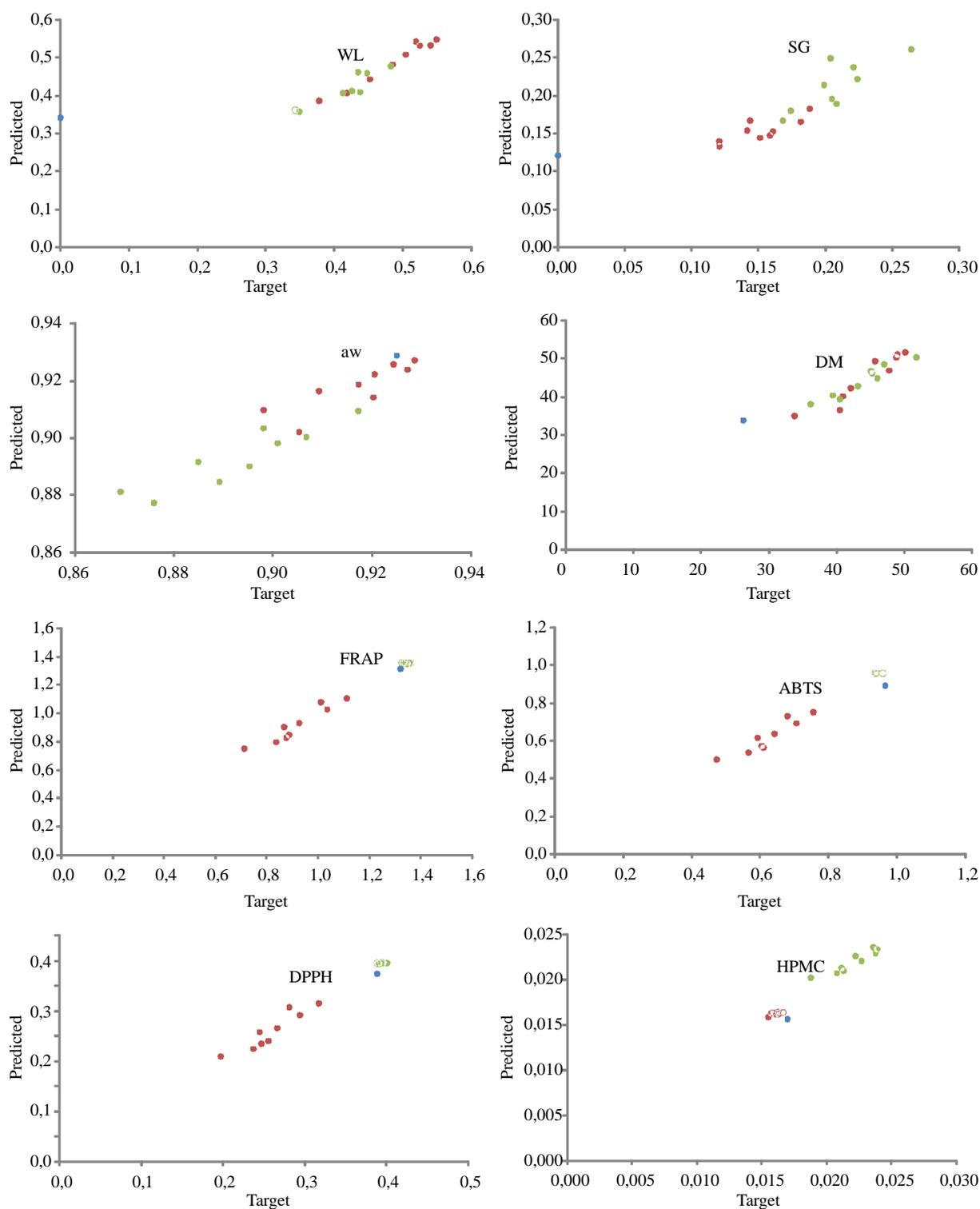
Tabela 4.38. Članovi matrice W_2 i vektora B_2 za kinetičke i antioksidativne parametre

	WL	SG	a_w	DM	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
1	0,608	-0,043	-0,011	0,641	-0,379	-0,388	-0,389	-0,398	-0,757	-0,400
2	0,323	0,330	0,022	-0,133	0,201	0,198	0,253	0,129	0,331	0,218
3	-0,036	-0,381	0,420	-0,449	-0,272	-0,229	-0,246	-0,192	-0,330	-0,244
4	-0,101	0,011	-0,175	0,138	0,680	0,693	0,689	0,120	0,084	0,737
5	0,665	-0,782	0,426	0,514	-0,691	-0,636	-0,702	-0,986	-0,751	-0,775
6	-0,537	-0,142	0,362	-0,552	0,014	-0,001	0,021	-0,338	-0,189	-0,052
7	-0,798	-0,428	0,829	-1,149	0,331	0,254	0,278	-0,116	-0,156	0,297
8	-0,102	0,427	-0,379	-0,009	0,436	0,446	0,477	0,729	0,585	0,444
Bias	0,205	0,092	0,021	0,499	-0,059	-0,050	-0,013	-0,242	-0,102	-0,123

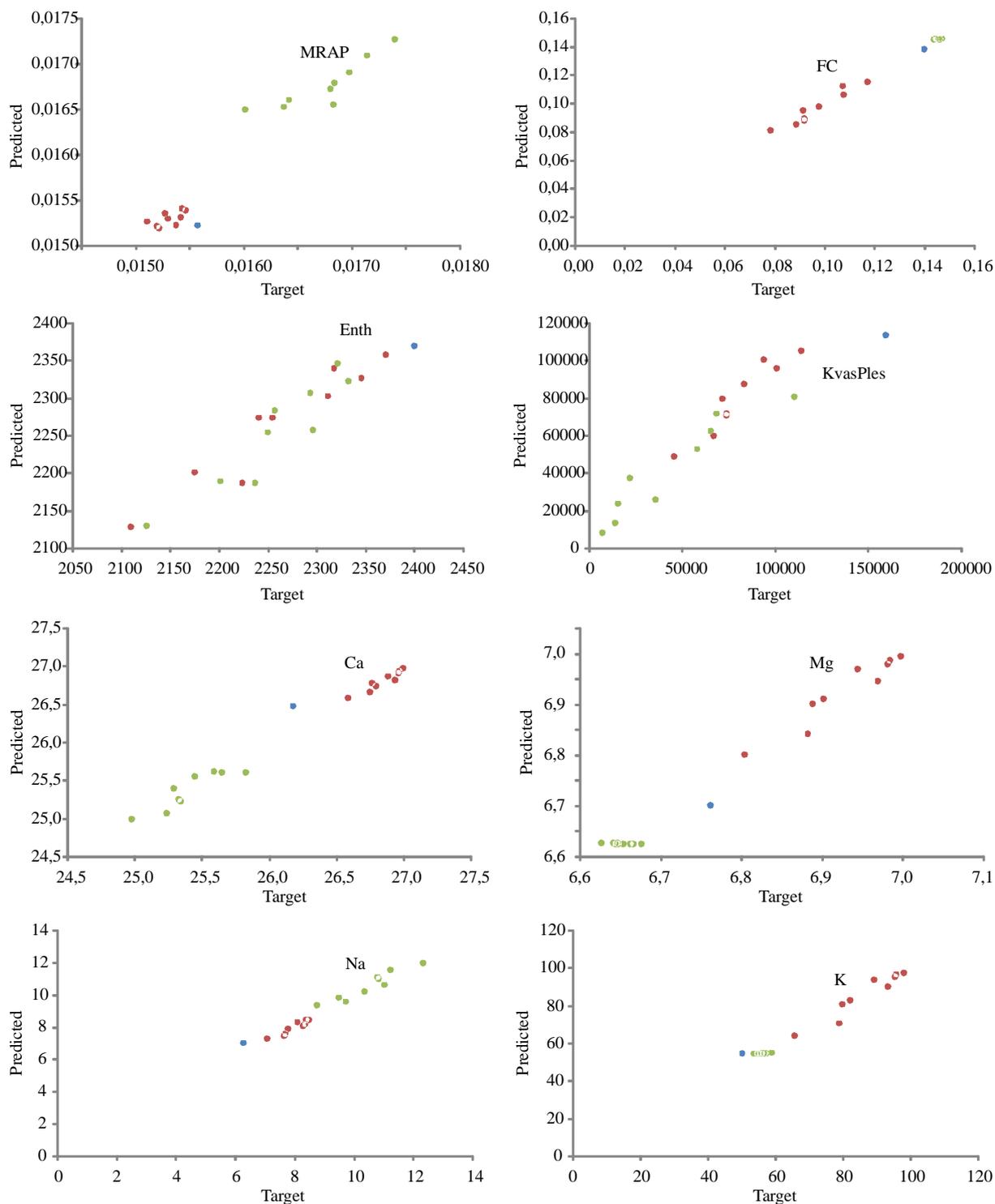
Tabela 4.39. Članovi matrice W_2 i vektora B_2 za mikrobiološke parametre i sadržaj minerala

	Enth	KvasPles	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn	Mn	Co
1	-0,327	0,026	0,641	0,700	-0,122	0,758	0,774	0,757	0,736	0,756	0,748
2	0,711	-0,031	-0,332	-0,407	0,393	-0,472	-0,438	-0,428	-0,400	-0,409	-0,390
3	0,878	0,314	0,140	0,069	-0,172	-0,023	0,021	0,032	-0,010	0,010	0,040
4	-0,137	-0,071	-0,080	-0,808	0,059	-0,854	-0,854	-0,919	-0,909	-0,883	-0,953
5	0,147	0,107	0,882	0,900	-0,523	0,720	0,800	0,780	0,814	0,773	0,793
6	0,172	0,384	0,324	0,061	-0,196	-0,025	0,014	0,071	0,076	-0,048	0,044
7	0,638	0,683	-0,096	-0,261	-0,748	-0,544	-0,447	-0,431	-0,452	-0,438	-0,449
8	-0,180	-0,443	-0,706	-0,426	0,334	-0,368	-0,536	-0,470	-0,430	-0,453	-0,456
Bias	-0,143	-0,211	0,217	0,084	0,099	0,224	0,109	0,083	0,124	0,170	0,150

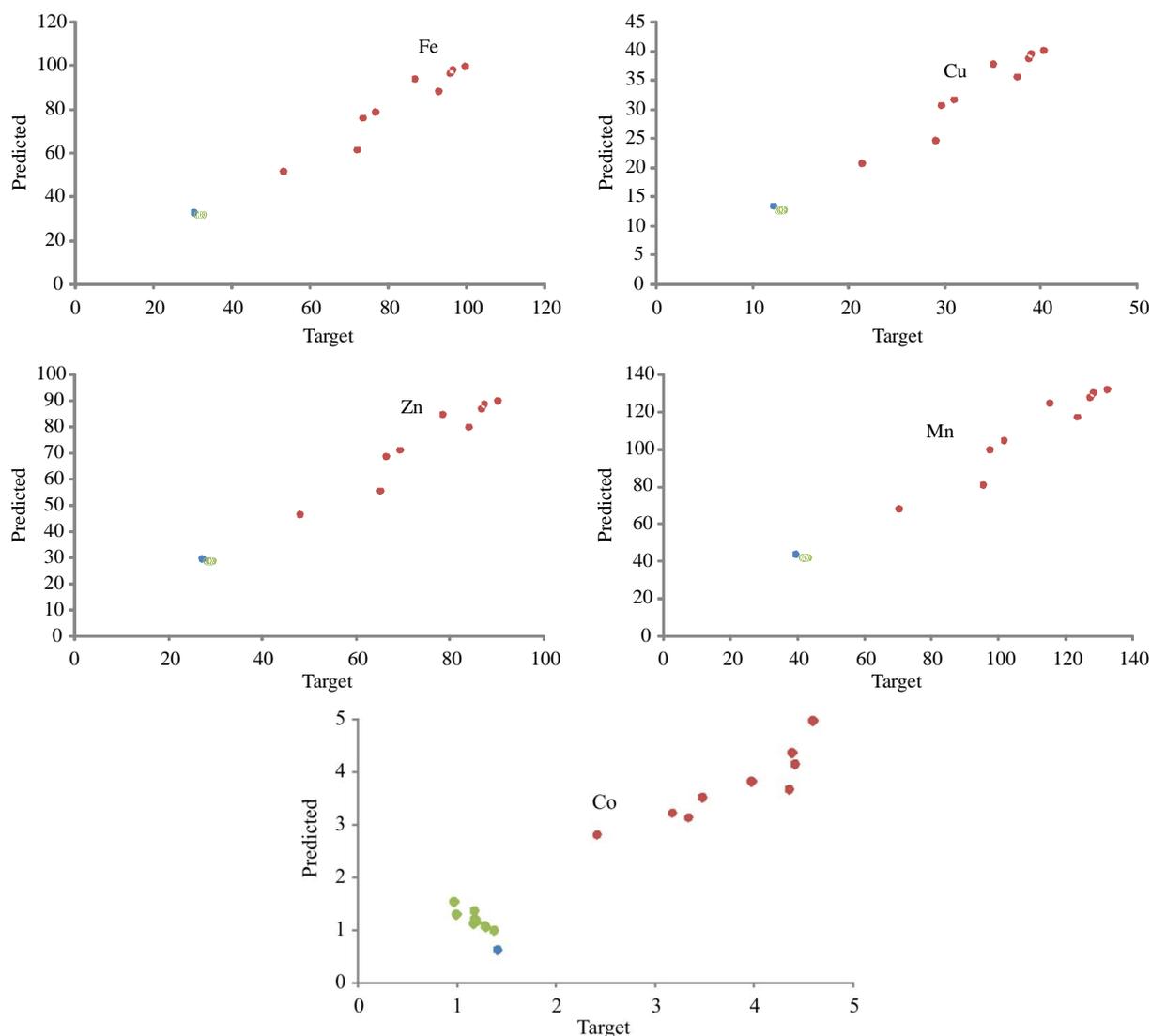
Na slikama 4.37.-4.39. prikazane su simulirane krive na kojima se porede eksperimentalne i vrednosti izračunate na osnovu najbolje mreže MLP 3-8-21. Sa slika se može zapaziti da ANN model može da se koristi za predviđanje izlaza za širok opseg vrednosti ulaza i u većini slučajeva su predviđeni rezultati bliski eksperimentalnim.



Slika 4.37. Eksperimentalno merene vrednosti i vrednosti dobijene korišćenjem ANN modela za predikciju WL, SG, a_w , DM, FRAP, ABTS, DPPH i HPMC za rastvore R_1 i R_2



Slika 4.38. Eksperimentalno merene vrednosti i vrednosti dobijene korišćenjem ANN modela za predikciju MRAP, FC, kvasaca, plesni i Enterobakterije, Ca, Mg, Na, K za rastvore R_1 i R_2



Slika 4.39. Eksperimentalno merene vrednosti i vrednosti dobijene korišćenjem ANN modela za predikciju Fe, Cu, Zn, Mn i Co za rastvore R₁ i R₂

Poređenjem r^2 vrednosti kod dobijenih SOP (tabele 4.8., 4.17., 4.22., 4.27., 4.32. i 4.35.) i ANN modela (tabela 4.40.), vidi se da su one blago niže u slučaju SOP modela. S obzirom na to da se kod ANN eksperimentalni podaci dele (podaci za učenje – 60 %, testiranje – 20 % i validaciju – 20 %), ukupna vrednost r^2 i SOS, odnosno ocena kvaliteta mreže, određuje se kao $0,6 \cdot u\check{c} + 0,2 \cdot test + 0,2 \cdot valid$, pri čemu je važnija ocena za fazu učenja (najveći deo podataka), a posmatra se i da SOS ima najnižu vrednost. Svakako, dokazano je da se obe vrste modela mogu koristiti za predviđanje izlaza. Ovaj rezultat u skladu je sa zaključcima drugih istraživanja (Charalambous, 1992; Demuth i sar., 1992; Kollo i Rosen, 2005). ANN model je kompleksniji od SOP modela (221 težinskih koeficijenata), mreže su pokazale bolje performance usled visoke nelinearnosti razvijenih sistema (Kollo i Rosen, 2005).

Srednja vrednost i standardna devijacija rezidualnih vrednosti izlaza su takođe analizirane. Srednje rezidualne vrednosti su: -0,002 za WL, -0,004 za SG, 0 za a_w , -0,396 za DM, -0,008 za FRAP, -0,007 za

ABTS, -0,002 za DPPH, 0 za HPMC, 0 za MRAP, 0 za FC, -1,141 za Enterobakterije, 8,80E+02 za kvasce i plesni, 0,032 za Ca, 0,013 za Mg, -0,068 za Na, 0,86 za K, 0,419 za Fe, 0,171 za Cu, 0,371 za Zn, 0,543 za Mn.

Ovi rezultati su pokazali dobru aproksimaciju normalne raspodele oko nule, odnosno odnosi SD i srednjih vrednosti su niske, sa verovatnoćom od 95% ($2 \cdot SD$), što znači da ANN modeli imaju dobru sposobnost generalizacije za opsege eksperimentalnih vrednosti WL, SG, a_w , DM, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC, kvasci, plesni i Enterobakterije.

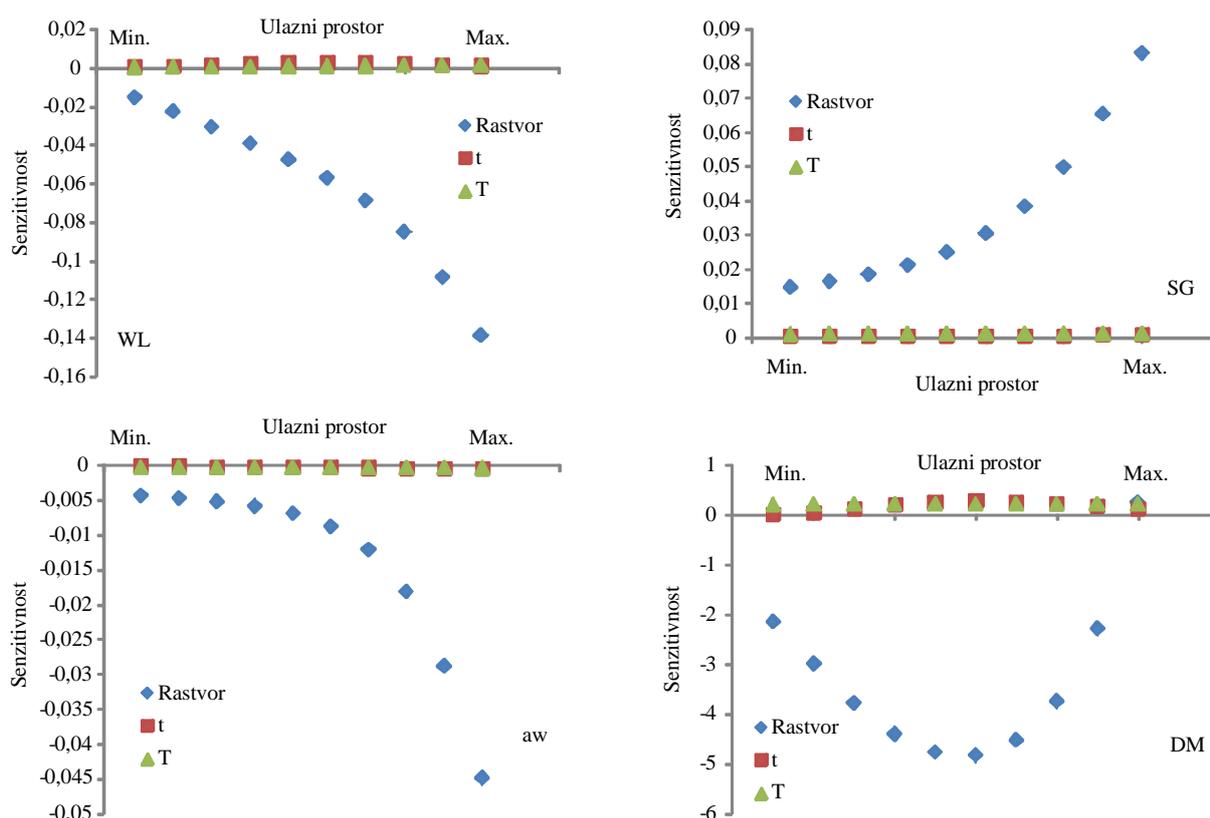
Tabela 4.40. Pokazatelji kvaliteta ANN modela i rezidualna analiza

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	Skew	Kurt	Mean	StDev	Var
WL	-0,004	0,014	-0,002	2,640	0,952	0,123	-0,038	-0,002	0,015	0,000
SG	-0,005	0,016	-0,004	7,182	0,830	-0,848	0,676	-0,004	0,016	0,000
a_w	-0,001	0,006	0,000	0,527	0,879	-0,620	-0,557	0,000	0,006	0,000
DM	-57,094	1,733	-0,375	3,258	0,891	0,575	0,776	-0,396	1,787	3,193
FRAP	-0,016	0,029	-0,007	2,224	0,985	0,028	0,046	-0,008	0,030	0,001
ABTS	-0,011	0,024	-0,007	2,679	0,983	0,246	0,216	-0,007	0,024	0,001
DPPH	-0,002	0,010	-0,002	2,412	0,982	-0,601	1,247	-0,002	0,010	0,000
HPMC	0,000	0,000	0,000	1,831	0,977	-0,858	2,177	0,000	0,001	0,000
MRAP	0,000	0,000	0,000	0,678	0,957	-1,343	3,165	0,000	0,000	0,000
FC	0,000	0,002	0,000	1,642	0,992	-0,454	0,086	0,000	0,002	0,000
Enth	-1,1E+04	23,654	-1,081	0,887	0,887	0,574	-0,729	-1,141	24,979	623,933
KvasPles-	-1,6E+099	2E+038	3E+021	4,801	0,918	1,214	3,537	8,8E+029	7E+039	3E+07
Ca	-0,139	0,086	0,031	0,250	0,988	0,140	0,376	0,032	0,084	0,007
Mg	-0,011	0,024	0,012	0,271	0,988	-0,005	-0,698	0,013	0,021	0,000
Na	-1,334	0,265	-0,064	2,325	0,968	-0,337	-0,659	-0,068	0,271	0,074
K	-142,209	2,736	0,815	2,802	0,979	0,380	2,089	0,860	2,754	7,583
Fe	-204,910	3,284	0,397	2,675	0,986	1,239	5,366	0,419	3,445	11,868
Cu	-32,954	1,317	0,162	2,654	0,986	1,233	5,259	0,171	1,381	1,907
Zn	-165,441	2,951	0,351	2,642	0,986	1,224	5,269	0,371	3,096	9,586
Mn	-366,910	4,394	0,514	2,648	0,985	1,246	5,605	0,543	4,612	21,271

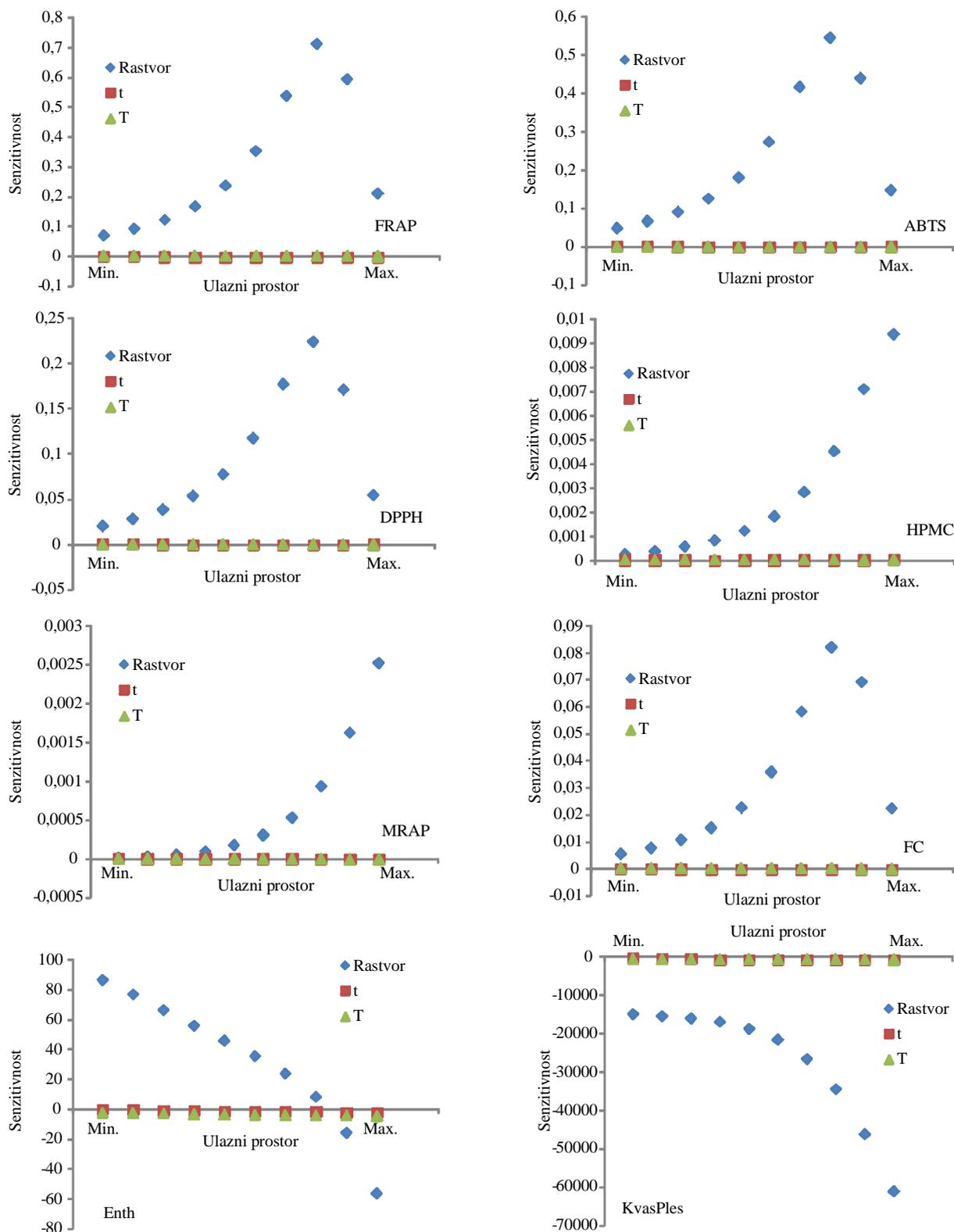
4.9. Analiza osetljivosti (Sensitivity analysis)

Analiza osetljivosti primenjena je da bi se ispitali uticaji malih promena ulaznih veličina (procesnih promenljivih) na izlazne veličine. Predstavljena analiza pokazuje da izlazi sa većom osetljivošću imaju veći odziv na male promene ulaznih veličina. Ova analiza izvodi se testiranjem infinitezimalne promene nominalne ulazne veličine u deset individualnih, jednako udaljenih tačaka ulaznog prostora, od minimalne do maksimalne vrednosti posmatrane ulazne veličine, radi ispitivanja promena izlazne veličine. Analiza osetljivosti se koristi i za ispitivanje grešaka i osetljivosti ANN modela (Pezo, *i sar.*, 2013).

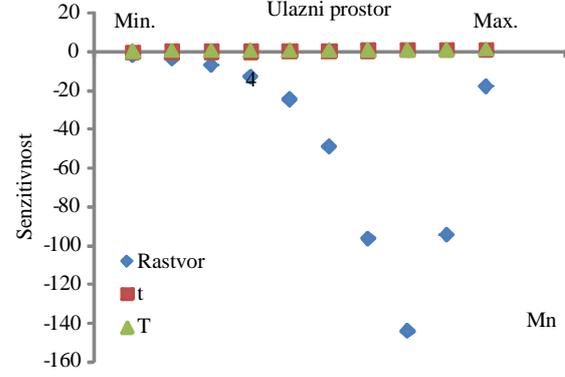
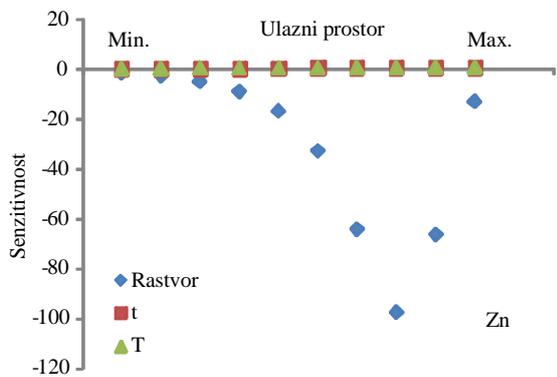
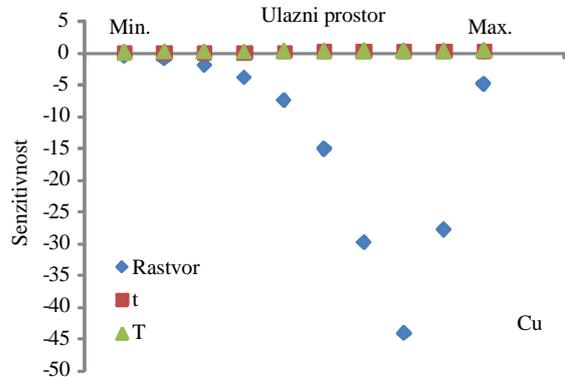
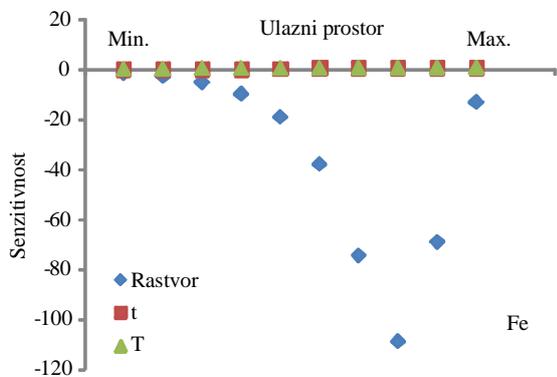
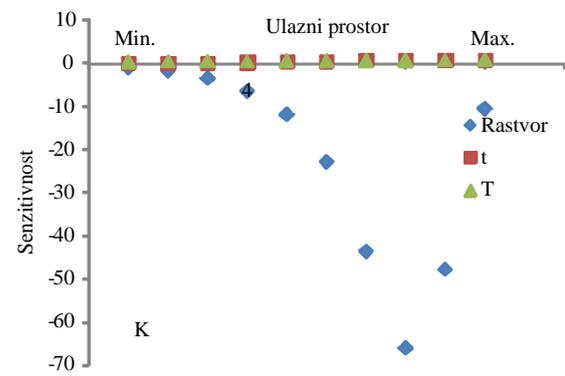
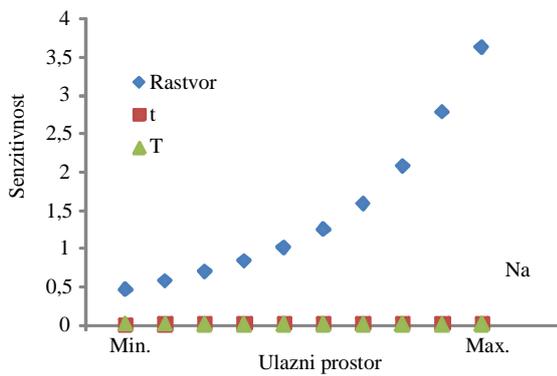
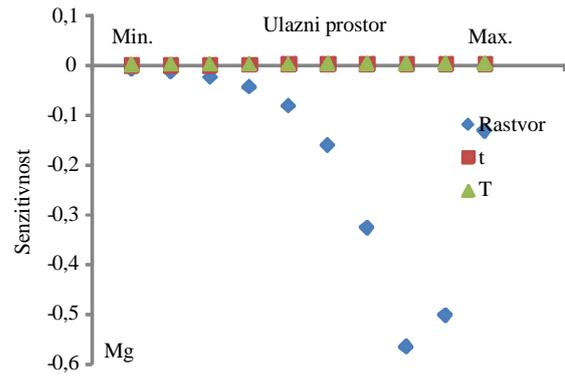
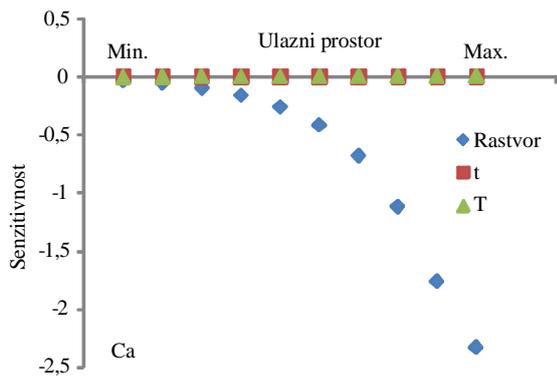
Uticaj ulaznih promenljivih na izlazne veličine je prikazan na slikama 4.40.-4.42., a ovaj grafik dobijen je računanjem promena na izlaznim veličinama, pri infinitezimalnim promenama određenih nominalnih vrednosti ulazne veličine. Dobijene vrednosti prikazuju nivo eksperimentalne greške, ali takođe prikazuju i uticaje ulaza na izlazne promenljive.

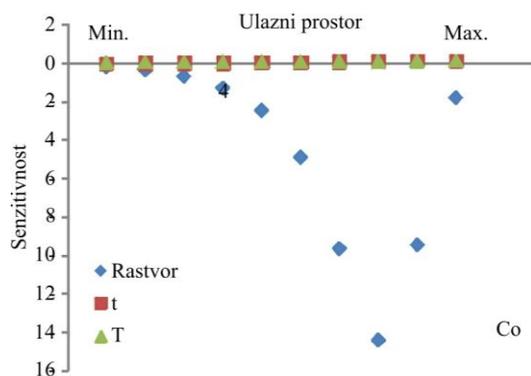


Slika 4.40. Analiza osetljivosti na male promene izlaza WL, SG, a_w i DM



Slika 4.41. Analiza osetljivosti na male promene izlaza FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP, FC, kvasci, plesni i Enterobakterije





Slika 4.42. Analiza osetljivosti na male promene izlaza Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co

Sa slika 4.40-4.42. vidi se da WL, SG, a_w , DM, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn, Mn i Co, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC, kvasci, plesni i Enterobakterije najviše zavise od vrste rastvora, što je takođe utvrđeno PCA analizom.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svih rezultata istraživanja u okviru izrade ove teze, može se zaključiti sledeće:

- Primenom procesa osmotske dehidracije povećan je gubitak vode, priraštaj suve materije i sadržaj suve materije u svim uzorcima lista koprive. Za oba osmotska rastvora, najveće vrednosti gubitka vode (WL), priraštaja suve materije (SG) i sadržaja suve materije (DM) dobijene su nakon 90 minuta procesa, pri najvišim radnim temperaturama ($t=50^{\circ}\text{C}$), iako po vrednostima rezultata, može se zaključiti da je proces najintenzivniji do 60 minuta i da se radi uštede energije može i prekinuti u tom momentu.
- Najveći gubitak vode (WL) nakon procesa osmotske dehidracije iz uzoraka lista koprive zabeležen je u melasi šećerne repe (R_2) i iznosio je: $0,541\pm 0,009$ g/g p.u.
- Najveći priraštaj suve materije (SG), nakon procesa osmotske dehidracije lista koprive, imali su uzorci dehidrirani u osmotskom rastvoru NaCl i saharoze (R_1): $0,260\pm 0,004$ g/g p.u.
- Povećanje sadržaja suve materije (DM) najveće je u uzorcima dehidriranim u rastvoru melase (R_2), $51,209\pm 0,942$ g/g p.u. lista koprive. Najniža izmerena vrednost aktivnosti vode (a_w) $0,879\pm 0,0016$, bila je u uzorcima dehidriranim u osmotskom rastvoru NaCl i saharoze (R_1), što znači da se postupkom osmotske dehidracije lista koprive može značajno ograničiti rast i razvoj većine bakterija i kvasaca, osim za neke plesni i osmofilne kvasce.
- Mikrobiološka analiza potvrdila je bezbednost osmotski tretiranih uzoraka lista koprive, kao i higijensku ispravnost procesa osmotskog tretmana u oba osmotska rastvora.
- U procesu osmotske dehidracije povećan je sadržaj Natrijuma (Na) u svim uzorcima lista koprive. Sadržaj Kalcijuma (Ca), Magnezijuma (Mg), Kalijuma (K), Gvožđa (Fe), Bakra (Cu), Cinka (Zn), Mangana (Mn) i Kobalta (Co) povećao se u uzorcima lista koprive dehidriranim u osmotskom rastvoru melase šećerne repe (R_2), dok je u uzorcima dehidriranim u osmotskom rastvoru NaCl i saharoze (R_1) smanjen sadržaj svih ovih katjona.
- Osmotskim tretiranjem lista koprive u rastvoru saharoze i natrijum hlorida (R_1) dolazi da opadanja njihove ukupne antioksidativne aktivnosti, dok se primenom melase šećerne repe (R_2) postiže povećanje antioksidativnog potencijala u tretiranim uzorcima. Može se zaključiti da melasa kao osmotski rastvor doprinosi povećanju antioksidativnosti i poboljšanju nutritivnog kvaliteta dehidriranog produkta, pre svega zbog difuzije bioaktivnih komponenti iz melase u tretirani materijal tokom procesa.

- Melasa šećerne repe (R_2), kao osmotski rastvor tokom procesa dehidratacije, doprinela je povećanju sadržaja ukupnih fenola u svim ispitivanim uzorcima, dok je rastvor saharoze i natrijum hlorida (R_1) uticao na smanjenje sadržaja ukupnih fenola u tretiranim uzorcima lista koprive.
- Sve promene (gubitak vlage, priraštaj suve materije, sadržaj suve materije, aktivnost vode, antioksidativna aktivnost i sadržaj ukupnih fenola) koje su uočene tokom osmotske dehidratacije uzoraka lista koprive, u zavisnosti od procesnih faktora (temperature i vremena), mogu se opisati regresionim polinomom drugog reda (SOP) što potvrđuju visoke vrednosti koeficijenata determinacije.
- Rezultati ANOVA testa posmatranih odziva procesa osmotske dehidratacije lista koprive u hipertoničnim rastvorima melase šećerne repe (R_1) i NaCl i saharoze (R_2) pokazali su da na vrednosti gubitka vlage (WL), priraštaj suve materije (SG), sadržaj suve materije (DM) i aktivnost vode (a_w), statistički značajno utiču oba procesna parametra: vreme i temperatura.
- Poređenjem r^2 vrednosti kod dobijenih polinoma drugog reda (SOP) i modela veštačkih neuronskih mreža (ANN) za oba osmotska rastvora (rastvor NaCl i saharoze - R_1 i rastvori melase šećerne repe - R_2) i jedan i drugi model mogu se koristiti za predviđanje izlaza. Iako su modeli veštačkih neuronskih mreža kompleksniji od modela dobijenih polinomom drugog reda, mreže su pokazale bolji učinak usled visoke nelinearnosti razvijenih sistema.
- Analizom glavnih komponenti (PCA) potvrđeno je da osmotskom dehidratacijom u rastvoru NaCl i saharoze (R_1) dolazi do povećanja WL, DM, SG i Na, a smanjuje se a_w vrednost, sadržaj minerala (Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn, Mn, Co) i antioksidativne vrednosti (ukupan broj fenola), dok u uzorcima lista koprive tretiranim u rastvori melase šećerne repe (R_2), dolazi do povećanja svih praćenih parametara, osim a_w , vrednost koje se smanjuju.
- Na osnovu rezultata klasifikacije uzoraka pokazano je da su samo uzorci osmotski tretirani u rastvoru melase šećerne repe (R_2) dali pozitivnu vrednost RACI, dok su uzorci tretirani u rastvoru NaCl i saharoze (R_1) dali negativnu vrednost RACI za sve testove. Najniže vrednosti PAC za osmotsku dehidrataciju u rastvoru melase (R_2) pripisane su uzorcima sa niskim vrednostima RACI, tj. niskog AO kapaciteta, dok su uzorci sa najnižim vrednostima RACI za osmotsku dehidrataciju u rastvoru NaCl i saharoze (R_1) imale najviše vrednosti PAC-a.
- Optimalni procesni parametri u pogledu efikasnosti procesa, kao i mikrobiološkog, nutritivnog i funkcionalnog kvaliteta dehidriranog lista koprive su vreme trajanja procesa od 60 minuta, na temperaturi od 50°C, u melasi šećerne repe (R_2) kao osmotskom rastvoru.
- U rastvoru melase šećerne repe procesom osmotske dehidratacije lista koprive može se na energetski, efikasan, ekonomičan i ekološki prihvatljiv način dobiti dehidrirani poluproizvodi poboljšanih

nutritivnih i antioksidativnih karakteristika i ono što je vrlo bitno, produžene održivosti. Dobijeni poluproizvodi otvaraju mogućnost kreiranja inovativnih prehrambenih proizvoda. Zahvaljujući navedenim osobinama, dobijeni poluproizvodi bi u znatnoj meri mogli zameniti veštačke konzervanse, aditive i antioksidante u hrani. Tako i melasa šećerne repe, koja je bogat izvor prirodnih antioksidanata i mineralnih materija, dobila bi značajniju upotrebljivost u budućnosti prehrambene industrije.

6. LITERATURA

- Abbas M., Saeed F., Anjum F.M., Afzaal M., Tufail T., Bashir S. M., Ishtiaq A., Hussain S. Suleria H.R.A. (2017): Natural polyphenols: An overview, *International Journal of Food Properties*, 20, 8, 1689–1699.
- Abdi H., Williams L. (2010): Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Computational Statistics*, 2, 433–459.
- Abonyi J., Feil B. (2007): Cluster analysis for data mining and system identification, Berlin, Germany, Birkhauser Verlag, AG.
- Adhikari B. M., Bajracharya A., Shrestha A. K. (2016): Comparison of nutritional properties of Stinging nettle (*Urtica dioica*) flour with wheat and barley flours, *Food Science and Nutrition*, 4, 1, 119–124.
- Agnelli M.E., Marani C.M., Macheloni R.H. (2005): Modelling of heat and mass transfer during (osmo) dehydrofreezing of fruits, *Journal of Food Engineering*, 69, 415-424.
- Akbay P., Basaran A., Undeger U., Basaran N. (2003): In-vitro immunomodulatory activity of flavonoid glycosides from *Urtica dioica* L., *Phytotherapy Research*, 17, 34–37.
- Almeida J., Mussi L., Oliveira D., Pereira N. (2015): Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 1061-1069.
- Alvarez C., Aguerre R., Gómez R., Vidales S., Alzamora M., Gerschenson N. (1995): Air dehydration of strawberries: Effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport, *Journal Engineering*, 25, 167-17.
- Arsenović M., Radojević Z., Stanković S., Lalić Ž., Pezo L. (2013): What to expect from heavy clay, *Ceramics International*, 39, 1667-1675.
- Asavei T., Tomut M., Bobeica M., Aogaki S., Cernaianu M.O., Ganciu M., Kar S., Manda G., Mocanu N., Neagu L., Postolache C., Savu D., Stutman D., Vizman D., Ursescu D., Gales D., Zamfir N.V. (2016): Materials in extreme environments for energy, accelerators and space applications at eli-np, *Romanian Reports in Physics*, 68, 275–347.
- Atares L., Sousa Gallagher M.J., Oliveira F.A.R. (2011): Process conditions effect on the quality of banana osmotically dehydrated, *Journal of Food Engineering*, 103, 401-408.
- Ayers S., Roschek B.J., Williams J.M., Alberte R.S. (2008): Pharmacokinetic analysis of anti-allergy and anti inflammation bioactives in a nettle (*Urtica dioica*) extract, *Journal of Pharmacology and Pharmacokinetics*, 5, 6-21.
- Ayerst G. (1969): The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. *Journal of Stored Products Research*, 5, 2, 127-141.

- Azarpazhooch E., Ramaswamy H. (2009): Evaluation of diffusion and azuara models for mass transfer kinetics during microwave-osmotic dehydration of apples under continuous flow medium-spray conditions, *Journal Drying Technology*, 1, 57-67.
- Balat M., Balat H., Öz C. (2008): Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 551-573.
- Bandmann O., Weiss K., Kaler S. (2015): Wilson's disease and other neurological copper disorders. *Lancet Neurol*, 14, 113-103.
- Basheer L.A., Hajmeer M. (2000): Artificial neural networks: Fundamentals, computing, design and application, *Journal of Microbiological Methods*, 43, 3-31.
- 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.
- Bergeron R., (1986): Iron: a controlling nutrient in proliferative processes, *Elsevier Science Publishers B.V.. Amsterdam*.
- Beristain C. I., Azuara E., Cortes R., Garcia H.S. (1990): Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 576-582.
- Biesiada A., Kucharska A., Sokół-Łętowska A. (2010): Effect of the age of plantation and harvest term on chemical composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.), *Ecological Chemistry and Engineering-Chemia*, 17, 9, 1061-1068.
- Bilen S., Soydas E., Bilen A. M. (2014): Effects of methanolic extracts of nettle (*Urtica dioica*) on non-specific immune response of gold fish (*Carassius auratus*), *Alinteri Journal Agriculture Science*, 27, 24–28.
- Biswal R.N., Le Maguer M. (1989): Mass transfer in plant material in contact with aqueous solutions of ethanol and sodium chloride: equilibrium data, *Journal of Food Process Engineering*, 11, 159-176.
- Biswal R.N., Bozorgmehr K., Tompkins F.D., Liu X. (1991): Osmotic concentration of green beans prior to freezing, *Journal of Food Science*, 56, 1008-1012.
- Bhuwan C. J., Minky M., Ajudhia N. K. (2014): Pharmacognostical review of *Urtica dioica* L, *International Journal of Green Pharmacy*, 201-209.
- Bobinaitė R., Viškelis P., Šarkinas A., Venskutonis P. R. (2013): Phytochemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of raspberry fruit, pulp, and marc extracts, *CyTA-Journal of Food*, 11, 4, 334–342.
- Bolin H.R., Huxsoll C.C., Jackson R., Ng K.C. (1983): Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality, *Journal of Food Science*, 48, 202-205.
- Borges G., Degeneve A., Mullen W., Crozier A. (2009): Identification of flavonoid and phenolic antioxidants in black currants, blueberries, raspberries, red currants, and cranberries, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 7, 3901–3909.

Bourgeois C., Leclerc É., Corbin C., Doussot J., Serrano V., Vanier R., Seigneuret J., Auguin D., Pichon C., Lainé É., Hano C. (2013): Stinging nettles leaf (*Urtica dioica* L.): Extraordinary vegetable medicine, *Journal of Herbal Medicine*, 3, 9–38.

Bourgeois C., Leclerc E., Cyrielle C., Doussot J., Serrano V., Jean-Vanier J., Seigneuret J., Auguin D., Pichon C., Lainé E. (2016): Nettle (*Urtica dioica* L.) as a source of antioxidant and anti-aging phytochemicals for cosmetic applications L'ortie (*Urtica dioica* L.), une source de produits antioxydants et phytochimiques anti-âge pour des applications en cosmétique, *Comptes Rendus Chimie*, 19, 9, 1090-1100.

Brabo de Sousa S.H., Mattietto R.A., Chistéa R.C., Carvalhob A.V. (2018): Phenolic compounds are highly correlated to the antioxidant capacity of genotypes of *Oenocarpus distichus* Mart Fruits, *Food Research International*, 108, 405–412.

Brajesh V., Terri B., Nirmal J. (2014): Antioxidant Capacity of Fresh and Dry Leaf Extracts of Sixteen *Scutellaria* Species, *Journal of Medicinally Active Plants*, 2, 3-4.

Cartea M.E., Francisco M., Soengas P., Velasco P. (2011): Phenolic Compounds in Brassica Vegetables, *Molecules*, 16, 251-280.

Cetinus E., Kilinc M., Inanc F., Kurutas E., Buzkan N. (2005): The role of *Urtica dioica* (Urticaceae) in the prevention of oxidative stress caused by tourniquet application in rats, *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 205, 215–221.

Chandani D., Gaurav S. (2015): Antioxidants: Fascinating and favourable biomolecules for humans, *Science Innovation*, 3, 6, 113-116.

Charalambous C. (1992): Conjugate gradient algorithm for efficient training of artificial neural networks, *Proceedings of the IEEE*, 139, 301–310.

Chen M., Meng H., Zhao Y., Chen F., Yu S. (2015): Antioxidant and *in vitro* anticancer activities of phenolics isolated from sugar beet molasses, *BMC Complementary and Alternative*, 15, 313.

Chenlo F., Moreira R., Fernandez-Herrer C., Vazquez, G. (2007). Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modeling, *Journal of Food Engineering* 78, 3, 765-777.

Cho M.J., Howard L.R., Prior R.L., Clarck R.J. (2004): Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1771–1782.

Collignan A., Bohuon P., Deumier F., Poligne I. (2001): Osmotic treatment of fish and meat products, *Journal of Food Engineering*, 49, 153-162.

Contreras J.E., Smyrl T.G. (1981): An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions, *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14, 310-314.

Conway J., Castaigne F., Picard G., Vovan X. (1983): Mass-transfer considerations in the osmotic dehydration of apples, *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16, 25-29.

Ćurčić B., Pezo L., Filipović V., Nićetin M., Knežević V. (2015): Osmotic treatment of fish in two different solutions-artificial neural network model, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 671-680.

Ćurčić B., Lević Lj., Filipović V., Nićetin M., Knežević V., Pezo L., Šuput D. (2012): Osmotic drying of crucian carp (*Carrassius carrassius*) using sugar beet molasses solutions, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 16, 4, 173-175.

Ćurčić B., Pezo L., Filipović V., Nićetin M., Knežević V. (2015): Osmotic treatment of fish in two different solutions-artificial neural network model, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 6, 671-680.

Ćurčić B., Pezo L., Lević Lj., Knežević V., Nićetin M., Filipović V., Kuljanin T. (2013): Osmotic dehydration of pork meat cubes: Response surface method analysis, *Acta periodica technologica*, 44, 11-19.

Dai J., Mumper R. J. (2010): Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties, *Molecules*, 15, 10, 7313–7352.

De Almeida M., Renan A. M., Da Cruz R., Rosinelson da S. P. (2016): Influence of the process parameters on osmotic dehydration of mapara (*Hypophthalmus Edentatus*) Fillet, *Journal of Food Science and Technology*, 53, 1, 676–684.

De Vico G., Guida V., Carella F. (2018): *Urtica dioica* (Stinging Nettle): A neglected plant with emerging growth promoter/immunostimulant properties for farmed fish, *Frontiers in Physiology*, doi:10.3389/fphys.2018.00285.

Delgado-Andrade C., Rufián-Henares J.A., Morales F.J. (2005): Assessing the antioxidant activity of melanoidins from coffee brews by different antioxidant methods, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 20, 7832-7836.

Demuth H., Beale M. (1992): Neural network toolbox: for use with matlab, the math-works, inc., Natick, MA, USA.

Derong L., Mengshi X., Jingjing Z., Zhuohao L., Baoshan X., Xindan L., Maozhu K.L., Qing Z., Yaowen L., Hong C., Wen Q., Hejun W., Saiyan C. (2016): An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes, *Molecules*, 21, 1374.

Dixon G.M., Jen J.J. (1977): Changes of sugars and acids of osmo-vacuum-dried apple slices, *Journal of Food Science*, 42, 1126-1127.

Djendoubi M. N., Boudhrioua M. N., Kechaou N., Courtois F., Bonazzi C. (2013): Effect of osmo-dehydration conditions on the quality attributes of pears, *Journal Food Process Technology*, 4, 8.

Đurović S., Pavlič B., Šorgić S., Popov S., Savić S., Pertonić M., Radojković M., Cvetanović A., Zoran Z. (2017): Chemical composition of stinging nettle leaves obtained by different analytical approaches, *Journal of Functional Foods*, 32, 18–26.

El Haouari M., Bnouhm M., Bendahou M., Aziz M., Ziyat A., Legssyer A., Mekhfi H. (2006): Inhibition of rat platelet aggregation by *Urtica dioica* leaves extracts, *Phytotherapy Research*, 20, 7, 568-572.

El-Aouar A.A., Azoubel M.P., Barbosa L.Jr.J., Murr F.E.X. (2006): Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica Papaya L.*), *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.

Elmoazzen H.Y., Elliott J.A.W., McGann L.E. (2009): Osmotic transport across cell membranes in nondilute solutions: a new nondilute solute transport equation, *Biophysical Journal*, 96, 7, 2559-2571.

Falade K.O., Igbeka J.C. (2007): Osmotic dehydration of tropical and vegetables, *Food Reviews International*, 23, 373-405.

Farkas D., Lazar M.G. (1969): Osmotic dehydration of apple pieces, *Food Technology*, 23, 688-690.

Fedajev A., Mihajlović V. (2009): Neuronske mreže kao metod multivarijacione analize, Studijski istraživački rad, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu.

Filipčev B. (2009): Nutritivni profil, antioksidacioni potencijal i senzorski kvalitet specijalnih vrsta hlebova sa dodatkom melase šećerne repe, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Filipčev B., Lević Lj., Bodroža-Solarov M., Mišljenović N., Koprivica G. (2010): Quality characteristics and antioxidant properties of breads supplemented with sugar beet molasses-based ingredients, *International Journal of Food Properties*, 13, 5, 1035-1053.

Filipčev B., Šimurina O., Mišljenović N., Koprivica G. (2009): Effects of osmotically dehydrated apples and plums in sugar beet molasses on dough thermomechanical properties and bread quality parameters, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 13, 2, 174-177.

Filipović V. (2013): Uticaj procesa osmotske dehidratacije na prenos mase i kvalitet mesa svinja, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Filipović V., Ćurčić B., Nićetin M., Plavšić D., Koprivica G., Mišljenović N. (2012): Mass transfer and microbiological profile of pork meat dehydrated in two different osmotic solutions, *Hemijaska industrija*, 66, 5, 743–748.

Filipović V., Lević Lj., Ćurčić B., Nićetin M., Pezo L., Mišljenović N. (2013): Optimization of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pork meat cubes in complex osmotic solution, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 20, 3, 305-314.

Filipović V., Lončar B., Nićetin M., Knežević V., Filipović I., Pezo L. (2014): Modelling counter-current osmotic dehydration process of pork meat in molasses, *Journal of Food Process Engineering*, 37, 5, 533-542.

Fito P. (1994): Modelling of vacuum osmotic dehydration of food, *Journal of Food Engineering*, 22, 313-328.

Fito P., Pastor R. (1994): Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 21, 513-519.

Gayosso De Lucio J., Bautista M., Velazquez González C., De la O Arciniega M., Morales González J.A., Benedí J. (2014): Chemical composition and hepatotoxic effect of *Geranium schiedeanum* in a thioacetamide-induced liver injury model, *Pharmacognosy Magazine*, 10, 3, 574-580.

Genskowsky E., Puente L. A., Pérez Álvarez J. A., Fernández López J., Muñoz L. A., Viuda Martos M. (2016): Determination of polyphenolic profile, antioxidant activity and antibacterial properties of maqui [*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz], a Chilean blackberry, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 4235-4242.

Gorjanović S., Alvarez Suarez J., Novaković M., Pastor F., Pezo L., Battino M., D. Sužnjević. (2013): Comparative analysis of antioxidant activity of honey of different floral sources using recently developed polarographic and various spectrophotometric assays, *Journal Of Food Composition And Analysis*, 30, 1, 13-18.

Gorjanović S., Komes D., Pastor F., Belščak Cvitanović A., Pezo L., Hećimović I., Sužnjević D. (2012): Antioxidant capacity of teas and herbal infusions: Polarographic assessment, *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 60, 9573-9580.

Gözüm S., Tezel A., Koc M. (2003): Complementary alternative treatments used by patients with cancer in eastern Turkey, *Cancer Nursing*, 26, 230-236.

Grevsen K., Frette X.C., Porskjær L. (2008): Christensen concentration and composition of flavonol glycosides and phenolic acids in aerial parts of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) are affected by nitrogen fertilization and by harvest time, *European Journal of Horticultural Science*, 73, 20-27.

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.

Guil Guerrero J. L., Reboloso Fuentes M. M., Torija Isasa M. E. (2003): Fatty acids and carotenoids from Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.), *Journal of Food Composition and Analysis*, 16, 2, 111-119.

Gülçin I., Küfrevioğlu I., Oktay M., Büyükkuroğlu M.E. (2004): Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.), *Journal of Ethnopharmacology*, 90, 205-215.

Güler R. (2013): Investigation of chemopreventive properties of *Urtica Dioica* L. in MCF-7 and MDA 231 breast cancer cell lines, *New Journal of Medicine*, 30, 1, 50-53.

Hawkes J., Flink J.M. (1978): Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 265-284.

Henao R., Winther O. (2011): Sparse linear identifiable multivariate modeling, *Journal of Machine Learning Research*, 12, 863-905.

Hodžić Z., Pasalić H., Memisević A., Srabović M., Saletović M., Poljaković M. (2009): The influence of total phenols content on antioxidant capacity in the whole grain extracts, *European Journal of Scientific Research*, 28, 3, 471-477.

<http://virtual-chem.blogspot.com/2013/06/osmoza.html>

<http://www.koval.hr/blageky/ljekovite%20biljke/kopriva.html>

<http://www.mebofarms.com/molasses/>

<http://www.vivateka.com/kopriva-leci-nesanicu-zuc-umor/>

<https://pdfs.semanticscholar.org/750c/4e6e90ca5cc77a68299111bb263b8ed841f9.pdf>

<https://www.instrukcije-poduka.com/plazmoliza-i-deplazmoliza.html>

<https://www.shtreber.com/celija-osnovna-jedinica-gradje-zivihorganizama>

Hussain I., Iqbal M., Arub N. (2004): Effect of sucrose and glucose mixture on the quality characteristics of osmotically dehydrated banana slices, *Pakistan Journal of Nutrition*, 46, 83-92.

Islam M.N., Flink J.N. (1982). Dehydration of potato 2: Osmotic concentration and its effect on air drying behavior, *Journal of Food Technology*, 17, 387-403.

Joe F. H., Sarstedt M., Ringle C., Mena J. (2012): An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 40, 414-433.

Jolić N. (2017): Antioksidacijska aktivnost fenola: Interakcija derivata hidroksibenzojeve kiseline, *Završni rad*, Hemijsko-Tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Karić M. (2014): Istraživanje novih modela simulacije procesa konzerviranja voća sušenjem, Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

Katalinić V., Miloš M., Kulišić T., Jukić M. (2006): Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant activity and total phenols, *Food Chemistry*, 94, 550-557.

Kausalya P.J., Amasheh S., Günzel D. (2006): Disease-associated mutations affect intracellular traffic and paracellular Mg²⁺ transport function of Claudin-16, *Journal of Clinical Investigation*, 116, 4, 878-891.

Ketchen D., Shook C. (1996): The application of cluster analysis in strategic management research: an analysis and critique, *Strategic Management Journal*, 17, 441-458.

Khin M.M., Zhou W.B., Perera C. (2005): Development in the combined treatment of coating and osmotic dehydration of food, *International Journal of Food Engineering*, 1, 1, 1-19.

- Kleijnen J.P.C. (2008): Design and analysis of simulation experiments, International Series in Operations Research and Management Science, Springer, Berlin.
- Knežević V., Ćurčić B., Filipović V., Nićetin M., Lević Lj., Kuljanin T., Gubić J. (2013): Influence of osmotic dehydration on colour and texture of pork meat, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 17, 1, 39-42.
- Kodama H., Fujisawa C. (2007): Copper Metabolism and copper transport disorders, *Biomedical Research on Trace Elements* 18, 254-249.
- Kolarovic J., Popovic M., Zlinská M., Trivic S., Vojnović M. (2010): Antioxidant activities of celery and parsley juices in rats treated with doxorubicin, *Molecules*, 15, 9, 6193-6204.
- Kollo T., Rosen D. (2005): Advanced multivariate statistics with matrices, In: Mathematics and its applications, 579, Springer, Netherlands.
- Kopjar M., Piližota V., Hribarand J., Simčić M. (2009): Total phenol content and antioxidant activity of water solutions of plant extracts, *Journal of Food Science and Technology*, 1, 1, 1-7.
- Koprivica G. (2013): Nutritivni profil i senzorski kvalitet voća i povrća osmotski dehidriranog u melasi šećerne repe i rastvorima saharoze, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Koprivica G., Mišljenović N., Lević Lj, Pezo L., Ćurčić B., Kuljanin T., Knežević V. (2013): Osmotic dehydration of carrot cubes in the solution of sugar beet molasses-kinetics model, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 17, 2, 80-85.
- Koprivica G., Pezo L., Ćurčić B., Lević Lj., Šuput D. (2014): Optimization of osmotic dehydration of apples in sugar beet molasses, *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 4, 1705-1715.
- Krokida M., Kiranoudis C., Maroulis Z., Marinos Kouris D. (2000): Effect of pretreatment on color of dehydrated products, *Drying Technology*, 18, 6, 1239-1250.
- Krulj J. (2018): Potencijal biosinteze aflatoksina b₁ u različitim vrstama *Triticum* spp., Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Krokida M.K., Marinos Kouris D. (2003): Rehydration kinetics of dehydrated products, *Journal of Food Engineering*, 57, 1, 1-7.
- Kurutas E.B. (2016): The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: current state, *Nutrition Journal*, 15, 71.
- Kuzelov A. (2012): Analysis of change in the parameters of the maturation os sremski sausage with previously given technical characteristics of the chamber, *Journal of Engineering and Processing Management*, 4, 1, 235.

Landim A.P.M., Barbosa M. I. M. J., Barbosa J.J.L. (2016): Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruit and vegetables: a review, *Ciencia Rural*, 46, 1714-1722.

Lauchli, A. (1976): Apoplasmic transport in tissues. Luttge U.U., Pitman M. (Eds.), *Encyclopedia of plant physiology, transport in plants II, part B, Tissues and Organs*.

Lazarides H.N. (1994): Osmotic dehydration: developments and prospects. Singh U.R.P., Oliveira F. (Eds.), *Minimal processing and process optimization of foods: An Interface-CRC Press*, Boca Raton, FL, 73.

Lazarides H.N. (2001): Reasons and possibilities to control solid uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. Fito U.P., Chiralt A., Barat J.M., Spiess W.E., Behnilian D. (Eds.), *Osmotic dehydration & vacuum impregnation*. Pennsylvania, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.

Le Maguer M. (1988): Osmotic dehydration: review and future directions. Proceedings of international symposium on Progress in food preservation organized by CERIA, *Centre of Education and Research on Food and Chemical Industries*, Brussels, Belgium, April 12.–14.

Le Maguer M. (1996): Mass transfer modeling in structured foods, in Barbosa Cánovas G., Fito P., Ortega Rodriguez E. (Eds.), *Food Engineering 2000*, Chapman and Hall, New York, 253-270.

Le Maguer M., Shi J., Fernandez C. (2003): Characterization of mass transfer behaviour of plant tissues during osmotic dehydration, *Food Science and Technology International* 9, 187.

Lee K. T. , Farid M., Nguang S. K. (2006): The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits, *Journal of Food Engineering*, 72, 1, 16-23.

Legssyer A., Ziyat A., Mekhfi H., Bnouham M., Tahri A., Serhrouchni M., Hoerter J., Fischmeister R. (2002): Cardiovascular effects of *Urtica dioica* L. in isolated rat heart and aorta, *Phytotherapy Research*, 16, 6, 503-507.

Lemus Mondaca R., Miranda M., Grau A.A., Briones V., Villalobos R., Vega Galvez A. (2009): Effect of osmotic pretreatment on hot air drying kinetics and quality of Chilean Papaya, *Drying Technology*, 27, 10, 1105-1115.

Lenart A., Flink J.M. (1984): Osmotic concentration of potato, 1. criteria for the endpoint of the osmotic process, *Journal of Food Technology*, 19, 1, 45-63.

Lenart A., Lewicki P.P. (1987): Kinetics of osmotic dehydration of the plant tissue. In: Mujumdar A.S., (Ed.): *Drying '8*, Hemisphere Publisher, New York, 239-248.

Lerici C.R., Pinnavaia G., Rosa M.D., Bartolucci L. (1985): Osmotic dehydration of fruit influence of osmotic agents on drying behavior and product quality, *Journal of Food Science*, 50, 1217-1219.

Lević Lj., Mišljenović N., Koprivica G., Kuljanin T., Jevrić L. (2009): Nova proizvodna linija za osmotsku dehidraciju voća i povrća. Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Tehničko rešenje.

Lewicki P.P., Lenart A. (2006): Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In: Mujumdar A.S. (Ed.), *Handbook of Industrial Drying*. Taylor & Francis Group, LLC.

Lewicki P.P., Porzecka Pawlak R. (2005): Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure, *Journal of Food Engineering*, 66, 43-50.

Lewicki P.P., Lenart A. (1992): Energy consumption during osmoconvection drying of fruits and vegetables. In: Mujumdar A.S. (Ed.), *Drying of Solids*, International Scientific Publication, 354.

Loganayaki N., Siddhuraju P., Manian S. (2013): Antioxidant activity and free radical scavenging capacity of phenolic extracts from *Helicteresisora* L. and *Ceiba pentandra* L., *Journal of Food Science and Technology*, 50, 4, 687-695.

Lončar B. (2015): Hemometrijski pristup analizi osmotske dehidracije srebrnog karaša (*Carassius gibelio*), *Doktorska disertacija*, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

MacPherson A., Dixon J. (2003): Cobalt,. In: Caballero B., Finglas P., Toldr F.(Eds.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, Academic Press.

Madhulatha S.T. (2012): An overview on clustering methods, *Journal of Engineering*, 2, 4, 719-725.

Magee T.R.A., Hassaballah A.A., Murphy W.R. (1983): Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions, *Irish Journal of Food Science and Technology*, 7, 147-155.

Maldonado S., Arnau E., Bertuzzi M.A. (2010): Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes, *Journal of Food Engineering*, 96, 3, 333-341.

Malešević Krimer V. (2016): Fenolni potencijal uljanih pogača, *Doktorska disertacija*, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Mandala I.G., Anagnostaras E.F., Oikonomou C.K. (2005): Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics, *Journal of Food Engineering*, 69, 3, 307-316.

Marcotte M., Le Maguer M. (1991): Repartition of water in plant tissues subjected to osmotic processes, *Journal of Food Process Engineering*, 13, 297-320.

Marinkić M., Barbarić I., (2014): Posebnosti Wilsonove bolesti u djece, *Medicina Fluminensis*, 50, 53-47.

Mastrocola D., Sacchetti G., Pittia P., Di Mattia C., Dalla Rosa M. (2005): Rehydration of dried fruit pieces in aqueous sugar solutions: A review on mass transfer and final product characteristics, *Italian Journal of Food Science*, 17, 3, 243-254.

Mavroudis N.E., Gekas V., Sjöholm I. (1998): Osmotic dehydration of apple-effects of agitation and raw material characteristics, *Journal of Food Engineering*, 35, 191-209.

Mayers R.H., Montgomery D.C. (2002): Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments, Wiley - Interscience.

McMacken M., Sapan S. (2018): A plant-based diet for the prevention and treatment of type 2 diabetes, *Journal of Geriatric Cardiology*, 342–354.

Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. (2014): Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment, *Molecules*, 19, 16240-16265.

Mišljenović N., Koprivica G., Jevrić L., Lević Lj. (2011): Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses, *Romanian Biotechnological Letters*, 16, 6, 6790-6799.

Mišljenović N., Koprivica G., Pezo L., Ćurčić B., Filipović V., Kuljanin T., Lević Lj. (2012): Optimization of osmotic dehydration of apple in sugar beet molasses, 6th Central European Congress on Food, CEFood 2012, 23-26 May, Novi Sad, Serbia, 732-737.

Mišljenović N., Koprivica G., Pezo L., Kuljanin T., Bodroža Solarov M., Filipčev B. (2011): Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of apple in sugar beet molasses, *Acta Periodica Technologica*, 42, 91-100.

Mišljenović N., Koprivica G., Pezo L., Lević Lj., Ćurčić B., Filipović V., Nićetin M. (2012): Optimization of the osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses, *Thermal Science*, 16, 1, 43-52.

Mišljenović, N. (2012): Osmotska dehidracija u melasi šećerne repe i rastvorima saharoze kao energetski efikasan i ekološki prihvatljiv tehnološki postupak povećanja održivosti voća i povrća. Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Nagendran B., Kalyana S., Samir S. (2006): Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses, *Food Chemistry*, 99, 191–203.

Nelson S.O., Datta A.K. (2001): Dielectric properties of food materials and electric field interactions. In: Datta A.K., Anantheswaran R.C. (Eds.): Handbook of Microwave Technology for Food Applications, *Marcel Dekker, New York*, 9-114.

Nićetin M., Filipović V., Ćurčić B., Pezo L., Knežević V., Gubić J., Kuljanin T. (2012): The influence of different osmotic solutions on nutritive profile during osmotic dehydration of pork, XV International Feed Technology Symposium "Feed-to-Food"/Cost Feed for Health Joint Workshop, Novi Sad, University of Novi Sad, Institute of Food Technology, Proceedings, ISBN 978-86-7994-032-2, UDC:338.439.4(082)663/664(082), 203-208.

Nićetin M., Ćurčić B., Filipović V., Knežević V., Kuljanin T., Pezo L. (2013): The nutritional value of osmodehydrated pork influenced by chemical characteristics of different osmotic solutions, Third international conference sustainable postharvest and food technologies, inoptep, Vrnjačka Banja, Srbija, 340.

Nićetin M., Filipović V., Ćurčić B., Pezo L., Knežević V., Gubić J., Kuljanin T. (2012): The influence of different osmotic solutions on nutritive profile during osmotic dehydration of pork, XV International Feed Technology Symposium "Feed-to-Food"/Cost Feed for Health Joint Workshop, University of Novi Sad, Institute of Food Technology, Proceedings, 203-208.

Nićetin M., Pezo L., Lončar B., Filipović V., Kuljanin T., Knežević V., Šuput D. (2014): Mass transfer kinetics and efficiency of osmotic dehydration of celery leaves, *Journal on processing and energy in agriculture*, 18, 3, 137-139.

Nićetin M. (2017): Efekti osmotske dehidracije na poboljšanje održivosti, nutritivna i antioksidativna svojstva korena i lista celera (*Apium graveolens*). Doktorska disertacija. Tehnološki fakultet, Novi Sad.

NMKL-168-Water activity. Instrumental Determination by Novasina Electronic Hygrometar and Aqua-Lab Dew Point Instrument. (NMKL-168, 2001)

Nourani V., Fard M.S. (2012): Sensitivity analysis of the artificial neural network outputs in simulation of the evaporation process at different climatologic regimes, *Advances in Engineering Software*, 47, 127-146.

Olbrich H. (1963): The molasses. Berlin: Fermentation Technologist, Institut für Zuckerindustrie, Berlin (Germany).

Orčić D., Francšković M., Bekvalac K., Svirčev E., Beara I., Lesjak M. (2014): Quantitative determination of plant phenolics in *Urtica dioica* extracts by high-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometric detection, *Food Chemistry*, 143, 48-53.

Otles S., Yalcin B. (2012): Phenolic compounds analysis of root, stalk and leaves of nettle, *The Scientific World Journal*, 12 pages.

Özcan M., Ünver A., Uçar T., Arslan D. (2008): Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction, *Food Chemistry*, 106, 3, 1120–1127.

Panagiotou N.M., Karathanos V.T., Maroulis Z. (1999): Effect of osmotic agents on osmotic dehydration of fruits, *Drying Technology*, 17, 175-189.

Pavkov I. (2012): Kombinovana tehnologija sušenja voćnog tkiva, Doktorska disertacija Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

Pavlović M. (2015): Izolovanje bioaktivnih jedinjenja iz otpadne kafe i njeno potpuno iskorišćenje kao adsorbenta, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet.

Peters T., Iberg R. (1978): Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays, *Ceramic Bulletin*, 57, 503-509.

Petriccione M., Mastrobuoni F., Pasquariello M.S. (2015): Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. Barringer S, (Ed.). *Foods*, 4, 4, 501-523.

Petrović M. (2011): Osnovi veštačkih neuronskih mreža i značaj njihove primene, *Zbornik radova*, 20, 47-55.

Pezo L., Ćurčić B., Filipović V., Nićetin M., Koprivica G., Mišljenović N., Lević Lj. (2013): Artificial neural network model of pork meat cubes osmotic dehydration, *Hemijska industrija*, 67, 3, 465-475.

Pezo L., Ćurčić B., Filipović V., Nićetin M., Koprivica G., Mišljenović N., Lević LJ. (2013): Artificial neural network model of pork meat cubes osmotic dehydration, *Hemijska industrija*, 67, 3, 465-475.

Phisut N. (2012): Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits, *International Food Research Journal*, 19, 1, 7-18.

Pinelli P., Ieri I., Vignolini P., Bacci L., Baronti S., Romani A. (2008): Extraction and HPLC analysis of phenolic compounds in leaves, stalks, and textile fibers of *Urtica dioica* L., *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 19, 9127–9132.

Pitt, J.I., Miscamble, B.F. (1995): Water relations of *Aspergillus flavus* and closely related species, *Journal of Food Protection*, 58, 1, 86-90.

Ponting J. D. (1973): Osmotic dehydration of fruits, recent modifications and applications, *Process Biochemistry*, 8, 18-20.

Ponting J.D., Walters G.G., Forrey R.R., Jackson R., Stanley W.L. (1966): Osmotic dehydration of fruits, *Food Technology*, 20, 125-128.

Potter N. N., Hotchkiss J. H. (1998): Food Science, Gaithersburg, Maryland: *Aspen Publishers, Inc.*

Prasad A., Miale A., Farid Z., Sandstead H., Schulert A.R. (1963): Zinc metabolism in patients with the syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, dwarfism, and hypogonadism, *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 61, 537-49.

Prior R.L., Cao G. (2000): Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: diet and health implications, *Horticultural Sciences*, 35, 588–592

Qadir M.A., Shahzadi S.K., Bashir A., Munir A., Shahzad S. (2017): Evaluation of Phenolic Compounds and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Some Common Herbs. *International Journal of Analytical Chemistry*, doi: 10.1155/2017/3475738.

Qi H., Le Maguer M., Sharma S.K. (1998): Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots, *Journal of Food Process Engineering*, 21, 75-88.

- Radojčin M., Babić M., Babić Lj., Pavkov I., Stamenković Z. (2013): Uticaj različitih predtretmana na boju sušene kruške, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 17, 4, 176-179.
- Radojčin M. (2015): Uticaj osmotskog i konvektivnog sušenja na fizičke osobine dunje (*Cydonia oblonga Mill.*). Doktorska disertacija, Poljoprredni fakultet, Novi Sad.
- Rahman M.S. (2007): Osmotic dehydration of foods. In: Rahman M.S. (Ed.): *Handbook of Food Preservation*, CRC Press.
- Rahman M.S., Lamb J. (1990): Osmotic dehydration of pineapple, *Journal of Food Science and Technology*, 27, 150-152.
- Raoult Wack A.L. (1994): Recent advances in the osmotic dehydration of foods, *Food Science and Technology*, 5, 255-260.
- Rastogi N.K., Raghavarao K.S., Niranjana K., Knorr D. (2002): Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer, *Food Science and Technology*, 13, 2, 48-59.
- Rayburn K., Fleischbein E., Song J. (2009): Stinging nettle cream for osteoarthritis, *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 15, 4, 60-66.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. (1999): Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorisation assay, *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
- Renhua H., Renxue X., Liming H., Yunmei L., Mingyuan W. (2007): Antioxidant activity and oxygen-scavenging system in orange pulp during fruit ripening and maturation, *Scientia Horticulturae*, 113, 166-172.
- Riva M., Campolongo S., Leva A., Maestrelli A., Torreggiani D. (2005): Structure property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes, *Food Research International*, 38, 5, 533-542.
- Roohani N., Hurrell R., Kelishadi R., Schulin R. (2013): Zinc and its importance for human health: An integrative review, *Journal of Research in Medical Sciences*, 18, 2, 144-57.
- Roschek B., Fink R., McMichael M. (2009): Nettle extract (*Urtica dioica*) affects key receptors and enzymes associated with allergic rhinitis, *Phytotherapy Research*, 23, 7, 920-926.
- Rutto L., Xu Y., Ramirez E., Brandt M. (2013): Mineral properties and dietary value of raw and processed stinging nettle (*Urtica dioica L.*), *International Journal of Food Science*, 2013, 9.
- Sadeghpour S., Dabir B. (2015): Three-factor response surface optimization of nano-emulsion formation using a microfluidizer, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 5, 2558-2571.
- Šarić Lj., Filipčev B., Šimurina O., Plavšić D., Šarić B., Lazarević J., Milovanović I. (2016): Sugar beet molasses: properties and applications in osmotic dehydration of fruits and vegetables, *Food and Feed Research*, 43, 2, 135-144.

- Saurel R., Raoult Wack A., Rios G., Guilbert S. (1994): Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*, 29, 531-537.
- Semih O., Buket Y. (2012): Phenolic compounds analysis of root, stalk, and leaves of nettle, *The Scientific World Journal*, 1041, 1, 11–18.
- Sharma K., Sethi V., Maini S. (1998): Osmotic dehydration in apple: influence of variety, location and treatment on mass transfer and quality of dried rings, *Acta alimentaria (Budapest)*, 27, 3, 245-256.
- Shi J., Xue J.S. (2009): Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. In: Ratti C. (Ed): *Advances in food dehydration*. CRC Press. USA.
- Shi J., Le Maguer M. (2002): Osmotic dehydration of foods: mass transfer and modelling aspects, *Food Reviews International*, 28, 305-335.
- Shiow W., Chi Tsun C., William S., Chien W., Mary C. (2008): Fruit quality, antioxidant capacity, and flavonoid content of organically and conventionally grown blueberries, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, DOI:10.1021/jf703775r.
- Singh A., Lal U.R., Mukhtar H.M., Singh P.S, Shah G., Dhawan R.K. (2015): Phytochemical profile of sugarcane and its potential health aspects, *Pharmacognosy Reviews*, 9,17, 45-54.
- Singleton V., Orthofer R., Lamuela-Raventos R. (1999): Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent, *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Spanswick R.M. (1976): Symplasmic transport in tissues. In: Luttge U., Pitman M.G. (Eds.): *Encyclopedia of Plant Physiology*, 2. Transport in Plants II, Part B. Tissues and Organs. Berlin: Springer Verlag, 35.
- Stanojević Lj., Zdravković A., Stanković M., Cakić M., Nikolić V., Ilić D. (2013): Antioksidativna aktivnost vodeno-etanolnih ekstrakata iz lista koprive (*Urtica dioica* L.), *Savremene tehnologije*, 2, 1, 51-59.
- STATISTICA (2010): (Data Analysis Software System), v.10.0 Stat-Soft, Inc, USA (www. statsoft.com).
- Šućur J. (2015): Biopesticidna aktivnost ekstrakata odabranih biljnih vrsta porodice Lamiaceae, Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Sun T., Tanumihardjo S.A. (2007): An integrated approach to evaluate food antioxidant capacity, *Journal of Food Science*, 72, 159–165.
- Sunjka P.S., Raghavan G.S.V. (2004): Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries, *Canadian Biosystems Engineering*, 46.
- Šuput D., Lazić V., P., Lončar B., Filipović V., Nićetin M., Knežević V. (2014): Effects of temperature and immersion time on diffusion of moisture and minerals during rehydration of osmotically treated pork meat cubes, *Hemijska industrija*, 53, 3, 260-270.

- Šuput D., Lazić V., Pezo L., Lević Lj., Gubić J., Hromiš N., Šojić B. (2013): Modified atmosphere packaging and osmotic dehydration effect on pork quality and stability, *Romanian Biotechnological Letters*, 18, 2, 8160-8169.
- Šušić S., Kukić G., Sinobad V., Perunović P., Koronovac B., Bašić Đ. (1995): Osnovi tehnologije šećera, Industrija šećera Jugoslavije „Jugošećer“ D. D., Beograd.
- Šušić S., Sinobad V. (1989): Istraživanja u cilju unapređenja industrije šećera Jugoslavije, *Hemijska industrija*, 43, 10-21.
- Šušić S.K., Guralj E. M. (1965): Osnovi tehnologije šećera, *Naučna knjiga*, Beograd, 548.
- Sužnjević D.Ž., Pastor F.T., Gorjanović S.Ž. (2011): Polarographic study of hydrogen peroxide anodic current and its application to antioxidant activity determination, *Talanta*, 85, 3, 1398-1403.
- Sužnjević D., Pastor F., Gorjanović S. (2015): DC polarographic examination of Hg²⁺ reduction applicability to antioxidant activity determination, *Electrochimica Acta*, 168, 240-245.
- Swaminathan S. (2003): Trace elements, toxic metals, and metalloids in kidney disease, water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes, *Journal of Food Engineering*, 96, 3, 333-341
- Szentmihályi K., Vinkler P., Fodor J., Balla J. (2006): The role of manganese in the human organism, *Orvosi Hetilap*, 147, 42, 2027-2030.
- Tahri A., Yamani S., Legssyer A., Aziz M., Mekhfi H., Bnou Ham M., Ziyat A. (2000): Acute diuretic, natriuretic and hypotensive effects of a continuous perfusion of aqueous extract of *Urtica dioica* in the rat, *Journal Ethnopharmacol*, 73, 1-2, 95-100.
- Taylor B.J. (2006): Methods and procedures for the verification and validation of artificial neural networks, Springer Science, Business Media, Inc., USA.
- Taylor K. (2009): Biological flora of the British Isles: *Urtica dioica* L., *Journal of Ecology*, 97, 6, 1436–1458.
- Taylor B.J. (2006): Methods and procedures for the verification and validation of artificial neural networks, Springer Science, Business Media, Inc., USA.
- Tizio A., Łuczaj L., Quave C., Redzic S., Pieroni A. (2012): Traditional food and herbal uses of wild plants in the ancient South-Slavic diaspora of Mundimit ar/Montemitro (Southern Italy), *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8, 21.
- Tonon R., Baroni A., Hubinger M. (2007): Osmotic dehydration of tomato in ternary solution: influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids, *Journal of Food Engineering*, 82, 509-517.
- Torreggiani D. (1993): Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, *Food Research International*, 26, 59-68

- Tortoe C. (2010): A review of osmodehydration for food industry, *African Journal of Food Science*, 4, 303-324.
- Trajković A. (2013): Biološki značaj metala u nastavnim temama iz neorganske hemije, Master rad, Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za Hemiju, Niš.
- Trelea I.C., Raoult Wack A.L., Trzstram G. (1997): Application of neural network modeling for the control of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration), *Food Science and Technology International*, 3, 459-465.
- Tschegg C., Ntaflos T., Hein I. (2009): Thermally triggered two-stage reaction of carbonats and clay during ceramic firing- A case study on Bronye Age Cypriot ceramics, *Applied Clay Science*, 43, 69-78.
- Upton R. (R.H. DAyu) (2013): Stinging nettles leaf (*Urtica dioica* L.): Extraordinary vegetable medicine, *Journal of hebal medicine*, 3, 9-38.
- Urle U., Schubert H. (2001): Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. Food Preservation Technology Series: Osmotic dehydration and Vacuum Impregnation, Chapter 18.
- Valli V., Gomez Caravaca A.M., Di Nunzio M., Danesi F., Fiorenza M., Bordoni A. (2012): Sugar cane and sugar beet molasses, antioxidant-rich alternatives to refined sugar, *Journal Agricultural of Food Chemistry*, 60, 12508-12515.
- Vega Mercado H., Gongora Nieto M., Barbosa Canovas G. (2001): Advances in dehydration of foods, *Journal of Food Engineering*, 49, 271-289.
- Vereš M. (2004): Principi konzervisanja namirnice, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Vestner J. (2016): New chemometric approaches to non-targeted GCMS fingerprinting analysis of wine volatiles, *Food engineering*, Université de Bordeaux, English.
- Villaño D., Fernández Pachón M.S., Troncoso A.M., García Parrilla M.C. (2004): The antioxidant activity of wines determined by the ABTS(+) method: influence of sample dilution and time, *Talanta*, Oct 8, 64, 2, 501-509.
- Vinčić M. (2017): Antioksidativna, antiproliferativna i antimikrobna aktivnost odabranih ekstrakata tropova bobičastog voća, Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet Novi Sad.
- Vogl C.R., Hartl A. (2003): Production and processing of organically grown ber nettle (*Urtica dioica* L.) and its potential use in the natural textile industry, *American Journal of Alternative Agriculture*, 18, 3.
- Waliszewiski K.N., Cortez H.D., Pardio V.T., Garcia M.A. (1999): Color parameter changes in banana slices during osmotic dehydration, *Drying Technology*, 17, 955-960.

- Warczuk J. (2005): Concentration of osmotic dehydration solutions using separation processes (Doktorska disertacija), Universitat Rovira i Virgili, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química.
- Wilson D.W., Nash P., Buttar H.S. (2017): The role of food antioxidants, benefits of functional foods, and influence of feeding habits on the health of the older person, *Antioxidants*, 6, 4, 81.
- Xiaofang P., Nan L., Chunxing Li, Jing N., Gefu Z. (2018): Impact of nano zero valent iron on tetracycline degradation and microbial community succession during anaerobic digestion, *Chemical Engineering Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.135>.
- Yadav A.K., Singh S.V. (2014): Osmotic dehydration of fruits and vegetables, *Journal of Food Science and Technology*, 51, 9, 1654-1673.
- Yung Tsan J., Wen Tsann L., Wei Cheng L., Tsu Ming Y. (2014): Integrating the taguchi method and response surface methodology for process parameter optimization of the injection molding, *Applied Mathematics Informations Science*, 8, 3, 1277-1285.
- Sharif Z.I.M., Mustapha F.A., Jai J., Mohd.Yusof N., Zak N.A.M. (2013): Osmotic dehydration of fruits in food industrial, *International Journal of Biosciences*, 3, 12, 1-16.
- Zdravković A., Stanojević Lj., Stanković M., Cakić M., Nikolić V., Nikolić Lj., Ilić D. (2012): Uticaj operativnih uslova i tehnike ekstrakcije na prinos, kinetiku i sastav vodeno-etanolnih ekstrakata iz lista koprive (*Urtica Dioica* L.), *Savremena Tehnologija*, 1, 1, 30-37.
- Ziyyat A., Legssyer A., Mekhfi H., Dassouli A., Serhrouchni M., Benjelloun W. (1997): Phytotherapy of hypertension and diabetes in oriental Morocco, *Journal of Ethnopharmacology*, 58, 45-54.