

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Marjetka KASTELIC ŠVAB

**PREHRANSKA VREDNOST ČIPSA RDEČE PESE IN
KORENJA, PRIPRAVLJENEGA Z RAZLIČNIMI
POSTOPKI SUŠENJA**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Marjetka KASTELIC ŠVAB

**PREHRANSKA VREDNOST ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA,
PRIPRAVLJENEGA Z RAZLIČNIMI POSTOPKI SUŠENJA**

MAGISTRSKO DELO

**NUTRITIONAL VALUE OF BEETROOT AND CARROT CHIPS
PREPARED BY DIFFERENT DRYING PROCESSES**

M. SC. THESIS

Ljubljana, 2016

POPRAVKI

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete z dne 28. 9. 2015, je bilo potrjeno, da kandidatka izpolnjuje pogoje za izdelavo magistrskega dela na Podiplomskem študiju bioloških in biotehniških znanosti s področja živilstva. Za mentorja magistrskega dela je bil imenovan prof. dr. Rajko Vidrih.

Magistrsko delo je zaključek Podiplomskega študija bioloških in biotehniških znanosti na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Večji del analiz raziskovalnega dela je bil opravljen na Katedri za tehnologije, prehrano in vino, Oddelka za živilstvo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani, analize vsebnosti karotenoidov na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani in analize askorbinske kisline na Kemijskem inštitutu Ljubljana. Senzorična analiza čipsa in statistična analiza sta bili opravljeni na Katedri za tehnologijo mesa in vrednotenje živil, Oddelka za živilstvo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Proizvodni proces vakuumskega sušenja je bil opravljen v delavnici predelave sadja podjetja Hrib d.o.o, Šentjur pri Celju in proces konvekcijskega sušenja v živilski delavnici Biotehniškega centra Naklo. Osnovno surovino (rdečo peso in korenje) smo vzgajali z ekološko pridelavo na kmetijskih površinah šolskega posestva Biotehniškega centra Naklo.

Mentor: prof. dr. Rajko VIDRIH

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof. dr. Helena ABRAMOVIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo

Članica: doc. dr. Jasna BERTONCELJ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo

Članica: prof. dr. Nina KACJAN MARŠIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 28. 9. 2016

Podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Marjetka Kastelic Švab

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Md
DK	UDK 664.834.047:543.2/.9:641.1(043)=163.6
KG	rdeča pesa/ <i>Beta vulgaris</i> /korenje/ <i>Daucus carota</i> /sušenje živil/vakuumsko sušenje/konvekcijsko sušenje/zelenjavni čips/prehranska vrednost/fizikalnokemijske lastnosti/spremembe pri sušenju živil/antioksidativni potencial/askorbinska kislina/karotenoidi/maščobnokislinska sestava/senzorične lastnosti
AV	KASTELIC ŠVAB, Marjetka, prof. biol. in gosp.
SA	VIDRIH, Rajko (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, znanstveno področje živilstvo
LI	2016
IN	PREHRANSKA VREDNOST ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA, PRIPRAVLJENEGA Z RAZLIČNIMI POSTOPKI SUŠENJA
TD	Magistrsko delo
OP	XIII, 116 str., 25 pregl., 18 sl., 1 pril., 82 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Namen raziskave je bil izdelati čips rdeče pese in korenja, sušen s konvekcijskim in vakuumskim sušilnikom pri različnih temperaturah sušenja (40, 50 in 60 °C). Vzorcem čipsa smo določili parametre, kot je antioksidativni potencial z radikalom DPPH•, vsebnost maščobnih kislin s plinsko kromatografijo, vsebnost karotenoidov in askorbinske kisline s sistemom HPLC/MS, parametre barvne vrednosti (L*, a*, b*) in trdoto. Izvedli smo tudi ocenjevanje senzoričnih lastnosti s točkovanjem. V raziskavo smo vključili 18 različnih vzorcev čipsa treh sort ekološko pridelane rdeče pese 'Detroit', 'Tondo di Chioggia' in 'Forono' ter 12 različnih vzorcev čipsa korenja dveh sort ekološke pridelave 'Jeannete' in 'Rolanka'. S statistično obdelavo podatkov smo primerjali vzorce čipsa glede na razlike v analiziranih parametrih med različnimi sortami rdeče pese in korenja glede načina sušenja - konvekcijsko in vakuumsko sušenje ter primerjali razlike glede na različne temperature sušenja. Rezultati analiz so pokazali, da vakuumsko sušenje prispeva k manjši izgubi vode kot konvekcijsko, in da ima vakuumsko sušen čips manjšo trdnost, še posebej pri 60 °C. Parametri barve L*, a*, b* kažejo, da so vakuumsko sušeni vzorci intenzivnejše rdeče ali rumene barve. Vakuumsko sušeni vzorci imajo višji antioksidativni potencial, več stearinske in linolenske kisline, več α- in β-karotena ter manj luteina. Senzorično je najbolje ocenjen vakuumsko sušeni čips rdeče pese in korenja pri vseh temperaturah sušenja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Md
DC UDC 664.834.047:543.2/.9:641.1(043)=163.6
CX beetroot/*Beta vulgaris*/carrot/*Daucus carota*/food drying/vacuum drying/vegetable chips/nutritional value/physicochemical properties/changes on drying foods/antioxidative potential/ascorbic acid/carotenoids/fatty acid composition/sensory properties
AU KASTELIC ŠVAB, Marjetka
AA VIDRIH, Rajko (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate Study of Biological and Biotechnical Sciences, Field: Food Science and Technology
PY 2016
TY NUTRITIONAL VALUE OF BEETROOT AND CARROT CHIPS PREPARED BY DIFFERENT DRYING PROCESSES
DT M. Sc. Thesis
NO XIII, 116 p., 25 tab., 18 fig., 1 ann., 82 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The purpose of this study was to produce and compare beetroot and carrots chips dried with a convection and a vacuum dryer at different temperature drying regimes (40, 50 and 60°C). Samples were analyzed for antioxidative potential with DPPH• radical, content of fatty acids with gas chromatography, content of carotenoids and ascorbic acid with HPLC/MS system, colour parameters (L^* , a^* , b^*) and firmness. Beetroot and carrots chips were also sensory evaluated. The study included 18 different samples of chips samples of organic beetroot (3 varieties 'Detroit', 'Tondo di Chioggia' and 'Forono') and 12 different chips samples of organic carrot (2 varieties 'Jeannete' and 'Rolanka'). Using various statistical methods, samples of chips were compared according to the differences in the investigated parameters between the varieties of beetroot and carrot, differences between convectional and vacuum drying as well as the differences between varieties with different temperature regimes of drying. The results of analyses show that vacuum dried samples had lower water loss than convection dried samples and that vacuum dried chips have lower firmness, especially at 60°C. The results of colour parameters L^* , a^* , b^* confirm more intensive red or yellow colour. The vacuum dried chips have higher antioxidative potential, more stearic and linoleic acid, more α - and β -karoten and less lutein present in vacuum dried samples. Sensory evaluation of chips confirms the hypothesis that the vacuum dried beetroot and carrot chips score higher than the convection dried samples, regardless of the temperature drying regime.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK	XI
KAZALO PRILOG	XII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XIII
1 UVOD	1
1.1 NAMEN DELA	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	3
2 PREGLED OBJAV	4
2.1 POMEN ODSTRANJEVANJA VODE IZ ŽIVIL	5
2.1.1 Mikrobiološka in kemijska obstojnost sušenih živil	5
2.1.2 Skladiščenje in prevoz sušenih živil	6
2.1.3 Instant prehranski izdelki za preprosto in hitro pripravo	7
2.2 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA PROCES SUŠENJA ŽIVIL	7
2.2.1 Prevajanje toplote in transport snovi (vode)	7
2.2.2 Površina živila	7
2.2.3 Temperatura	8
2.2.4 Hitrost gibanja zraka	8
2.2.5 Vlažnost zraka	8
2.2.6 Zračni tlak in vakuum	8
2.2.7 Čas in temperatura	8
2.3 SUŠENJE IN OSNOVE PSIHROMETRIJE	9
2.4 NAPRAVE ZA SUŠENJE	11

2.5 VPLIV LASTNOSTI ŽIVIL NA POTEK SUŠENJA	14
2.5.1 Sestava živil	14
2.5.2 Koncentracija raztopin	14
2.5.3 Vezava vode	14
2.5.4 Celična struktura	15
2.5.5 Krčenje materiala	15
2.6 SPREMEMBE V ŽIVILIH MED SUŠENJEM	16
2.6.1 Kemijske, fizikalne in prehranske spremembe med sušenjem	16
2.6.1.1 Učinek sušenja na vodno aktivnost	16
2.6.1.2 Učinek sušenja na beljakovine	17
2.6.1.3 Učinek sušenja na ogljikove hidrate	17
2.6.1.4 Maillardova reakcija	18
2.6.1.5 Učinki sušenja na maščobe	19
2.6.1.6 Učinek načina sušenja na ohranjanje hranilnih snovi v živilu	19
2.6.1.7 Učinek sušenja na vitamine	19
2.6.1.8 Učinek sušenja na prehransko vlaknino	20
2.6.1.9 Sprememba barve zaradi sušenja	21
2.6.1.10 Sprememba teksture živil zaradi sušenja	22
2.6.1.11 Spremembe arome živil	23
2.7 BIOAKTIVNE SNOVI IN ANTIOKSIDATIVNI POTENCIAL ŽIVIL	23
2.7.1 Antioksidanti	23
2.7.1.1 Karotenoidi	25
2.7.1.2 Askorbinska kislina (vitamin C)	27
2.7.2 Vpliv načina pridelave na vsebnost antioksidantov v zelenjavi	30
2.7.3 Vpliv načina predelave na skupni antioksidativni potencial	31
2.7.4 Primerjave učinkov različnih načinov sušenja na bioaktivne snovi	33
2.7.5 Stabilnost in absorpcija karotenoidov	33
2.7.6 Vsebnost in delež vitamina C in karotenoidov v rdeči pesi in korenju	34
2.8 OKSIDACIJA MAŠČOB MED SUŠENJEM	34
2.8.1 Spremembe maščobnih kislin v procesu sušenja živil	34
2.8.2 Maščobnokislinska sestava rdeče pese in korenja	35
2.9 SENZORIČNA ANALIZA	36
3 MATERIALI IN METODE	38
3.1 MATERIALI	38
3.2 METODE SUŠENJA	40

3.3 METODE KEMIJSKIH IN KEMIJSKO-INSTRUMENTALNIH ANALIZ	44
3.3.1 Priprava reagentov in ekstraktov	44
3.3.1.1 Priprava 3 % metafosforne kisline (HPO_3) ₃	44
3.3.1.2 Ekstrakcija čipsa s 3 % vodno raztopino metafosforne kisline (MFK)	44
3.3.1.3 Ekstrakcija čipsa z acetonom	44
3.3.2 Določanje izgube vode med sušenjem	44
3.3.3 Določanje antioksidativnega potenciala z radikalom DPPH•	45
3.3.4 Priprava metilnih estrov in določanje vsebnosti maščobnih kislin oz. metilnih estrov maščobnih kislin (MEMK) v čipsu rdeče pese in korenja s pomočjo plinske kromatografije	48
3.3.5 Določanje vsebnosti askorbinske kisline v čipsu rdeče pese in korenja s sistemom HPLC/MS	50
3.3.6 Določanje vsebnosti karotenoidov v čipsu rdeče pese in korenja s sistemom HPLC	51
3.4 METODE INSTRUMENTALNIH ANALIZ	52
3.4.1 Analiza barve čipsa rdeče pese in korenja	52
3.4.2 Analiza trdote čipsa rdeče pese in korenja	53
3.5 METODE SENZORIČNIH ANALIZ	53
3.5.1 Senzorična analiza čipsa rdeče pese in korenja	53
3.6 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	55
4 REZULTATI	56
4.1 ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE SORTE 'DETROIT'	56
4.2 ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE SORTE 'TONDO DI CHIOGGIA'	59
4.3 ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE SORTE 'FORONO'	62
4.4 ANALIZA ČIPSA KORENJA SORTE 'JEANNETE'	64
4.5 ANALIZA ČIPSA KORENJA SORTE 'ROLANKA'	67
4.6 STATISTIČNA ANALIZA PARAMETROV VSEH VZORCEV ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA V ODVISNOSTI OD NAČINA SUŠENJA NE GLEDE NA TEMPERATURO SUŠENJA	69
4.7 ANALIZA PARAMETROV VSEH VZORCEV ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA, SUŠENIH PRI RAZLIČNIH TEMPERATURAH NE GLEDE NA NAČIN SUŠENJA	71

4.8 ANALIZA POVEZANOSTI SPREMENLJIVK	73
4.9 SENZORIČNA ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA	73
4.9.1 Senzorična analiza čipsa rdeče pese sorte 'Detroit'	74
4.9.2 Senzorična analiza čipsa rdeče pese sorte 'Forono'	76
4.9.3 Senzorična analiza čipsa korenja sorte 'Jeannete'	78
4.9.4 Senzorična analiza čipsa korenja sorte 'Rolanka'	81
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	85
5.1. RAZPRAVA	85
5.1.1 Priprava čipsa rdeče pese in korenja in izguba vode med postopki sušenja	85
5.1.2 Vpliv načina in temperature sušenja na antioksidativni potencial čipsa rdeče pese in korenja	86
5.1.3 Vpliv načina in temperature sušenja na maščobnokislinsko sestavo čipsa rdeče pese in korenja	87
5.1.4 Vpliv načina in temperature sušenja na vsebnost askorbinske kisline v čipsu rdeče pese in korenja	90
5.1.5 Vpliv načina in temperature sušenja na vsebnost karotenoidov v čipsu rdeče pese in korenja	92
5.1.6 Vpliv načina in temperature sušenja na barvo čipsa rdeče pese in korenja	93
5.1.7 Vpliv načina in temperature sušenja na trdoto čipsa rdeče pese in korenja	95
5.1.6 Vpliv načina in temperature sušenja na senzorične lastnosti čipsa rdeče pese in korenja	96
5.2 SKLEPI	100
6 POVZETEK (SUMMARY)	103
6.1 POVZETEK	103
6.2 SUMMARY	105
7 VIRI	109
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Pregl. 1: Uporaba nekaterih novejših načinov sušenja v proizvodnji zelenjavnih prigrizkov (Huang in Zhang, 2012)	16
Pregl. 2: Dejavniki, ki vplivajo na kakovost živil med procesom sušenja (Sokhansanj in Jayas, 1995)	16
Pregl. 3: Izgube vitaminov A in C pri marelicah glede na vrsto živilsko-tehnološkega procesa konzerviranja (Jayaraman in Das Gupta, 1995)	20
Pregl. 4: Antioksidativna aktivnost stisnjenega soka rdeče pese, tretirane pod različnimi pogoji in načini segrevanja (Slavov in sod., 2013)	31
Pregl. 5: Dejavniki oksidacije v živilih (Pokorny, 2007)	35
Pregl. 6: Opisne senzorične lastnosti čipsa krompirja pripravljenega z različnimi načini sušenja (Huang in Zhang, 2012)	37
Pregl. 7: Tehnični podatki vakuumskega sušilnika Turbo Energetika VSOP-6, last podjetja Hrib d.o.o.	41
Pregl. 8: Temperature in čas vakuumskega sušenja vseh sort rdeče pese in korenja	43
Pregl. 9: Primerjava časa sušenja (t) pri konvekcijskem in vakuumskem sušenju vseh sort rdeče pese pri različnih temperaturah sušenja	43
Pregl. 10: Primerjava časa (t) sušenja pri konvekcijskem in vakuumskem sušenju vseh sort korenja pri različnih temperaturah sušenja	43
Pregl. 11: Prikaz redčenja za umeritveno krivuljo s Troloxom	46
Pregl. 12: Ocenjevanje sušenega čipsa različnih sort rdeče pese in korenja s točkovanjem (konvekcijsko in vakuumsko sušenje pri različnih temperaturah)	54
Pregl. 13: Analizirani parametri čipsov rdeče pese sorte 'Detroit' pripravljeni v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C	57
Pregl. 14: Analizirani parametri čipsov rdeče pese sorte 'Tondo di Chioggia' pripravljeni v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C	60
Pregl. 15: Analizirani parametri čipsov rdeče pese sorte 'Forono' pripravljeni v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C	63
Pregl. 16: Analizirani parametri čipsa korenja sorte 'Jeannete' pripravljeni v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C	65
Pregl. 17: Analizirani parametri čipsa korenja sorte 'Rolanka' pripravljeni v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C	68
Pregl. 18: Analizirani parametri vseh vzorcev čipsa pripravljeni v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku	70
Pregl. 19: Analizirani parametri vseh vzorcev čipsa pripravljeni pri različnih temperaturah sušenja	72
Pregl. 20: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa rdeče pese sorte 'Detroit'	74
Pregl. 21: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa rdeče pese sorte 'Forono'	78
Pregl. 22: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa korenja sorte 'Jeannete'	80
Pregl. 23: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa korenja sorte 'Rolanka'	81

Pregl. 24: Skupne ocene senzorične analize ocenjevanih čipsov rdeče pese in korenja	83
Pregl. 25: Ovrednotenje kakovosti čipsa na podlagi senzoričnega ocenjevanja s točkovanjem	100

KAZALO SLIK

Sl. 1: Graf poteka sušenja mokre snovi z vlažnostjo X v odvisnosti od časa – vlažnost X je definirana kot masa vlage na maso suhe snovi (Bižal in Pavko, 1987)	10
Sl. 2: Hitrost sušenja v odvisnosti od vlažnosti. Hitrost sušenja definiramo kot spremembo vlažnosti v časovni enoti ($-dX / dt$). Karakteristične vlažnosti: X_o - začetna vlažnost, X_{kr} - kritična vlažnost in X_r - ravnotežna vlažnost (Bižal in Pavko, 1987).....	11
Sl. 3: Občutljivost sušenih izdelkov na oksidacijo lipidov in neencimsko porjavenje v odvisnosti od vodne aktivnosti živila (Brennan, 1993)	17
Sl. 4: Strukture L-askorbinske kisline, L-askorbata in oksidiranih produktov (Pečar in Mravljak, 2015)	28
Sl. 5: Vzorci rdeče pese in korenja- osnovna surovina za izdelavo čipsa	38
Sl. 6: Ekološko pridelana rdeča pesa treh sort: 'Detroit' (okrogla), 'Tondo di Chioggia' (pisana) in 'Forono' (podolgovata).....	39
Sl. 7: Rdeča pesa sorte 'Tondo di Chioggia'	39
Sl. 8: Konvekcijski sušilnik, last Biotehniškega centra Naklo	40
Sl. 9: Vakuumski sušilnik Turbo Energetika VSOP-6, last podjetja Hrib d.o.o	40
Sl. 10: Diagram spreminjanja temperature rdeče pese glede na čas vakuumskega sušenja pri temperaturi vstopne vode 50 °C. Oznaka c102.TC31 prikazuje temperaturo vstopne vode v vakuumski sušilnik, oznaka c102.TC33 prikazuje temperaturo v živilu (rdeči pesi) in oznaka c102.PC31 prikazuje podtlak v komori.....	41
Sl. 11: Diagram nadaljevanja sušilnega vakuumskega procesa pri 50 °C.....	42
Sl. 12: Umeritvena krivulja, absorbanca v odvisnosti od molarne koncentracije Trolox-a (mmol Trolox/L).....	46
Sl. 13: Pregled vzorcev čipsa rdeče pese in korenja za senzorično ocenjevanje	53
Sl. 14: Čips pese 'Tondo di Chioggia' pripravljen pri 50 °C v konvekcijskem sušilniku (levo) in v vakuumskem sušilniku (desno).....	61
Sl. 15: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa rdeče pese 'Detroit' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C) ..	75
Sl. 16: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa rdeče pese 'Forono' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C) ..	77
Sl. 17: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa korenja 'Jeannete' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C) ..	79
Sl. 18: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa korenja 'Rolanka' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C) ..	82

KAZALO PRILOG

Priloga A: Korelacijski koeficienti med analiziranimi parametri čipsa

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AK	aminokisline
AO	antioksidant
AOP	antioksidativni potencial
a_w	aktivnost vode
DHA	dehidroaskorbinska kislina
DPPH	1,1-difenil-2-pikrilhidrazil
EDTA	etilendiaminotetraocetna kislina
HO•	hidroksilni radikal
HPLC	tekočinska kromatografija visoke ločljivosti
HPLC/MS	tekočinska kromatografija visoke ločljivosti/masna spektrometrija
KS	konvekcijsko sušenje
LC	tekočinska kromatografija
MeOH	metanol
MEMK	metilni estri maščobnih kislin
MFK	metafosforna kislina
MK	maščobne kisline
MV	mikrovalovi
RNS	reaktivne dušikove spojine
ROS	reaktivne kisikove spojine
T	temperatura
TE	troloks ekvivalent
VS	vakuumsko sušenje

1 UVOD

Možnosti naravnega sušenja so v naših klimatskih razmerah razmeroma majhne, omejene le na določene vrste izdelkov. Sodobni tehnološki postopki, kot so uporaba konvekcijskega in še posebej vakuumskega sušenja, pa nam omogočajo proizvodnjo živil boljše prehranske in senzorične kakovosti.

Tehnološki postopek sušenja zelenjave v čips je metoda odstranjevanja vode iz živila, ki učinkovito preprečuje razvoj mikroorganizmov, hkrati pa tudi s sušenjem zavarujemo izdelek pred kemijskimi spremembami. Problem pri sušenju zelenjave in sadja je proces oksidacije, ki nastane zaradi delovanja encimov, kar posledično vodi v izgubo nekaterih prehransko pomembnih snovi, vitaminov in ostalih antioksidantov. Različni postopki sušenja so danes usmerjeni predvsem v obvladovanje teh pomankljivosti.

Sušenje so kot postopek podaljševanja obstojnosti živil poznali že stari narodi in spada med najstarejše postopke konzerviranja živil. S tem, ko so hrano posušili, so izdelki pridobili nekatere nove lastnosti, kot so obstojnost pri sobni temperaturi, neobčutljivost za encimske in oksidativne spremembe, zmanjšanje volumna in mase, daljši rok uporabnosti in dostopnost v vsakem času. S sušenjem odstranjujemo iz trdnih snovi hlapno tekočino z odhlapljanjem ali odparevanjem. Obenem z vodo odstranjujemo iz živila tudi druge lahkohlapne snovi, predvsem aromatične snovi. Proces sušenja živil je energijsko drag postopek, saj zahteva toplotno sušenje skoraj 2,5 MJ energije (latentne toplote evaporizacije) za odparevanje 1 kg vode. S samimi postopki sušenja je težko v celoti zagotoviti kakovost v smislu čim manjših sprememb v strukturi in izgledu živila (Brennan, 2003).

Glede na količino vode, ki smo jo živilu odvzeli, v glavnem ločimo dva osnovna postopka odstranjevanja vode iz živil, koncentriranje in sušenje. S postopki zgoščevanja ali koncentriranja odvezamo živilom le del vode - na primer le 1/3 do 2/3. Sušenje pa je skoraj popolna odstranitev vode iz živil, ki vsebujejo po sušenju le okrog 1-10 % vode (Brennan, 2003). Najpomembnejše merilo kakovosti sušenih živil je stopnja rehidracije oziroma, koliko se sušena živila po rehidraciji razlikujejo od originalnih živil glede na prehranske in senzorične parametre. Pri sušenju živil je tehnološki izziv dovolj velik, ker je potrebna zelo majhna količina vode v živilu za doseg njegove največje stabilnosti med skladiščenjem. Tega cilja ni lahko doseči brez sprememb na živilih (Brennan, 1993).

Čips, izdelan s sušenjem iz različnih vrst zelenjave, postaja danes trend v živilski industriji in prehrani prebivalcev evropskih držav, že dlje časa pa je poznan v južnih in vzhodnih deželah sveta. Zaradi zasičenosti tržišča z živilskimi izdelki se intenzivno iščejo novi izdelki, ki bi zadovoljili potrošnikove želje po novi, drugačni, zdravi, čim bolj naravni in uravnoteženi prehrani, katere sestavni del je lahko zelenjavni čips. Čips rdeče pese in

korenja je, poleg ogljikovih hidratov, bogat vir antioksidantov, nenasičenih maščobnih kislin in navsezadnje prehranske vlaknine ter z njo povezanih pozitivnih fizioloških učinkov na delovanje organizma.

1.1 NAMEN DELA

- Pripraviti barvno vabljiv, okusen zelenjavni čips rdeče pese in korenja z izbranimi postopki sušenja, ki zagotavljajo kakovost vstopne surovine z ohraneno prehransko vrednostjo, vsebnostjo antioksidantov in maščobnih kislin ter čim boljšo senzorično vrednostjo čipsa.
- Ugotoviti optimalne pogoje vakuumskega sušenja rdeče pese in korenja v primerjavi s sušenjem v konvekcijskem sušilniku.
- Spremljati postopek sušenja rdeče pese in korenja v vakuumskem sušilniku (spremljanje temperature v živilu pri doseganju določenega podtlaka vakuumskega sušenja).
- Ugotoviti, kako različne temperature in načini sušenja vplivajo na prehranske in senzorične lastnosti.
- Ugotoviti izgubo mase rdeče pese in korenja pri sušenju pri različnih temperaturah in načinih sušenja.
- Primerjati antioksidativni potencial (AOP) z metodo določitve sposobnosti lovljenja radikala DPPH• pri različnih vrstah čipsa rdeče pese in korenja, tretiranih pod različnimi temperaturnimi pogoji in načini sušenja.
- Kvantitativno določiti vsebnost in delež esencialnih maščobnih kislin z metodo in situ transesterifikacije MK s pomočjo plinske kromatografije.
- Določiti značilnosti ohranjanja vsebnosti antioksidanta askorbinske kisline v vzorcih čipsa pri različnih temperaturah in načinih sušenja s pomočjo HPLC/MS.
- Določiti vsebnost karotenoidov v vzorcih čipsa rdeče pese in korenja pri različnih temperaturah in načinih sušenja s pomočjo HPLC.
- Določiti vrednosti barvnih parametrov L*, a* in b* in mehansko trdnost čipsa rdeče pese in korenja pri različnih temperaturah in načinih sušenja.
- Primerjati in senzorično ovrednotiti vzorce čipsa rdeče pese in korenja glede na sorto ter temperaturo in način sušenja.
- Analizirati dobljene rezultate s pomočjo statističnega programa SASS.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

- Čips iz rdeče pese bo vseboval več antioksidantov kot čips iz korenja.
- Vakuumsko sušeni čips bo vseboval več antioksidantov (karotenoidov, askorbinske kisline) kot čips, pripravljen s konvekcijskim sušenjem.
- Konvekcijski način sušenja bo vplival na zmanjšanje vsebnosti α -linolenske kisline.
- Način sušenja bo vplival na teksturne lastnosti čipsa.
- Vakuumsko sušeni čips bo senzorično bolje ocenjen kot čips sušen v konvekcijskem sušilniku.

2 PREGLED OBJAV

Osnovni namen sušenja živil je izdelati sušen izdelek stabilne strukture s čim manjšimi spremembami senzoričnih in prehranskih lastnosti.

Pri sušenju z odhlapljanjem, kamor spada konvekcijsko sušenje, je temperatura vlažne snovi manjša od vrelišča vode in je izguba vode posledica razlike med parnim tlakom vode v snovi in parcialnim tlakom vode v plinu, ki obdaja vlažno snov. Vodo odvajamo s tokom plina, največkrat toplega zraka, s katerim hkrati dovajamo potrebno izparilno toploto v sistem. Sušenje z odparevanjem (vakuumsko sušenje), kjer je temperatura (T) vlažne snovi nekoliko višja od T vode pri vrelišču, pa je izguba vode posledica razlike med parnim tlakom vode v snovi in tlakom plina, ki jo obdaja (Modic, 1978).

Na voljo so novi in posodobljeni tehnološki postopki sušenja pri nižjih temperaturah, ki bolje ohranjajo senzorične in prehranske lastnosti sušenega živila. Nižja temperatura sušenja s podtlakom lahko prepreči oz. delno prepreči razpad bioaktivnih snovi in večjo izgubo hlapnih spojin, kar pomeni manj negativnih sprememb v živilu, posledično pa ima izdelek boljšo senzorično in hranilno vrednost (Zakipour in Hamidi, 2011).

V zadnjem času se srečujemo s povečanim povpraševanjem po izdelkih z večjo vsebnostjo naravnih antioksidantov, predvsem zaradi treh razlogov:

- veliko epidemioloških in kliničnih dokazov kaže na obratno sorazmerje med uživanjem zelenjave in sadja ter tveganjem za razvoj kroničnih bolezni, kot je npr. obolevnost za rakom (Stahl in Sies, 2003),
- pomisleki v zvezi z varnostjo uživanja sintetičnih aditivov, ki se tradicionalno uporabljajo kot konzervansi v hrani in pijači in
- javno mnenje, da so fitokemijske spojine varnejše od sintetičnih kemikalij (Dastmalchi in sod., 2007).

Pri konvekcijskem sušenju dovajamo potrebno količino toplote v sistem z vročim zrakom. Sušilnik z izmenljivim zrakom ali paletni sušilnik je v obliki komore, skozi katero kroži vroč zrak (Ignatowitz, 1996) in v katerem se material ne obrača. Vlažna, trdna živila naložimo na police in potisnemo v sušilno omaro. Police imajo lahko prepustno ali neprepustno dno. Police s prepustnim dnom so narejene iz žičnega pletiva ali iz perforirane pločevine. Zračni tok povzročimo z ventilatorji ali z naravnim vlekom. Tok zraka lahko potuje skozi sloj materiala, če je le-ta zanj prepusten, ali pa potuje vzporedno s slojem materiala, če je dno police neprepustno. Med postopkom sušenja pustimo, da zrak ponovno kroži po komori. Tako prihranimo toploto. Zrak pri vsakem obtoku ponovno segrejemo v grelniku (Brennan, 2003). Torej zrak ni potreben le za to, da bi z njim dovajali toploto, ampak je sušenje tudi posledica snovne difuzije vode v zrak (Ignatowitz, 1996).

Naprave za sušenje lahko delujejo pri normalnem zračnem tlaku, kjer ima voda temperaturo vrelišča 100 °C. Kadar dehidriramo toplotno občutljiva živila, ima prednost sušenje pri znižanem zračnem tlaku (vakuumu). S podtlakom ustrezno znižamo temperaturo vrelišča in tako manj poškodujemo živila, ki jih sušimo. Sušenje v vakuumu so začeli uporabljati takoj po 2. svetovni vojni za dehidracijo tekočih in poltekočih živil. Ta postopek je primeren za sušenje toplotno občutljivih živil in živil, ki na zraku hitro oksidirajo (Ignatowitz, 1996).

Vakuumski sušilnik uporabljamo za vrste zelenjave in sadja, ki so posebno občutljive na visoke temperature in oksidacijske procese, pri katerih zelenjava in sadje porjavita ali pa se uniči vitamin C. Uporabiti moramo nizko temperaturo, da preprečimo razgradnjo snovi in pregrevanje materiala, ter sušiti pod močno znižanim tlakom, ki omogoča nižjo temperaturo uparjanja tekočine. Tlak v vakuumskem sušilniku je vedno nižji od 1 bara, prenos toplote pa omogoča kontakt med sušečim materialom in policami, ki jih ogrevamo (Ignatowitz, 1996).

Vakuumsko sušenje ohranja vrednosti nekaterih parametrov kakovosti (npr. vsebnosti antioksidantov) in tako je lahko vakuumsko posušeno živilo potencialna sestavina funkcionalnih živil. Posušeno živilo se lahko uporablja kot naravni antioksidant (Uribe in sod., 2016).

Prednost vakuumskega sušenja je v prvi vrsti sušenje pri nižji temperaturi brez prisotnosti kisika. Zaradi občutljivosti živil na povišano temperaturo in prisotnost kisika, vakuumsko sušenje bolje ohrani kakovost in hranilno vrednost posušениh izdelkov. Vzorci, sušeni v vakuumskem sušilniku, imajo največje vsebnosti bioaktivnih komponent, sledijo vzorci posušeni s kombinacijo mikrovalovne pečice in vzorci sušeni z infrardečimi žarki, kjer je bila vsebnost bioaktivnih komponent najnižja (Uribe in sod., 2016).

2.1 POMEN ODSTRANJEVANJA VODE IZ ŽIVIL

2.1.1 Mikrobiološka in kemijska obstojnost sušenih živil

Z odvzemanjem vode nastanejo v živilu okoliščine, ki zavirajo encimske procese in zavrejo ali pa popolnoma prekinajo razvoj mikroorganizmov. Zaradi izgube vode pride v živilu do povečanja koncentracije različnih anorganskih in organskih snovi (soli in drugih elektrolitov, ogljikovih hidratov, beljakovin, maščob in drugih snovi). To povzroča znižanje tlaka vodne pare znotraj živila. Hkrati se povišata vrelišče in osmotski tlak v živilu. Zmrzišče se zniža v primerjavi s samo vodo. Mikroorganizmi v pogojih dehidracije ne morejo več normalno sprejemati tako koncentriranih hranljivih snovi (Brennan, 2003).

Citoplazmo bakterijske celice obdaja izbirno prepustna membrana, skozi katero poteka transport hranilnih snovi iz okolice v notranjost celice na osnovi razlik v osmotskem tlaku. Če je bakterijska celica v okolju s povišanim osmotskim tlakom (hipertonično okolje), izgublja vodo. Zaradi izgube vode se citoplazma zgosti in loči od celične membrane. V celici se upočasijo vsi encimski procesi in bakterije se prenehajo razmnoževati. Pojav imenujemo plazmoliza. Plazmoliza je običajno reverzibilen proces. Ko je bakterija zopet v hipotoničnem ali izotoničnem okolju, se povrne v normalne pogoje, sprejema vodo in se povrne v normalno stanje (deplazmoliza). Vendar plazmoliza izzove določene spremembe v bakterijski celici. Različne bakterije so različno odporne proti povišanemu osmotskemu tlaku. Znižanje vodne aktivnosti z 0,95 na 0,60 pomeni tolikšno količino odstranjene vode, kar je dovolj za preprečitev širjenja (proliferacijo) vseh vrst mikroorganizmov. Vendar se rast mikroorganizmov v takih pogojih v živilu hitro poveča že pri manjši absorpciji vode iz vlažne okolice (Brennan, 1993).

Mikrobiološka in druga kvarjenja se ne pojavljajo v koncentriranih živilih, posušenih na najmanj 65 % suhe snovi. V nasprotnem primeru jih moramo dodatno toplotno obdelati s postopki pasterizacije ali sterilizacije, da se v živilu inaktivirajo encimi in ustavijo encimske reakcije. Sušeni izdelki lahko vsebujejo 1 % do največ 8 % vode, kar je odvisno od vrste posameznega živila. V večini so suha živila zelo higroskopska (vežejo nase vodo), zato jih moramo pakirati v embalažo, neprepustno za pline in tekočine ter skladiščiti v suhih in hladnih prostorih (Brennan, 2003).

Na splošno velja, da je potrebno sušena živila, ki so že enkrat rehidrirana, tudi če so kuhana, čimprej uporabiti oz. zaužiti. Posebej je treba paziti na pripravo živil pred sušenjem, da ne pride do kontaminacije z nečistočami. V nekaterih primerih uporabimo pred sušenjem še dodatne metode uničenja mikroorganizmov npr. pasterizacijo ali radiacijo. Primer je predelava jajc v prahu, ki se pred sušenjem pasterizirajo (Brennan, 1993).

2.1.2 Skladiščenje in prevoz sušenih živil

Z zmanjšanjem mase in večinoma tudi prostornine živil je povezan gospodarnejši prevoz, kot tudi skladiščenje in embalaranje. Ko hrano dehidriramo, zmanjšamo njeno maso in predvsem volumen. Tako dobimo s sušenjem iz 8 kg pomarančnega soka 1 kg suhe snovi (1 L pomarančnega soka vsebuje 12 % suhe snovi). Z nekaterimi postopki sušenja pa lahko obdržimo obliko in prostornino originalnega živila. V tem primeru lahko zmanjšamo stroške prevoza le glede na zmanjšano maso, ne pa na zmanjšano prostornino (Brennan, 1993).

2.1.3 Instant prehranski izdelki za preprosto in hitro pripravo

Brennan (1993) omenja proces instantizacije, kjer dobimo sušene izdelke, katerih prednost je, da nam predvsem njihova priprava prihrani čas (instant kava, čaj, instant juhe). Takim izdelkom pred uživanjem dodamo v osnovi samo vodo in izdelek je že primeren za uživanje. Ti izdelki so večinoma pred sušenjem termično obdelani in nato liofilizirani, zato kuhanje ni potrebno (Brennan, 1993).

2.2 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA PROCES SUŠENJA ŽIVIL

2.2.1 Prevajanje toplote in transport snovi (vode)

Metode sušenja živil vključujejo segrevanje živila in odstranjevanje vode iz živila. Ti dve stopnji dehidracije se ne izvajata vedno v enakih razmerah in vključujeta prevajanje toplote v notranjost živila in transport snovi, torej vode na površino živila (Brennan, 1993; Krokida in Maroulis, 2001; Brennan, 2003).

Najbolje za prevajanje toplote v živilu je, da ima snov stik s spodnjo grelno ploščo (npr. pri vakuumskem sušenju) in prosto površino za odstranjevanje vode. Npr. pri konvekcijskem sušenju omogočimo z mrežnimi pladnji z obeh strani prosto površino živila in učinkovitejše sušenje. Tanek sloj vode na površini najprej odpari na račun toplega, suhega zraka. Počasneje odpareva voda vezana v kapilarah in porah sušечеge živila, zaradi kapilarnih sil in difuzijskega upora trdnega živila. Najtežja je odstranitev vode, ki je vezana s kemijskimi vezmi (Ignatowitz, 1996).

Pri sušenju živil želimo doseči kar največji učinek sušenja kar pomeni, da moramo čimbolj pospešiti prevajanje toplote in transport snovi.

2.2.2 Površina živila

Živilo, ki ga želimo dehidrirati, zdrobimo v majhne koščke ali narežemo na tanke rezine ter porazdelimo v tanke plasti, da tako pospešimo prevajanje toplote in transport snovi. Tanke rezine in enoslojna porazdelitev živil zaradi večje zunanje površine pospešijo sušenje, zaradi intenzivnejšega stika z grelnim sredstvom in tako omogočajo večjo površino izhlapevanja vode (Krokida in Maroulis, 2001). Prav tako tanke rezine v enoslojnem nanosu zmanjšajo razdaljo za prevajanje toplote iz površine do geometrijskega središča. Zmanjša se tudi razdalja, ki je potrebna, da voda iz sredine doseže površino živila in izhlapi (Brennan, 1993).

Skoraj vse vrste sušilnih naprav so izdelane tako, da omogočajo stik s čim večjo površino živila, ki ga sušimo, upoštevajoč dejstva fizikalnih osnov sušenja.

2.2.3 Temperatura

Večja kot je temperaturna razlika med grelnim medijem in živilom, večja bo količina toplotnega prenosa v živilo. Ko izhaja voda iz živila v obliki vodnih hlapov, moramo le-te odstraniti, sicer bodo ustvarili nasičeno atmosfero na površini živila. Ta bi naprej zmanjšala količino odstranjene vode, ki je še v živilu. Toplejši zrak v bližini sušilnega živila bo sprejel iz živila več vode kot hladni zrak. Večja količina zraka bo odstranila iz živila več vode kot manjša količina zraka (Brennan, 1993).

2.2.4 Hitrost gibanja zraka

Zrak, ki se giblje, suši površino hitreje kot mirujoči zrak. Zrak, ki se giblje z večjo hitrostjo, bo odstranil s površine živila več vode. Poveča se tudi prehajanje toplote skozi živilo, ki bistveno poveča hitrost sušenja (na primer sušenje na zraku) (Brennan, 2003).

2.2.5 Vlažnost zraka

Sušenje s suhim zrakom je optimalno, kajti suh zrak moramo stalno dovajati ter hkrati odvajati vlažen zrak. Pri sušenju poleg vode odparevajo tudi druge hlapne snovi iz živila, neprijetne vonjave, ki jih učinkovito odstranjujemo pri kondenzacijskem sušenju s pomočjo kondenzorja, kjer se skupaj z odvzeto vodo odstranjujejo iz sušilnika (Modic, 1978). Na stiku sušilnega živila s suhim zrakom, se voda uparja in difundira v zrak. Čim bolj bo zrak suh, tem hitreje se bo živilo sušilo (Krokida in Maroulis, 1997).

2.2.6 Zračni tlak in vakuum

Voda zavre pri normalnem zračnem tlaku pri temperaturi 100 °C. Pri vseh tlakih, ki so nižji od normalnega, zavre voda pri nižji temperaturi. Čim nižji je tlak, tem nižja je temperatura vrelišča. To pomeni, da v segreti vakuumski komori lahko odstranimo vodo iz živila pri nižjih temperaturah (Ignatowitz, 1993). Če uporabljamo enako temperaturo pri sušenju z vakuumom ali brez njega, bo količina odstranjene vode iz živila v istem času večja pod vakuumom. Nižja temperatura in krajši čas sušenja sta zlasti pomembna pri sušenju živil, ki vsebujejo toplotno občutljive antioksidante (Krokida in sod., 1997).

2.2.7 Čas in temperatura

Učinek sušenja se povečuje s temperaturo. Za vse pomembnejše metode dehidracije živil uporabljamo toploto. Sušenje pri višji temperaturi in krajšem času manj poškoduje živilo. V začetku sušenja, ko je vsebnost vode še velika, je potrebna večja količina zraka (večja hitrost) za odnašanje izhlapele vode. Pozneje, ko se vsebnost vode že zmanjša, pa daje večji učinek višja temperatura in na koncu procesa nižja relativna vlažnost sušilnega zraka,

ki vodi do končne nižje vsebnosti vode sušenega izdelka. Pri sušenju je potrebna previdnost, kajti pri prehitrem sušenju živila nastane zunanja skorja, ki deluje kot dodatna zavora notranji difuziji vode. Nekatere komponente, kot je npr. olje lahko predstavljajo dodatno oviro pri prehodu vode (Brennan, 2003).

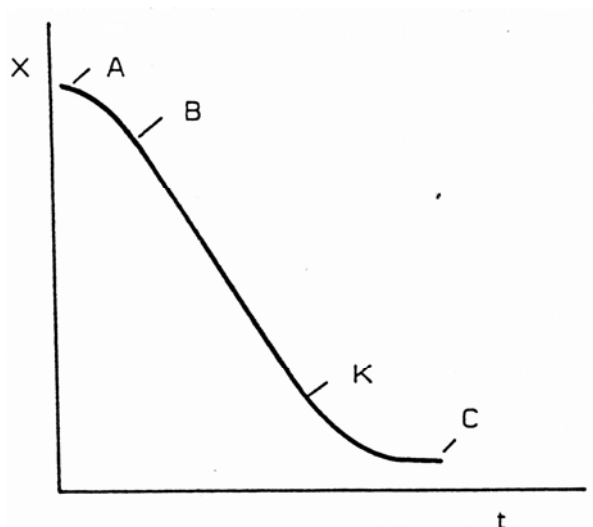
2.3 SUŠENJE IN OSNOVE PSIHROMETRIJE

Voda, ki jo vsebuje trdna snov, je lahko vezana. Voda, ki jo vsebuje trdna snov, je lahko tudi v obliki tekočine, ki odteče in jo je potrebno pred sušenjem odstraniti s filtriranjem ali centrifugiranjem, ali pa se voda drži površine trdne snovi in jo zadržujejo velike kapilare. Površinske sile so v tem primeru manjše in ne znižujejo parnega tlaka vode. To obliko vode imenujemo nevezana voda. Snovi, ki imajo le nevezano vodo, so nehigroskopične. V zračnem toku, ki ni nasičeno vlažen, se dajo popolnoma posušiti. Lahko pa je voda v trdni snovi zadržana tekočina v drobnih kapilarah. Površinske sile so v tem primeru velike in občutno znižujejo njen parni tlak. Snovi z drobnimi kapilarami se pri večji vsebnosti vode obnašajo, kot nehigroskopične snovi, pri določeni vsebnosti vode pa se začne parni tlak manjšati. Osušiti se dajo le do ravnotežne vlažnosti, ki je odvisna od temperature in vlažnosti zraka v okolici ter od narave snovi same. Ravnotežno vlažnost je treba določiti eksperimentalno z osuševanjem v kondicioniranem plinu (plinu z določeno vlažnostjo in temperaturo). Če je vlažnost take snovi manjša od ravnotežne glede na lastnosti plina v okolici, vpija snov vlago, dokler ne doseže ravnotežne vlažnosti (Modic, 1978).

Psihrometrija je veda, ki opisuje lastnosti zmesi plinov s hlapi, ki lahko kondenzirajo (Modic, 1978). V procesu sušenja iz mokre trdne snovi odstranjujemo kapljevino z odhlapljanjem ali z odparjanjem. Sušenje z odhlapljanjem poteka z nenasičeno vlažnim zrakom, določene hitrosti in smeri kot edinim izvorom toplotne energije pri temperaturi, ki je nižja od temperature vrelišča. Imenujemo ga tudi adiabatno sušenje. Adiabatan sistem predstavlja sušecha snov in nenasičeno vlažen zrak, ki se mu zaradi velike množine stanje med sušenjem praktično ne spremeni. Pri tem ni izmenjave toplote z okolico, ker poteka le znotraj sistema. V obravnavanem sistemu je izvor vlage voda (Bižal in Pavko, 1987).

Hitrost sušenja opredeljujeta snovni in toplotni tok. Dejavniki, ki določajo oba tokova, določajo tudi hitrost sušenja. Pri sušenju se uporablja zrak določene temperature in vlažnosti. Takšen zrak je kondicioniran zrak. Lastnosti kondicioniranega zraka imajo na potek in rezultate sušenja velik vpliv (Bižal in Pavko, 1987).

Slika 1 prikazuje posamezne faze ali periode procesa sušenja. V začetni fazi sušenja (AB) se temperatura mokrega materiala dvigne na nivo temperature mokrega termometra. Ta faza, kjer prevladuje prenos energije, je sorazmerno kratka v primerjavi s celotnim procesom sušenja.

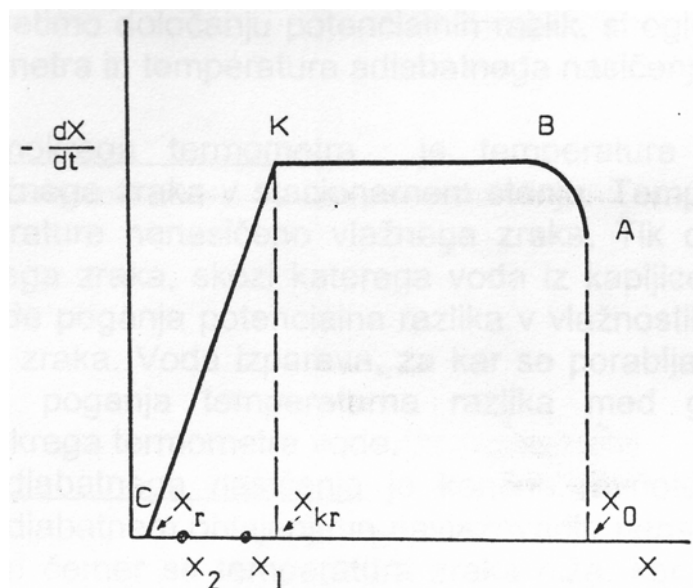


Slika 1: Graf poteka sušenja mokre snovi z vlažnostjo X v odvisnosti od časa – vlažnost X je definirana kot masa vlage na maso suhe snovi (Bižal in Pavko, 1987)

Figure 1: Graph showing the course of drying wet material with a moisture content X as a function of time - moisture content X is defined as the weight of the moisture to the weight of dry matter (Bižal and Pavko, 1987)

Zato jo redko upoštevamo v prvih analizah sušenja. V drugi fazi sušenja - fazi konstantne hitrosti sušenja, ki poteka med točkama B in K, je površina sušee snovi pokrita s tankim slojem vode, ki se obnavlja s kapilarnim dvigom vode iz sušee se snovi. Hitrost sušenja je v tej fazi konstantna. Ta stopnja sušenja je značilna za živila z visoko vsebnostjo vode. V začetku je to površinski proces, kjer se prosta voda odstranjuje z izhlapevanjem. Izhlapevanje se dogaja na površini in traja ves čas, dokler iz notranjosti prehaja zadostna količina proste vode. V glavnem je ta stopnja sušenja odvisna od lastnosti zraka sušenja, ki obdaja snov oz. izdelek. Ko vlažnost snovi doseže kritično vlažnost, se začne faza padajoče hitrosti sušenja (črta KC). Kapilarni dvig vode iz notranjosti živila oz. snovi je počasnejši od izhlapevanja, kar povzroči umik fronte sušenja s površine v notranjost. Hitrost sušenja se zmanjšuje zaradi naraščajočega upora vse debelejšega suhega sloja (Brennan, 2003; Bižal in Pavko, 1987; Earle, 1983).

Na hitrost sušenja vplivata temperatura in vlažnost (slika 2) skozi cel čas procesa sušenja, hitrost in smer zračnega toka pa le v periodi konstantne hitrosti sušenja (Bižal in Pavko, 1987; Earle, 1983).



Slika 2: Hitrost sušenja v odvisnosti od vlažnosti. Hitrost sušenja definiramo kot spremembo vlažnosti v časovni enoti ($-dX / dt$). Karakteristične vlažnosti: X_0 - začetna vlažnost, X_{kr} - kritična vlažnost in X_r - ravnotežna vlažnost (Bižal in Pavko, 1987)

Figure 2: Drying speed as a function of humidity. The drying speed is defined as the change in humidity in time unit ($-dX / dt$). The characteristic humidity: X_0 - initial moisture, X_{cr} - a critical humidity and X_r - equilibrium humidity (Bižal and Pavko, 1987)

Na obliko tipične krivulje sušenja pa ne vplivajo samo lastnosti živila, kot so vrsta, konzistenca, sestava, velikost snovi, temveč tudi različne razmere sušenja. To so predvsem različni tipi naprav za sušenje, temperatura, vlaga, hitrost zraka, zračne smeri in podobno.

2.4 NAPRAVE ZA SUŠENJE

Za proizvodnjo sušenih zelenjavnih prigrizkov se lahko uporablja več načinov sušenja: cvrtje, cvrtje v vakuumu, konvekcijsko sušenje, sušenje z zamrzovanjem, sušenje z mikrovalovi, vakuumsko sušenje, vakuumsko sušenje z mikrovalovi, zamrzovalno sušenje z mikrovalovi, sušenje z razprševanjem in kombinirano sušenje. Sušenje z visoko temperaturo povzroča razgradnjo hranilnih snovi in celo lahko povzroči nastanek strupenih spojin.

Huang in Zhang (2012) sta primerjala krompirjeve prigrizke pripravljene z različnimi metodami sušenja. Ugotovili so, da cvrtje povzroča visoko vsebnost maščob in prisotnost akrilamida v ocvrti hrani, kar je škodljivo za zdravje ljudi. Najbolj primerni za proizvodnjo rastlinskih prigrizkov različnih vrst so kombinirani sušilniki za vakuumsko sušenje z mikrovalovi.

Huang in Zhang (2012) sta predlagala, da je potrebno na področju sušenih zelenjavnih oz. sadnih prigrizkov razvijati nove metode predobdelave in predelave, za izboljšanje senzorične in prehranske kakovosti sušenih zelenjavnih prigrizkov in prigrizkov, pripravljenih v kombinaciji dveh ali več vrst zelenjave in sadja, z uporabo ustrezne metode sušenja. Tako dobimo nove prigrizke različnih oblik, velikosti, arome, teksture, okusa in barve.

Preglednica 1 prikazuje uporabo novejših postopkov sušenja v proizvodnji zelenjavnih prigrizkov glede na vrsto, obliko surovine ter temperaturo sušenja.

Preglednica 1: Uporaba nekaterih novejših načinov sušenja v proizvodnji zelenjavnih prigrizkov (Huang in Zhang, 2012)

Table 1: The use of newest methods of drying in vegetable snack production (Huang and Zhang, 2012)

Način sušenja	Vrsta materiala oz. surovine	Oblika surovine	T sušenja (°C)	Vir
cvrtje v vakuumu	zelenjava z vsebnostjo vode manj kot 90 %	rezine, palčke	100-180	Fan in sod., 2005; Shivhare in sod., 2009
sušenje z razprševanjem HTST (high-temperature short-time; visoka temperatura, kratek čas)	škrobna zelenjava	odvisno od opreme	180-250	Moreira in sod., 2009; Lenart, 1996
vakuumsko sušenje	vsa vrsta zelenjave	tanke rezine, majhni kosi	40-70	Patil in sod., 2007
sušenje z zamrzovanjem	vsa vrsta zelenjave	rezine, kocke, kvadratne palčke, cela zelenjava	50-90	Louka in sod., 2004; Louka in Allaf, 2004; Fernando in Thangavel, 1987; Zhang in sod., 2003
vakuumsko sušenje z mikrovalovi	sezonska zelenjava	rezine, kocke	40-70	Zhang in sod., 2011; Wang in sod., 2003
mikrovalovno sušenje z zamrzovanjem	vsa zelenjava	rezine, kocke, kvadratne palčke	50-90	Xu, 1983; Adu in Otten, 1996
konvekcijsko sušenje + vakuumsko sušenje z mikrovalovi	sezonska zelenjava	rezine, kocke	50-80	Liu in sod., 2012; Xu in sod., 2005

Na izbiro sušilnika vplivajo predvsem vrsta in količina materiala, ki ga želimo sušiti, oblika, velikost, konzistenca ali tekstura živila. Diskontinuirni ali šaržni sušilniki so primerni za sušenje manjših količin in so za nakup cenejši. Kontinuirne naprave (neprekinjeno delovanje) se uporabljajo v večjih industrijskih obratih za obdelavo večjih količin materiala. Naprave so dražje, stroški obratovanja nižji. S temi napravami dosežemo običajno boljšo in izenačeno kakovost vseh izdelkov. Pri sušilnikih, kjer se material med sušenjem ne obrača, živila naložimo v tankem sloju. Debel sloj živil namreč upočasni sušenje, ker zavira prevajanje toplote in transport snovi. Lahko pa se material v sušilnikih obrača, kar pomeni učinkovitejše sušenje materiala in večjo ekonomičnost procesa (Brennan, 1993). Z boljšim poznavanjem kinetike sušenja se izboljša zasnova in delovanje učinkovitih sušilnih sistemov. Hitrost sušenja se določa s periodičnim tehtanjem vzorca (Drouzas in sod., 1999).

Vrste sušilnikov (Brennan, 1993; Brennan, 2003; Modic, 1978; Ignatowitz, 1996):

- sušilnik za sušenje na soncu; energijsko poceni, kakovost sušenega živila slabša kot pri kontroliranem in hitrem sušenju, proces sušenja dolgotrajen (več dni), sušen izdelek še vedno vsebuje preveč vode (15 %), kar hitreje povzroči kvar živila med skladiščenjem,
- komorni sušilnik; diskontinuirna naprava, ki se uporablja za sušenje manjših količin živil,
- kanalski sušilnik; kontinuirni, material se ne obrača, vozički s policami potujejo skozi sušilni kanal,
- tračni sušilnik; vozički potujejo skozi sušilni kanal ali kanal po brezkončnem traku ali po več takšnih trakovih drug pod drugim v različnih smereh, material se ne obrača, na začetku pada vlažno živilo avtomatsko na tekoči trak v kontrolirano tanki plasti, na koncu pa že posušeno živilo pada avtomatično s traku, zračni tok gre lahko skozi material ali pa vzporedno z njegovo površino protitočno, istotočno ali v prečnem toku,
- valjčni sušilnik; kontinuirno sušenje gosto tekočega, pastoznega, kašastega živila z valjem, segretim z vročo paro, ki rotira in sloj živila se z uparjanjem vode na njem posuši,
- etažni sušilnik; v obliki pokončnega valja, kjer so v notranjosti vzporedne, vodoravne, vrteče se etaže za sušenje sipkih živil,
- sušenje v peni; gre za preoblikovanje tekočega, poltekočega živila v stabilno peno, ki se nato suši z vročim zrakom pri normalnem tlaku,
- razpršilni sušilnik; živilo razpršimo v sušilniku v drobne kapljice, ki se hitro osušijo in nastane instant prah,
- rotacijski sušilnik; material se med sušenjem obrača in omogoča enakomernejše sušenje,

- naprave za zamrzovalno sušenje ali liofilizacijo; pri tem procesu prehaja voda preko sublimacije iz ledu direktno v vodne hlape, živila so po rehidraciji zelo dobre kakovosti,
- vakuumski sušilnik; s podtlakom ustrezno znižamo temperaturo vrelišča in manj poškodujemo toplotno občutljiva živila,
- naprave za sušenje z infrardečimi žarki; z dovajanjem elektromagnetnih valov v živilo poteka sušenje, v ta namen uporabljamo elektromagnetne valove točno določene valovne dolžine, ki prehajajo skozi sestavine suhe snovi živila, vlažni del pa žarke vpija in tako živilo segreva,
- naprave za mikrovalovno sušenje; energija elektromagnetnih valov se spremeni v toplotno energijo in s tem segreva živilo.

2.5 VPLIV LASTNOSTI ŽIVIL NA POTEK SUŠENJA

Fizikalne dejavnike, ki vplivajo na prenos in prevajanje toplote, kot so temperatura, vlažnost zraka, hitrost gibanja zraka, geometrija kosov živil, je relativno lahko kontrolirati in optimizirati. Ti fizikalni dejavniki tudi določajo obliko in vrsto naprav za sušenje. Mnogo bolj občutljive in pomembne pa so lastnosti živil. Pri tem moramo spremljati tudi spremembe, ki se pojavijo pri živilih s sušenjem in končno kakovost sušenega živila (Brennan, 1993).

2.5.1 Sestava živil

Živila večinoma niso popolnoma homogena. Količina oddane vode je odvisna od površine živila, od vsebnosti maščob, razporeditve in strukture živila, ki vodo pri sušenju različno izgublja. Sušenje je upočasnjeno pri živilih, kjer olje obdaja kapljice vode in preprečuje oddajanje vode. Če je olje razpršeno v vodni fazi, poteka sušenje dosti hitreje (Brennan, 1993).

2.5.2 Koncentracija raztopin

Raztopljene snovi v tekočini zvišujejo temperaturo vrelišča živila, kar se kaže tudi pri postopkih dehidracije živil. Živila, ki vsebujejo sladkor ali druge raztopljene snovi manjše molske mase, se počasneje sušijo. Koncentracija raztopljenih snovi je med nadaljnim postopkom sušenja večja in sušenje se dodatno upočasni (Brennan, 1993).

2.5.3 Vezava vode

Voda prosto izhlapeva s površine živila, če je parni tlak vode v živilu višji kot delni tlak v ozračju okrog njega. Med sušenjem se zmanjšuje količina vode v živilu in tako se znižuje

parni tlak na enoto površine. Določena količina vode pa ostane vezana s fizikalnimi ali kemijskimi silami na sestavine v živilu (Ignatowitz, 1996).

Prosto vodo je lažje odstraniti in tudi prva izhlapeva. Nekaj vode je rahlo vezane ali adsorbirane na trdne delce živila. Veliko težje je odstraniti vodo, ki vstopa v koloidne gele kot sta škrob in pektin. Najtežje se odstrani kemijsko vezano vodo v obliki hidratov. Čeprav se pri dehidraciji zgodi, da pride do strukturnih sprememb npr. denaturacije proteinov, eksperimenti kažejo, da imajo denaturirane strukture večjo vsebnost vode od nendenaturiranih struktur. To pa zato, ker postanejo z denaturacijo proteina, t.j. za razvitjem polimerne molekule dostopne za vezavo vode tudi tiste hidrofilne skupine, ki v originalni, nativni obliki materiala niso bile dostopne. Izgleda, da večina sprememb v strukturi sušenih živil kot so kolaps membran in celičnih sten, želiranje in tvorba fibroznih struktur, nastane zaradi zgoščevanja makromolekul na račun izgube vode in manj zaradi denaturacije (Brennan, 1993).

2.5.4 Celična struktura

Voda je v rastlinskih tkivih znotraj celic in v medceličnih prostorih. Ko je tkivo živo, celične stene in membrane zadržujejo vodo znotraj celic. Ko rastlino odtrgamo, postanejo celice bolj prepustne za vodo. Če pa surovo rastlinsko živilo termično obdelamo (kuhamo, steriliziramo) postane še bolj prepustno za vodo. Tako se kuhana zelenjava, meso in ribe sušijo dosti hitreje kot surovi oziroma sveži. Elastičnost tkiva zelenjave med sušenjem hitro pada, celice izgubijo svojo čvrstost in zelenjava se skrči. Hrustljivost, trdota in čvrstost živila so pri sušenju odvisni od vrste surovine. Predpriprava z raztopino glicerola omogoča membranam celic zelenjave zaščito pred propadom v toku zamrzovanja ali zračnega sušenja. S tem omogoča povratek v originalno stanje po rehidraciji. Medtem ko predhodno neobdelana tkiva po rehidraciji ostanejo zgubana (Brennan, 1993).

2.5.5 Krčenje materiala

Čeprav so celice mrtve, kljub temu še vedno obdržijo določeno stopnjo elastičnosti. Pod vplivom zunanjih dejavnikov so se celice še vedno sposobne krčiti ali širiti. Če pa je zunanja sila, ki vpliva na spremembo velikosti prevelika, je meja elastičnosti prekoračena. Celice se v tem primeru ne bodo več povrnila v svojo prvotno obliko. Krčenje je ena najbolj vidnih sprememb živil pri dehidraciji. Različne vrste živil se med sušenjem različno krčijo (Krokida in Maroulis, 1997; Krokida in sod., 1997).

Pri hitrem sušenju in pri visokih temperaturah sušenja postane površina živila prej suha in trda, medtem ko je notranjost še vlažna. Pri prehitrem sušenju se torej kapilare, ki vodijo vodo na površino preveč skrčijo in trdi delci v vodi onemogočijo njen pretok. Površina postane suha in neprepustna, nastane skorja, ki zadrži proces sušenja, čeprav je notranjost

živila še mokra. Ko pa se začne sušiti tudi sredina, se ta loči od površinskih trdih plasti. V koščku živila nastajajo razpoke (Brennan, 1993).

Če sušimo npr. vrtno jagode do enake končne vsebnosti vode, vendar z različnimi načini sušenja - konvekcijsko in vakuumsko, dobimo v obeh primerih končni izdelek enake mase, vendar različne prostornine. Izdelek, ki je bil vakuumsko in hitreje sušen, bo imel večjo končno prostornino, lažje bo absorbiral vodo in bo hitreje dobil prvotno obliko. Zunanji videz jagode bo bolj privlačen in naraven. Vendar so zaradi večje prostornine stroški pakiranja, transporta in skladiščenja takšnih izdelkov višji. Ker so vakuumsko sušeni izdelki bolj porozne strukture, se lažje oksidirajo in so obstojni krajši čas. Počasi sušeni izdelki pa so primernejši za nadaljno predelavo (Krokida, 2001).

2.6 SPREMEMBE V ŽIVILIH MED SUŠENJEM

Sušenje povzroča v živilih določene fizikalne in kemijske spremembe, ki vplivajo na prehransko in senzorično kakovost izdelka (preglednica 2). Posušenim živilom se spremeni barva, okus, tekstura, viskoznost in tudi hranilna vrednost. Te spremembe so specifične za posamezne izdelke. Odvisne so predvsem od lastnosti živila in izbrane metode sušenja.

Preglednica 2: Dejavniki, ki vplivajo na kakovost živil med procesom sušenja (Sokhansanj in Jayas, 1995)

Table 2: Factors affecting the quality of the food during the drying process (Sokhansanj and Jayas, 1995)

Kemijski dejavniki	Fizikalni dejavniki	Prehranski dejavniki
porjavenje	rehidracija	izguba vitaminov
oksidacija lipidov	izguba arome	izguba proteinov
izguba barve	tekstura	preživetje mikroorganizmov

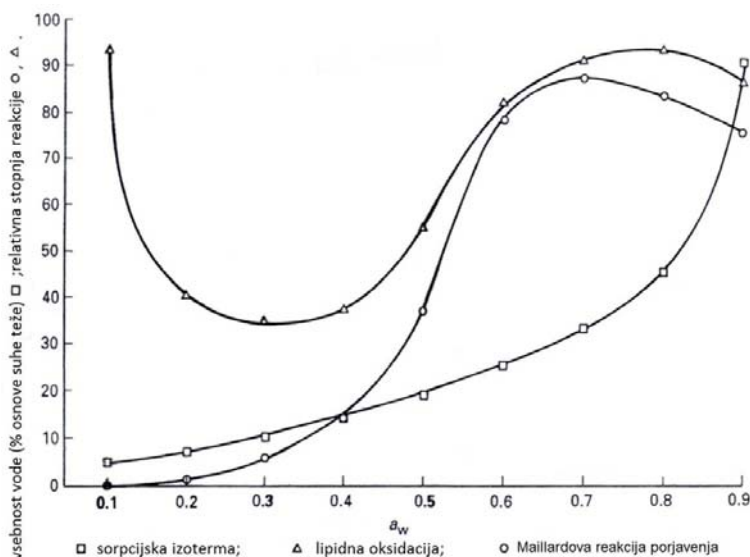
2.6.1 Kemijske, fizikalne in prehranske spremembe med sušenjem

Vsak način sušenja vpliva na to, kako bodo v živilu potekale določene kemijske reakcije. Praviloma te reakcije poslabšajo končni izdelek, kajti s sušenjem se zmanjšajo vsebnosti hlapnih snovi v živilu zaradi evaporacije. Obratno so ugotovili, da je pri sušenih listih bazilike v vakuumskem sušilniku z MV večja vsebnost hlapnih komponent, kot v svežih vzorcih bazilike, kar je rezultat kemijskih reakcij in izgube vode, posledica pa polnejša aroma izdelka (Sokhansanj in Jayas, 1995).

2.6.1.1 Učinek sušenja na vodno aktivnost

Ko se voda odstranjuje iz živila, se aktivnost vode izdelka zmanjša in posledično se zmanjša tudi število kemijskih reakcij, npr. oksidacija prostih maščobnih kislin (MK). Pri določenih kemijskih reakcijah (Maillardova reakcija in razgradnja antocianinov) število reakcij naraste, ko je aktivnost vode med 0,4 - 0,8 (slika 3). Preden se aktivnost vode zopet

zmanjša, se ostale reakcije (oksidacija lipidov) povečajo pri vrednosti vodne aktivnosti pod 0,2 (slika 3). To je povezano s povečanjem koncentracije reaktantov med zmanjšanjem vsebnosti vode, kar poveča število reakcij. Po pregledu kemijske kinetike se pokaže, da prihaja pri segrevanju živila do razpada hranljivih snovi in višja ko je T sušenja živila, večja je razgradnja. Zato se priporoča sušenje živil pri nizkih temperaturah in s pomočjo vakuumu (Brennan, 2003).



Slika 3: Občutljivost sušenih izdelkov na oksidacijo lipidov in neencimsko porjavenje v odvisnosti od vodne aktivnosti živila (Brennan, 1993)

Figure 3: The sensitivity of the dried products to lipid oxidation and nonenzyme browning as a function of the water activity of the product (Brennan, 1993)

2.6.1.2 Učinek sušenja na beljakovine

Glavni učinek sušenja na beljakovine je proces denaturacije, kjer se pri višjih temperaturah poruši terciarna struktura beljakovin. Nižja je T sušenja, manjše so toplotne in kemijske poškodbe, čas sušenja se posledično podaljša. Podaljšanje časa pa poveča možnost reakcij razpada specifičnih aminokislin (AK). Na primer izguba lizina je večja pri bobenskem sušenju mleka kot pri mlečnem prahu, pridobljenim z razpršilnim sušenjem. Najverjetneje je to rezultat direktnega stika mleka z vročim bobnom (Brennan, 2003).

2.6.1.3 Učinek sušenja na ogljikove hidrate

Za škrobna živila (npr. krompir) obstaja pri previsoki T tveganje želiranja škrobnih molekul znotraj celic, kar pogosto ni zaželeno. Pri sušenju čebule so odkrili, da višja T sušenja, nad $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, povečuje razgradnjo glukoze in fruktoze (Brennan, 2003). Najbolj pomembna reakcija pri procesu sušenja za ogljikove hidrate je Maillardova reakcija. Ta reakcija vpliva na aromatski profil sušenega živila. Npr. med sušenjem sliv imamo tri faze

kemijskih sprememb ogljikovih hidratov, ki so v direktni povezavi z zmanjšanjem vsebnosti vode. Ko se vsebnost vode zaradi sušenja zmanjša, pride do hidrolize saharoze na fruktozo in glukozo, nadalje še do hitre izgube fruktoze in glukoze kot rezultat poteka Maillardove reakcije. Ko nadaljujemo s sušenjem ter s tem še z dodatnim zmanjšanjem vsebnosti vode, pride še do karamelizacije sladkorjev (Brennan, 1993).

2.6.1.4 Maillardova reakcija

Maillardova reakcija je najbolj pogosta kemijska reakcija neencimskega porjavenja, ki poteka med sušenjem vseh vrst živil. Igra ključno vlogo pri nastanku arome pri pečenih in praženih živilih in je hkrati tudi odgovorna za nastanek ogromnega števila spojin prijetnega vonja in okusa. Maillardova reakcija poteka med spojinami s karbonilno skupino (sladkorji) in amino skupino (AK, proteini). Najpomembnejši produkti Maillardove reakcije so alkilpirazini, ki imajo značilen vonj po pečenem oz. po dimu ter maltol, furaneol in cikloten, ki imajo vonj po karameli (Brennan, 2003).

Pri Maillardovi reakciji gre za kompleksno serijo reakcij, ki se začne z reakcijo med AK in reducirajoči sladkorji. To je tako imenovana Amadorijeva premestitev, ki pripelje preko serije vmesnih spojin do nehlapnih produktov melanoidinov, ki so netopne snovi s karakteristično rjavo barvo (Srichamnong in Srzednicki, 2015). Poleg melanoidinov nastanejo pri tej reakciji tudi hlapne snovi (okrog 3500 različnih molekul), ki jih zaznamo že pri zelo nizkih koncentracijah in pomembno prispevajo k aromi živila. Potek Maillardove reakcije je odvisen od časa in T sušenja, sestavin živila, vsebnosti vode, vrednosti pH in od prisotnosti oksidantov in reducentov. Reakcija je temperaturno zelo občutljiva, zato med sušenjem uporaba višjih temperatur lahko povzroči povečanje števila reakcij. Potencialni zadržek je možnost nastanka karcinogenih snovi med Maillardovo reakcijo, ki nastajajo kot vmesni produkti. Suho gretje povzroča nastanek aminokarbulinov kot posledica reakcij prostih radikalov in nizke vodne aktivnosti, vendar pa so lahko produkti Maillardove reakcije tudi antioksidativne komponente in za le-te je bilo ugotovljeno, da preprečujejo oksidacijo v izdelkih, npr. posušeni arašidi v pečici. Višje T povzročijo Maillardovo reakcijo, kar se lahko spremlja s prilagajanjem T sušenja in kontrolira s spremljanjem prostih AK v izdelku. Npr. pri proizvodnji pastoznih živil, pripomorejo v začetnih fazah sušenja k neencimskemu porjavenju Maillardove reakcije, visoke T sušenja in večja aktivnost vode v živilu. Če npr. pasto sušimo pri nizkih ali pri visokih T (50 ali 110 °C), povzroči visokotemperaturni proces sušenja pri 110 °C povečanje vsebnosti furosina. Furosin pa je pomemben prekursor (izhodna spojina) Maillardove reakcije. Rezultat Maillardove reakcije je tudi razgradnja AK preko tako im. Streckerjeve degradacije. Ta reakcija pa povzroči nastanek aldehydov, amonijaka in CO_2 . Aldehidi pripomorejo k razvoju arome. Pri različnih AK tako pride do nastanka različnih aldehydov in tako do različnih arom (Brennan, 2003; Srichamnong in Srzednicki, 2015).

2.6.1.5 Učinki sušenja na maščobe

Pri toplotni obdelavi živil se zaradi delovanja lipaz odvijajo hidrolitske spremembe triacilglicerolov vse do prostih MK (hidrolitska žarkost) in oksidativne spremembe (oksidativna žarkost), to so encimske reakcije oksigenacije in avtooksidacija, značilne za nenasičene MK. Avtooksidacija nenasičenih MK je verižna reakcija prostih radikalov, kjer nastanejo aldehidi, ketoni in alkoholi (spojine z določenim vonjem in okusom). Vsekakor lahko tudi tvorba prostih MK med sušenjem prispeva k neustreznim senzoričnim lastnostim (Brennan, 2003).

Hitrost oksidacije lipidov je odvisna prav od razpoložljivosti vode v živilu (a_w) (Brennan, 1993; Abramovič, 2011). Hitrost oksidacije lipidov se zmanjša okoli vrednosti $a_w = 0,4$ (slika 3), kar je posledica vezave vode na hidroperokside. S tem se prepreči razpad hidroperoksidov in nadaljevanje oksidacijskega procesa. Voda tudi hidratira kovinske ione in tako zmanjša njihov prooksidativen učinek. Nižanje a_w pod vrednost 0,4 pomeni odstranjevanje vode s hidrofilnih mest v matriksu živila. Tako postanejo molekule reaktantov bolj dostopne, izpostavljene in hitrost oksidacije večja. Prav tako je pri višji a_w reakcijska hitrost višja. Zvišanje reakcijske hitrosti je posledica nabrekanja matriksa in večje difuzije reaktantov tako, da postane kisik bolj dostopen (Abramovič, 2011).

2.6.1.6 Učinek načina sušenja na ohranjanje hranilnih snovi v živilu

Sušena otroška hrana in otroške formule so izdelki, kjer uničenje hranil lahko potencialno ogrozi otrokovo zdravje. Izbira načina sušenja ima tako velik vpliv na razgradnjo hranilnih snovi. Npr. pri proizvodnji otroške hrane se odvija manj kemijskih sprememb v živilih, pridobljenih z razpršilnim sušenjem, medtem ko sušenje na valjih povzroča neencimsko porjavenje Maillardove reakcije. V določenih primerih ima sušen izdelek tudi izboljšano prehransko vrednost, zaradi boljše dostopnosti hranil za organizem, v primerjavi s tradicionalno konzerviranim. Npr. za organizem je biološka dostopnost hranil živil, pridobljenih s sušenjem, večja od tistih živil, ki so konzervirana s sterilizacijo (Brennan, 1993).

2.6.1.7 Učinek sušenja na vitamine

Z dehidracijo se v živilih uniči tudi del vitaminov. Tako se uniči večina vitamina C (preglednica 3), vitamin B₁ (tiamin) se uniči le delno, vitamina B₂ (riboflavina) pa se uniči zelo malo (Jayaraman in Das Gupta, 1995).

Proces sušenja lahko povzroči razgradnjo vitaminov, topnih v vodi. Izguba vitamina C je odvisna od prisotnosti kovin (bakra in železa), svetlobe, vodne aktivnosti in T sušenja. Tipične izgube vitamina C med sušenjem so med 10 in 50 %. Izguba tiamina je bila zelo

raziskana. Poročajo o največ 89 % izgubah vitamina C glede na različne vsebnosti vode, T sušenja in čas sušenja. Način sušenja ima velik vpliv na ohranjanje vitaminov. Sušenje z zamrzovanjem ohranja višje vsebnosti vitamina C v živilih v primerjavi z živil, sušenimi v konvekcijskem sušilniku, kjer izgubo vitamina C pripisujemo visokim T sušenja v sušilniku ter počasnemu in daljšemu sušenju. Brennan (2003) ugotavlja, da mnogo raziskovalcev poroča o povezavi med višjo T sušenja in povečano razgradnjo vitamina C. Krajše sušenje živil ohranja višjo vsebnost vitamina C. Izguba v maščobi topnih vitaminov se pojavi kot rezultat oksidacije, ki jo spet povezujemo s T sušenja. Izgube vitaminov A, D in E so pogosto zanemarljive. Brennan (2003) navaja, da študije tudi poročajo o značilnih izgubah karotenov in tokoferolov med sušenjem. Pogosto je težko primerjati izgubo vitaminov, ker je ohranitev vitaminov odvisna od številnih dejavnikov kot so sestava živila, vrsta živila, predobdelava in pogoji sušenja (Brennan, 2003).

Preglednica 3: Izgube vitaminov A in C pri marelicah glede na vrsto živilsko-tehnološkega procesa konzerviranja (Jayaraman in Das Gupta, 1995)

Table 3: The loss of vitamins A and C at apricots depending on the type of food-technological process of food preservation (Jayaraman and Das Gupta, 1995)

Postopek	Izguba vitamina A (%)	Izguba vitamina C (%)
razpolovljene marelice žveplanje (obdelava z SO ₂), sušenje na soncu	13	74
razpolovljene marelice nežveplanje, sušenje na soncu	14	96
razpolovljene marelice žveplanje, koncentriranje	0	76
cele marelice žveplanje, valjčni sušilnik	22	82
segrete marelice koncentriranje, valjčno sušenje	10	89
segrete marelice žveplanje, valjčni sušilnik	9	91
konzerviranje, pasterizacija	42	-

2.6.1.8 Učinek sušenja na prehransko vlaknino

Prehranska vlaknina so rastlinski polisaharidi, ki jih človek s svojimi prebavnimi encimi ne more prebaviti. To nalogo opravljajo simbiotske črevesne bakterije. Prehransko vlaknino delimo na netopno (celuloza, hemiceluloza, lignin, nekateri pektini) ter na topno vlaknino (pektin, rastlinske gume, psilium, β-glukani, nekatere hemiceluloze), ki se večinoma nahajata v zelenjavi, sadju, žitaricah, stročnicah in semenih. Rdeča pesa in korenje spadata med živila, bogata s topno vlaknino. Nekateri raziskovalci štejejo med prehransko vlaknino tudi rezistentni škrob (del škroba, ki ga encimi tankega črevesa ne razgradijo). Nahaja se v semenih stročnic, žit, surovem krompirju, zelenih bananah, rižu itd. (Golob in sod., 2012).

Prehrana s premalo prehranske vlaknine lahko povzroči različna bolezenska stanja kot so zaprtje, divertikuloza, diabetes, povišan krvni tlak, degenerativne srčne in žilne bolezni, debelost, rak debelega črevesja itd. (Brennan, 2003). V zdravi prehrani odraslega človeka se dnevno priporoča najmanj 30 g prehranske vlaknine (Referenčne vrednosti za vnos hranil, 2004). Rdeča pesa vsebuje skupaj 2,53 g prehranske vlaknine/100 g vzorca, od tega 0,48 g topne prehranske vlaknine in 2,05 g netopne prehranske vlaknine. Korenje pa vsebuje 1,74 g topne in 1,89 g netopne prehranske vlaknine, kar pomeni skupaj 3,63 g skupne prehranske vlaknine/100 g vzorca (Souci in sod., 2008). Glavna značilnost topne vlaknine je, da je topna v vodi in ima s tem povezane različne pozitivne fiziološke učinke na delovanje organizma. Netopna vlaknina pa je v vodi netopna in ima pomembno vlogo pri prehodu hrane skozi prebavni trakt (Golob in sod., 2012).

Postopek sušenja vpliva na prehransko vlaknino. Toplotna obdelava žitnega zrna, ki vključuje sušenje v bobnu, povzroči večjo vsebnost topne vlaknine in manjšo vsebnost netopne vlaknine. Skupna količina prehranske vlaknine po sušenju ostaja enaka (Brennan, 2003). Vsebnost skupne prehranske vlaknine, tako topne kot netopne, se pri kuhanju korenja zniža, ker se del prehranske vlaknine izloči v vodo (Souci in sod., 2008).

2.6.1.9 Sprememba barve zaradi sušenja

Toplotno pogojene reakcije, kot so encimsko in neencimsko porjavenje, lahko bistveno spremenijo aromo in barvo izdelka. Vzrok porjavenja je lahko encimska oksidacija polifenolov in drugih občutljivih sestavin. Do encimskega porjavenja pride, če oksidacijski encimi prej niso bili inaktivirani oz. uničeni. Temperature, pri katerih običajno sušimo živila, včasih niso zadostne, da bi uničile encime. Procesi pasterizacije, blanširanja zelenjave pred dehidracijo in izključitev kisika iz izdelka inaktivirajo encime in preprečijo oksidacijo, ki vodi k porjavenju. Tudi žveplov dioksid deluje kot inhibitor za encime in se pogosto uporablja za ohranitev barve in arome sušenih izdelkov. Ker je žveplov dioksid plin, se z lahkoto odstrani pri kuhanju in pripravi živila. Živilu ga dodamo tako, da živilo pred sušenjem potopimo za določen čas v raztopino kalijevega metabisulfit. Čas namakanja je odvisen od dovoljenih koncentracij za posamezno živilo (Brennan, 2003).

Razvoj neencimskega porjavenja je posledica kemijskih reakcij - razpada askorbinske kisline, karamelizacije in Maillardove reakcije, ki so odgovorni za številne arome in barve živil med procesom sušenja. Do tvorbe temnejših pigmentov pride tudi zaradi neencimske oksidacije polifenolnih spojin (Srichamnong in Srzednicki, 2015).

Drugi tip porjavenja nekaterih živil je karamelizacija sladkorja ali nekaterih drugih snovi pri visoki temperaturi. Pri tem tipu porjavenja prehajajo sladkorji s povišano temperaturo iz bele barve preko rumene proti temnejši rjavi barvi. Pri obdelavi z zelo visokimi temperaturami dobi sladkor poleg temne barve tudi grenek okus.

Tretji tip porjavenja živil med sušenjem pa je neencimsko porjavenje ali Maillardova reakcija. Maillardova reakcija poteka med aldehidno skupino sladkorjev in amino skupino aminokislin. Maillardova reakcija poteka hitreje z višjo temperaturo in večjo koncentracijo reakcijskih komponent ob prisotnosti določene količine vode. Med sušenjem se povečuje koncentracija reaktivnih spojin. Maillardova reakcija najhitreje poteka med sušenjem, ko se vsebnost vode v živilu zmanjša za 15-20 % (slika 3). Če se vsebnost vode še naprej zmanjšuje, se porjavenje upočasni. Če pa se zniža vsebnost vode pod 2 %, se reakcija praktično prekine. Zato pri konstruiranju novih sistemov za sušenje upoštevamo, da čimprej preidemo fazo sušenja kritične vsebnosti vode v živilu: pod 20 %. Tako hitro preidemo fazo, v kateri je vsebnost vode optimalna za Maillardovo reakcijo (Brennan, 1993).

Med sušenjem, še posebej med sušenjem sadja in zelenjave, pride do sprememb barve. Npr. hitrejši postopek sušenja izboljša ohranitev barve, kar je rezultat zmanjšane razgradnje karotenoidov in klorofilov v zelenjavnih izdelkih. Razgradnja karotenoidov je največkrat posledica oksidacije. Predobdelava živila ima tudi vpliv na vsebnost karotenoidov v končnem sušenem izdelku, npr. blanširanje korenja z vodo povzroči večjo razgradnjo karotenoidov kot blanširanje korenja s paro. Predobdelava je koristna, saj neblanširani vzorci kažejo največje izgube karotenoidov. Uporaba aditivov (citronska kislina, sol in kalijev metabisulfat) pomaga ohraniti karotenoide med konvekcijskim sušenjem. Obdelava korenja z aditivi je pokazala boljši učinek pri ohranjanju karotenoidov v korenju. Klorofil je precej stabilen pri majhnih vsebnostih vode in pri nižjih T sušenja rastlinskega živila. Do razgradnje pa pride pri nižji vrednosti pH, ko se klorofil spremeni v feofitin. Izbira postopka sušenja ključno vpliva na ohranitev barve. Primerjava med konvekcijskim sušenjem in sušenjem z MV je pokazala, da ima mikrovalovno sušenje pri 60 °C manjši učinek na spremembo barve kivi kot samo konvekcijsko sušenje pri 60 °C, kjer je bilo porjavenje večje (Brennan, 2003).

2.6.1.10 Sprememba teksture živil zaradi sušenja

Dehidrirana živila včasih niso sposobna vezati toliko vode, kot so jo izgubila med sušenjem. Vzroki za manjšo rehidracijo, manjšo vezavo vode, so lahko kemijske ali fizikalne narave, zaradi poškodb celic in kapilar v živilu. Višja temperatura in koncentracija soli povzročita večjo izgubo vode iz živila in posledično delno denaturacijo beljakovin. Posledica te denaturacije beljakovin je, da pri ponovni vezavi vode (rehidraciji) živilo ne more več popolnoma vsrkati in vezati vode. Tudi nekatere druge sestavine živil (škrob) se spremenijo. Pri rehidraciji poškodovanih celic pride do izgube turgorja oz. notranje moči celice, ki ne more vsrkati in vezati toliko vode kot jo je izgubila med sušenjem (Brennan, 1993).

2.6.1.11 Spremembe arome živil

Med procesom sušenja se pojavi še ena kemijska sprememba v živilih. Zmanjša se namreč vsebnost lahkih hlapnih snovi, ki oblikujejo specifično aromo živila. Aroma je zaznava kombinacije vonja in okusa. Včasih je ta izguba hlapnih snovi neznatna. Praktično nemogoče je doseči, da bi popolnoma preprečili to izgubo. Poznamo več načinov ohranjanja arome:

- v posebne naprave lovimo hlapne snovi, nato jih utekočinimo in vračamo sušenemu izdelku,
- sušenim izdelkom dodajamo koncentrate arom iz drugih virov,
- tekočemu živilu dodajamo pred dehidracijo določene snovi, ki vežejo nase komponente arome in jih tako zadržujejo v živilu med sušenjem,
- nekatere snovi imajo encimske sisteme, ki katalizirajo nastajanje značilnih aromatičnih snovi; tu pazimo, da med sušenjem ne uničimo teh encimov. V primeru inaktivacije encimov pa dodamo v posušene izdelke pripravke izoliranih encimov (Brennan, 2003).

2.7 BIOAKTIVNE SNOVI IN ANTIOKSIDATIVNI POTENCIAL ŽIVIL RASTLINSKEGA IZVORA

Raziskave s področja antioksidativnega potenciala (AOP) živil so predvsem osredotočene na postopke predelave in ohranjanje antioksidantov (AO) v živilih. Med postopkom predelave prihaja do kompleksnih reakcij, ki lahko bistveno spremenijo AOP živila. Do velikih sprememb pride tudi po zaužitju, saj med metabolno aktivnostjo v procesu prebave lahko nekatere snovi bistveno spremenijo svoje lastnosti (Hribar in Simčič, 2000).

2.7.1 Antioksidanti

Antioksidanti so snovi, ki lahko direktno reagirajo z reaktivnimi radikalskimi zvrstmi ali upočasnijo njihov nastanek oz. preprečijo oksidacijo drugih snovi. Pri tem se AO pretvarjajo v nove oblike, nekatere lahko še naprej delujejo antioksidativno. Antioksidanti, ki jih dodajamo živilom, morajo biti učinkoviti že v majhnih količinah, s hitrim odzivnim časom, morajo biti netoksični vključno z njihovimi oksidacijskimi in reakcijskimi produkti po interakciji s sestavinami živila. Glede na način učinkovanja opredelimo AO na primarne in sekundarne antioksidante. Primarni antioksidanti uspešno reagirajo z radikali in jih spremenijo v stabilnejše oblike tako, da prekinjajo veržno radikalsko reakcijo oksidacije lipidov. Take spojine vsebujejo hidroksilno skupino (fenolne spojine), sulfhidrilno skupino (cistein, glutation) in aminoskupino (sečna kislina, spermin, proteini). V živilski tehnologiji se kot antioksidantni lovilci radikalov največ uporabljajo fenolne spojine (fenolne kisline, flavonoidi, hidroksikinon in njegovi derivati, tokoferoli itd.) ter kot primarna antioksidanta tudi β -karoten in askorbinska kislina. Sekundarni antioksidanti so

lovilci kisika (npr. askorbinska kislina, β -karoten, askorbil palmitat, sulfiti) ali pa vežejo kovinske ione v komplekse (npr. etilendiaminotetraocetna kislina (EDTA), citronska kislina, vinska kislina, polifosfati, fosfolipidi, AK, peptidi, proteini, flavonoidi), razgrajujejo hidroperokside v netoksične snovi, absorbirajo UV svetlobo in deaktivirajo singletni kisik. Preko teh procesov upočasnijo začetne reakcije in zmanjšajo obseg reakcij lipidne oksidacije. Sekundarni antioksidanti zmanjšajo učinek prooksidantov in povečajo delovanje primarnih antioksidantov. Delujejo kot sinergisti (Abramovič, 2011).

Danes je splošno uveljavljeno in dokazano dejstvo, da redno uživanje pestre, mešane hrane, kjer sta v vseh obrokih in v večjih količinah vedno prisotna sadje in zelenjava, zmanjšuje oksidativno obremenitev organizma. Naše telo je stalno izpostavljeno oksidativnim dejavnikom iz zraka, vode in hrane. Oksidativne poškodbe celic so del normalnega življenjskega cikla in so najpogostejši vzrok za nastanek raka, staranje in pojav degenerativnih bolezni. Hkrati pa se vzporedno v našem telesu odvijajo antioksidativni procesi kot obrambni mehanizmi (protirakavo delovanje antioksidantov, preprečevanje oksidacije in popraviljanje nastalih sprememb zaradi oksidacije) pred škodljivimi učinki oksidantov. V normalnih fizioloških razmerah zdravega organizma so učinki oksidativnih dejavnikov v ravnovesju z učinki antioksidantov (Kočevar Glavač, 2013).

Lahko pa oksidativne poškodbe presežejo zmogljivosti obrambnega antioksidativnega sistema, kar privede do homeostaznega neravnovesja in nastanka oksidativnega stresa. Najpomembnejši oksidanti, katerim so izpostavljene naše celice in makromolekule v našem organizmu, so kisik, reaktivne kisikove zvrsti (superoksidni, hidroksilni in hidroperoksilni radikali, vodikov peroksid in hipoklorit) in reaktivne dušikove zvrsti kot sta dušikov oksid in peroksinitrit (Kočevar Glavač, 2013; Halliwell, 1991).

Oksidacija je proces spajanja elementov s kisikom, pri čemer nastajajo oksidi teh elementov. Prav tako lahko oksidi nastajajo v reakcijah z drugimi spojinami, ki oddajajo kisik in jih imenujemo oksidanti. Oksid lahko v drugi reakciji odda kisik in preide nazaj v elementarno stanje, torej se reducira. Snov, ki sprejema v tej reakciji kisik je reducent in se v tej reakciji oksidira. Torej je oksidacija oddajanje in redukcija sprejemanje elektronov, pri čemer velja pravilo, da elektrone, ki jih reducent odda in se pri tem oksidira, sprejme druga snov, oksidant, ki se reducira. Oba procesa, oksidacija in redukcija, potekata vedno hkrati kar imenujemo redoks reakcija (Kač, 2000).

Sadje in vrtnine so bogat vir naravnih AO. V rastlinskem svetu so pomembni antioksidanti vitamin C, vitamin E, karotenoidi, terpeni ter skupina fenolnih spojin (flavonoidi, katehini, antocianini). Vsebnost AO predstavlja osnovni parameter kakovosti živila in vpliva na skladiščno sposobnost in stabilnost izdelka, ohranjanje prehranske vrednosti, ohranjanje senzorične kakovosti, primeren videz in obstojnost barve živila, kakovost osnovne

surovine (povečan potencial za predelavo živil) in ohranjanje učinkovin, ki pozitivno vplivajo na zdravje ljudi (Hribar in Simčič, 2000).

Antioksidante predstavljajo snovi, ki upočasnijo oz. preprečijo oksidacijo substratov. Endogeni antioksidanti, ki so fiziološko prisotni v naših celicah, so nekateri encimi (katalaze, superoksid-dismutaze in glutathion-peroksidaze) in nizkomolekulske spojine kot so glutathion, koencim Q, bilirubin in melatonin. Najpomembnejše eksogene antioksidante, ki jih zaužijemo z rastlinsko hrano pa predstavljajo fenolne spojine, karotenoidi, vitamin C, vitamin E. Potrdili so pomembno vlogo posameznih učinkovin zgoraj naštetih antioksidantov v hrani, vendar hkrati tudi dokazali, da učinki posameznih ne morejo zajeti širokega preventivnega delovanja. Za sinergistično delovanje antioksidantov je veliko bolj pomembno uživanje zdrave hrane kot pa uporaba prehranskih dopolnil. Ker imajo antioksidanti v prehrani dokazano ugodne učinke na številne patološke procese v celicah, se jih uporablja kot pomembne sestavine prehranskih dopolnil. Pri tem je potrebno opozoriti, da imajo lahko nekateri, npr. flavonoidi, v prevelikih koncentracijah tudi toksične učinke, zato je pri daljši uporabi le teh potrebna pazljivost. Zavedati se je potrebno tudi tega, da je trženje s prehranskimi dopolnili urejeno z manj strogimi predpisi kot trženje zdravil, zato jih je mogoče enostavno kupiti (Kočevar Glavač, 2013).

Aktivnost in delovanje vsakega antioksidanta sta odvisna od interakcij ostalih komponent antioksidativnega delovanja, od njegove koncentracije, reaktivnosti proti reaktivnim zvrstem in od stanja ostalih antioksidantov, s katerimi medsebojno reagira. Pomembna je tudi prisotnost nekaterih kovinskih ionov, kot sta cink in selen, ki sta kofaktorja antioksidativnih encimov oz. pomembna antioksidativna nutrienda, ki pripomoreta k zaščiti pred nastankom prostih radikalov v celici (Abram, 2000).

2.7.1.1 Karotenoidi

So lipofilne spojine (hidrofobni, popolnoma netopni v vodi), ki se skladiščijo v hidrofobni notranjosti membran, v krvi v lipoproteinih, v adipoznem tkivu (80-85 % celotne količine v telesu) in jetrih (8-12 %). So rumena, oranžna in rdeča barvila, ki jih sintetizirajo bakterije (npr. *Staphylococcus aureus*), glive, alge in rastline (Britton, 1998). Živali in človek sta vezana na vnos karotenoidov s hrano. Npr. likopen je odgovoren za rdečo barvo paradižnika, β -karoten za oranžno barvo korenja, kapsantin za intenzivno rdečo barvo paprike in astaksantin za rdečo barvo morskih živali npr. rakov, polžev, lososov (Pečar in Mravljak, 2015). Karotenoidi so dolgoverižni nenasičeni ogljikovodiki, nastali iz osmih izoprenskih enot, zato jih prištevamo med izoprenoide oz. terpene ali terpenoide. Delimo jih na karotene in ksantofile (lutein). Karotenoidi so zelo občutljivi na kisik in svetlobo, na njihovo obstojnost pa vplivajo tudi T, vrednost pH in prisotnost kovin (Abramovič, 2011).

Karotenoidi so znani po svojih antioksidativnih lastnostih (odstranjujejo kisik), kajti *in vitro* raziskave so za karotenoide pokazale učinkovito ustavljanje radikalskih reakcij, preprečevanje oksidacije LDL in oksidativnih poškodb DNA, npr. poškodb oči in kože (Mueller in Boehm, 2011). Nasprotno pa so z raziskavami ugotovili, da povečana koncentracija karotenoidov v telesu lahko povzroči zmanjšano antioksidativno aktivnost in celo pojav prooksidativnih procesov (Pečar in Mravljak, 2015). Najboljši odstranjevalec singletnega kisika *in vitro* je β -karoten, ki pretvori reaktivni singletni kisik v manj reaktivno molekulo tripletnega kisika. Ena molekula β -karotena lahko odstrani na tak način 1000 molekul singletnega kisika (Pečar in Mravljak, 2015; Abramovič, 2011).

Karotenoidi so nestabilni na zraku in lahko hitro oksidirajo. Pri analizah je potrebno upoštevati te degradacijske vplive (Amorim-Carrilho in sod., 2014). Če pustimo raztopino β -karotena v temi pri sobni temperaturi, nastanejo oksidirani produkti vključno z epoksidi, aldehidi (retinal, vitamin A), ketoni in dihidrofurani. Začetni produkti se lahko sčasoma pretvorijo v bolj oksidirane produkte s krajšimi alkilnimi verigami. Določeni med njimi imajo *in vitro* citotoksične učinke. Lahko nastanejo epoksidi in alkoksilni radikali (Pečar in Mravljak, 2015; Britton in Khachik, 2009).

V bioloških membranah, zaradi prisotnosti večkrat nenasičenih lipidov, lahko tako epoksid kot alkoksilni radikal sprožita lipidno peroksidacijo, kar pomeni, da je β -karoten prooksidant v okolju, bogatim s kisikom. β -karoten zavre oksidacijo lipidov *in vitro* le pri nizkih koncentracijah kisika ($pO_2 < 150$ mm Hg) (Pečar in Mravljak, 2015; Abramovič, 2011). β -karoten je najbolj učinkovit pri koncentraciji do 5×10^{-5} mol/L, pri višji koncentraciji pa deluje prooksidativno (Abramovič, 2011).

V primerjavi s hidrofilnimi antioksidanti, ki reagirajo v citoplazmi in v krvni plazmi z različnimi oksidanti, pa lipofilni antioksidanti (β -karoten, retinol) ščitijo celične membrane pred lipidno peroksidacijo (Storz in Imlay, 1999). Lipidna peroksidacija je pravzaprav porušenje ravnotežja antioksidativnih in prooksidativnih procesov v celici, ki so lahko posledica zmanjšane delovanja endogenih antioksidantov, encimov, ki skrbijo za razgradnjo toksičnih intermediatov respiratornega metabolizma, ali zaradi nezadostnega vnosa eksogenih antioksidantov s hrano oz. motenega privzemanja le-teh v telo. Poleg tega so lahko vzrok za lipidno peroksidacijo dejavniki, kot je stres, sevanje, toksini, izpostavljenost večjim fizičnim in psihičnim naporom, ki privedejo do povečanega nastanka reaktivnih dušikovih zvrsti (Kočevar Glavač, 2013).

Vir karotenoidov sta sadje in zelenjava intenzivne oranžne, rumene in rdeče barve. Veliko α -karotena najdemo v bučah, korenju, koruzi, rumeni papriki, veliko β -karotena v korenju, brokoliju, mangu, marelicah, rdeči papriki, ohrovту in špinaci. Karotenoidi se najboljše absorbirajo, če jih uživamo skupaj s hrano, ki vsebuje več maščob. Nasprotno se absorpcija

zmanjša ob uživanju hrane z več vlaknine. Zanimivo je, da njihovo absorpcijo močno izboljšamo s toplotno obdelavo hrane (Kočevar Glavač, 2013).

Korenje vsebuje antioksidante kot je vitamin C, iz skupine karotenoidov največ β -karotena, iz katerega se v telesu sintetizira vitamin A, nato vsebuje iz te skupine tudi α -karoten in lutein, iz skupine hidroksicimetnih kislin kavno, kumarno, ferulno kislino ter iz skupine antocianidinov cianidine in malvidine. Obstaja povezava med višjimi plazemskimi koncentracijami α -, β -karotena in likopena in manjšo verjetnostjo za razvoj možganske kapi. Nasprotno pa redni vnos β -karotena in α -tokoferola ne zmanjša tveganja za razvoj pljučnega raka pri kadilcih (Kočevar Glavač, 2013; Stahl in Sies, 2003).

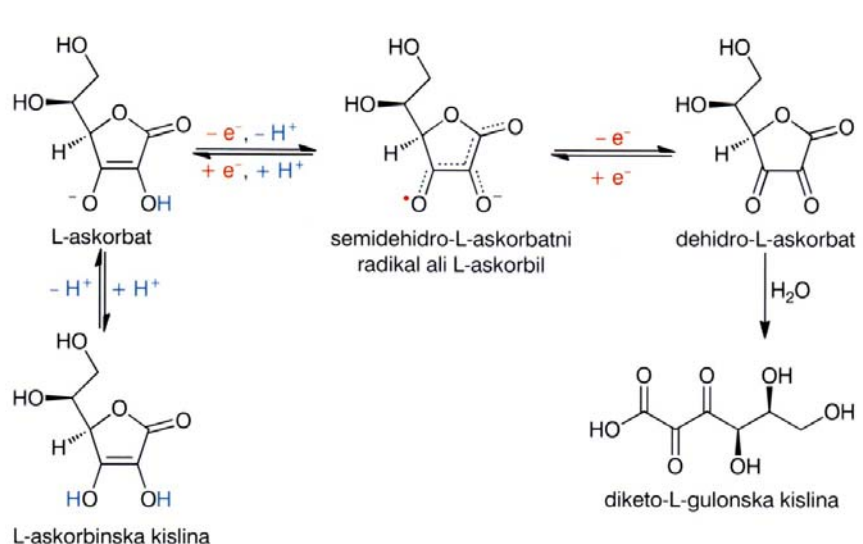
Pomembnejša biološka funkcija α - in β -karotena ter β -kriptoksantina je provitaminsko delovanje, saj se ti karotenoidi v intestinalnih celicah pretvorijo do retinola (vitamin A). Med vitamin A spadajo spojine, ki imajo biološko aktivnost retinola in jih imenujemo retinoidi. Rastlinski karotenoidi, ki se v telesu metabolizirajo do retinola, so torej provitamini A. Vitamin A je nujen za vid ter za rast in diferenciacijo celic (Kočevar Glavač, 2013). Vitamin A lahko nastane iz več kot 50-ih karotenoidov, izjemi sta likopen in lutein. Najpomembnejši vir za nastanek vitamina A je β -karoten (Britton in Khachik, 2009).

Največ karotenoidov se absorbira v dvanajstniku, vendar je njihova biološka aktivnost odvisna od prisotnosti maščob v hrani in od izločanja žolča. Del karotenoidov se pretvori ob delovanju encima β -karoten 15,15'-dioksigenaza v celicah sluznice dvanajstnika do retinala, ki se naprej z retinol dehidrogenazo pretvori do retinola. Količina encimov upade ob nasičenosti telesa z retinolom, tako da visoki odmerki β -karotena ne povzročijo kopičenja presežnega vitamina A. Preostali karotenoidi vstopijo v telo s hilomikroni in se podobno kot tokoferoli nalagajo v tkiva s pomočjo lipoproteinov. Poleg dvanajstnika se β -karoten presnavlja v retinol tudi v jetrih in drugih tkivih (Pečar in Mravljak, 2015).

2.7.1.2 Askorbinska kislina (vitamin C)

Je najpomembnejši vodotopni eksogeni antioksidant in redukcijski kofaktor vsaj osmih encimov, ki skrbijo za normalno sintezo kolagena in s tem dobro celjenje ran in trdnost žilnih sten, skrbijo za sintezo noradrenalina in karnitina in sodelujejo v presnovi tirozina. Vitamin C lahko deluje hkrati kot antioksidant in prooksidant v telesu, kar pomeni, da ima ob redukciji vodikovega peroksida antioksidativno delovanje, hkrati pa tudi reducira kovinske ione, ki povzročijo nastanek prostih radikalov s Fentonovo reakcijo (Rudan-Tasič, 2000). To delovanje je odvisno od koncentracije snovi, prisotnosti kisika in kovinskih ionov. Askorbinska kislina je zaradi dveh kislih $-OH$ skupin, pri fiziološkem pH monoanion, ki ga imenujemo askorbat. Rastline in večina živali lahko sintetizirajo vitamin C iz glukoze, pri človeku, večini primatov, morskih prašičkih, nekaterih ribah, pticah in

netopirjih pa je med evolucijo prišlo do okvare gena za encim, ki katalizira zadnjo stopnjo biosinteze L-askorbata. Ker vitamina C ne sintetiziramo sami ga moramo dnevno v več intervalih zagotavljati s hrano. Pri biosintezi askorbata na račun encima L-gulonolakton oksidaze, nastaja tudi vodikov peroksid, kar bi lahko pri živalih in človeku na račun visoke stopnje sinteze askorbata in s tem vodikovega peroksida vodilo v oksidativni stres. Pri rastlinah pa pri sintezi askorbata vodikov peroksid ne nastaja, kar pripisujemo evoluciji. Askorbat lahko v zaužiti hrani reducira železo Fe^{3+} v Fe^{2+} in omogoča absorpcijo v dvanajstniku. Askorbat se oksidira vse do askorbil radikala, ki je slabo reaktiven, a stabilen radikal, kar pomeni, ko reaktivni radikali reagirajo z askorbatom, nastane mnogo stabilnejši askorbil radikal, ki razpade na askorbat in nestabilen dehidroaskorbat, ki se v vodnem okolju razgradi najprej do diketo-L-gulonske kisline in naprej še do množice drugih produktov (slika 4). Vodna raztopina L-askorbata je stabilna pri vrednosti pH 7,4, če ni prisotnih ionov kovin, ki katalizirajo oz. pospešijo njegovo oksidacijo s kisikom. Zato se pri pripravi jedi odsvetuje uporaba bakrene posode, če želimo ohraniti vsebnost askorbata. Pri oksidaciji askorbata, ki jo povzročijo Fe in Cu ioni, nastajata vodikov peroksid in hidroksilni radikal ($\text{HO}\cdot$ - reaktivna kisikova zvrst), ki lahko poškodujeta DNA celic. Koncentracija askorbata v plazmi znaša 30 – 90 μmol ov, višja je v likvorju, očesni tekočini, semenski tekočini in želodčnem soku, v mnogih celicah dosega celo milimolarne vsebnosti, kar zadostuje za antioksidativno delovanje. Z rednim uživanjem zelenjave in sadja 5-krat na dan ni težko doseči priporočenega dnevnega odmerka 200 mg. Pri zdravih ljudeh z uravnoteženo prehrano je dodaten vnos askorbata v obliki prehranskih dopolnil nepotreben. Večje potrebe po askorbatu imajo podhranjeni ljudje, kadilci in diabetiki. Do izčrpanja telesnih zalog askorbata pride največkrat pri bolnih ljudeh z odpovedjo ledvic oz. tistih, ki so v dolgotrajni intenzivni negi (Pečar in Mravljak, 2015).

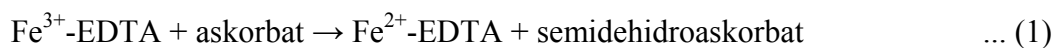


Slika 4: Strukture L-askorbinske kisline, L-askorbata in oksidiranih produktov (Pečar in Mravljak, 2015)

Figure 4: Structures of L-ascorbic acid, L-ascorbate and products of oxidation (Pečar and Mravljak, 2015)

V telesnih tekočinah zdravih ljudi dehidroaskorbata praktično ni, ker se razgradi oz. ga privzemajo eritrociti, nevtrofilci in druge celice, ki ga reducirajo nazaj do intracelularnega askorbata - revitalizacija vitamina C. Večina tkiv pa vsebuje encime (askorbat in dehidroaskorbat reduktaze), ki lahko reducirajo askorbilni radikal ali dehidroaskorbat nazaj v askorbat. Obstajajo študije, ki potrjujejo, da sta glutathion (endogeni antioksidant) in askorbat *in vivo* medsebojno povezana. Izčrpanje zaloga glutathiona je letalno za morske prašičke ali novorojene podgane, smrt pa lahko preprečimo le z zadostnimi odmerki askorbata in ne dehidroaskorbata. Pojav skorbuta pri morskih prašičkih, hranjenih s hrano brez askorbata, lahko upočasimo z dodajanjem prekurzorjev glutathiona. Ugotovljeno je bilo tudi, da z nižanjem zaloga glutathiona v izoliranih živalskih hepatocitih spodbudi sintezo askorbata. V limfocitih človeka sta koncentraciji glutathiona in askorbata soodvisni in s starostjo človeka upadata (Pečar in Mravljak, 2015).

Prooksidanti sprožijo oksidativni stres s tvorbo ROS (reaktivne kisikove spojine) ali z inhibiranjem antioksidativnih sistemov. Prooksidativni učinki vitamina C *in vitro* so posledica redukcije Fe^{3+} in Cu^{2+} ionov, ki vstopajo v Fentonovo reakcijo. V laboratoriju se za tvorbo $\text{HO}\cdot$ pogosto uporablja zmes Fe^{3+} -EDTA, H_2O_2 in askorbata (enačbi 1 in 2). Zmesi askorbata z železovimi in bakrovimi ioni uporabljajo *in vitro* za inaktivacijo encimov, za sprožitev lipidne peroksidacije in za druge oksidativne poškodbe. Tvorbo $\text{HO}\cdot$ so dokazali v želodcu poskusnih živali ob vnosu askorbata s temi kovinskimi ioni in pri raztapljanju vitaminskih tablet v pitni vodi, ki vsebuje kovinske ione (Pečar in Mravljak, 2015).



Prooksidativno delovanje askorbata predstavlja problem v živilski industriji in pri pripravi parenteralne prehrane. Ker pa so ioni železa in bakra v večini ekstracelularnih tekočin vezani v oblike, ki ne katalizirajo radikalnih reakcij, so prooksidativni učinki askorbata omejeni. Pri poškodbi tkiva se vedno sprostijo kovinski ioni in na mestu poškodbe potekajo procesi oksidacije, pojavi se vnetje še dodatno na račun mikroorganizmov. Dokaz za potek nenadzorovanih oksidacij je zmanjšanje koncentracije askorbata na mestu poškodbe. Askorbat se namreč porablja za redukcijo reaktivnih zvrsti in obnovo α -tokoferola, nastali dehidroaskorbat pa se v celicah pretvori nazaj do askorbata. Škodljivi učinki askorbata lahko nastopijo tudi s previsokimi koncentracijami vnosa askorbata v telo, kar povzroči *in vitro* glikacijo proteinov, pri redukciji lipidnih peroksidov pa nastanejo citotoksični aldehidi (HNE) s katerimi lahko askorbat kovalentno reagira. Konjugat HNE-askorbat so uspeli določiti v krvni plazmi, kar potrjuje ta proces *in vivo* (Pečar in Mravljak, 2015).

Ker je vitamin C dobro topen v vodi, se hitro izloči iz organizma. Višek se torej presnovi v oksalat in izloči z urinom. Nekontrolirano jemanje askorbata tako poveča tveganje nastanka oksalatnih ledvičnih kamnov, kajti ultrafiltracija in reabsorpcija askorbata potekata v ledvicah. Aktivni privzem celic z askorbatom je omejen na dnevni vnos cca. 200 mg, višek vitamina C pa se izloči. Kadalci imajo večjo potrebo po vitaminu C (250 mg). Zanimivo je, da klinične študije ne dokazujejo, da povečan vnos askorbata pripomore k hitrejšemu prebolevanju gripe in prehlada (Pečar in Mravljak, 2015).

2.7.2 Vpliv načina pridelave na vsebnost antioksidantov v zelenjavi

Glede učinkov na zdravje ljudi je bila z raziskavami dokazana večja antioksidativna učinkovitost pri ekološko pridelani zelenjavi v primerjavi s konvencionalno pridelano. Pri ekološko pridelani zelenjavi (korenje, rdeča pesa, krompir idr.) so z analizami ugotovili tudi manjše izgube v prehranski vrednosti teh živil (Huber in sod., 2011).

Prevelika količina dušika v tleh, kar je posledica prevelike obdelave zemlje z dušikom, zmanjšuje čvrstost zelenjave in slabo vpliva na aromo živila. Tako gnojenje poveča vsebnost nitratov, ki škodljivo vplivajo na zdravje ljudi (v reakciji z amini se tvorijo kancerogeni nitrozamini, povzročitelji levkemije in raka prebavil) ter zmanjša se vsebnost vitamina C in vsebnost β -karotena. Listnata zelenjava vsebuje več vitamina C. V ekološko pridelani rdeči pesi in korenju so z analizami dokazali večje vsebnosti magnezija, fosforja, kalija in kalcija ter pri ekološko pridelani rdeči pesi še dodatno več cinka in železa v primerjavi s korenjem in rdečo peso vzgojenima na konvencionalen način. V raziskavah je dokazano, da imajo pridelki ekološke pridelave, kot so sladka paprika, korenje, paradižnik, v primerjavi s konvencionalno pridelanimi boljše, polnejšo aromo, večjo vsebnost suhe snovi, manjšo vsebnost pesticidov in težkih kovin ter vsebujejo več mineralov, β -karotena, omega-3-maščobnih kislin, vitamina C in fenolnih spojin. Vitamin C in fenolne spojine imajo kemopreventivno vlogo zaščite pred spreminjanjem celic v rakave celice, zavirajo proliferacijo in inducirajo apoptozo (Huber in sod., 2011, Rembialkowska, 2004).

Prav tako so pri ekološko pridelani zelenjavi ugotovili boljše sposobnost za skladiščenje, manj gnitja in razkroja na račun višje vsebnosti suhe snovi in sekundarnih metabolitov. Ob teh raziskavah so možne razlike med ekološko pridelano vrsto zelenjave glede na genotip, fazo dozorevanja, starosti pridelka kot tudi od tipa gnojil in pesticidov ter tipa tal, mikrolokacije in vremenskih razmer (Rembialkowska, 2004).

2.7.3 Vpliv načina predelave na skupni antioksidativni potencial

Med tehnološkim postopkom lahko pride do zmanjšanja antioksidativnega potenciala živila zaradi razpada naravno prisotnih antioksidantov ali zaradi nastanka komponent z oksidativnimi lastnostmi. Do povečanja antioksidativnega potenciala lahko pride zaradi

nastanka komponent z antioksidativnimi lastnostmi ali zaradi povečanja antioksidativnih lastnosti že prisotnih antioksidantov (Hribar in Simčič, 2000).

Med postopkom predelave prihaja do kompleksnih reakcij, ki lahko bistveno spremenijo antioksidativni potencial živila. Do velikih sprememb pride tudi po zaužitju, saj med metabolno aktivnostjo v procesu prebave lahko nekatere snovi bistveno spremenijo svoje lastnosti. Nekatere snovi lahko iz antioksidantov postanejo prooksidanti in obratno (Hribar in Simčič, 2000).

Predelava ima minimalen učinek na AOP živila pri toplotni obdelavi živil, ki vsebujejo karotenoide. Likopen in β -karoten sta zelo obstojna tudi pri dolgotrajnem kuhanju in sterilizaciji. Večina antioksidantov izgubi v procesu predelave antioksidativne lastnosti zaradi nestabilnosti. Raziskave so usmerjene v obravnavo vpliva različnih toplotnih procesov na oksidativno in termično razgradnjo askorbinske kisline. Pri toplotni obdelavi sadja in zelenjave pride do dodatnih izgub antioksidantov, ker nastopajo polifenoli in askorbinska kislina kot reaktanti v Maillardovi reakciji. Procesi lahko potekajo različno hitro glede na reakcijske pogoje, kot so temperatura, a_w , pH, dostopnost kisika, čas trajanja reakcije. Vsi omenjeni pogoji bistveno vplivajo na zmanjšanje ali povečanje antioksidativnih lastnosti živil pri isti vrsti oksidacijskega procesa (Hribar in Simčič, 2000).

Preglednica 4: Antioksidativna aktivnost stisnjenega soka rdeče pese, tretirane pod različnimi pogoji in načini segrevanja; TE-troloks ekvivalent (Slavov in sod., 2013)

Table 4: Antioxidative activity of squeezed beetroot juice studied at different conditions and types of warming; TE-Trolox Equivalent (Slavov et al., 2013)

Sok ali vodni ekstrakt/ obdelava	ORAC ($\mu\text{mol TE/L}$)	Suha snov (%) (refraktometrično)	Betalaini (mg/mL)
sveže stisnjen pesin sok	9508 $\pm$ 450	6,5 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1
pesin ekstrakt	278 $\pm$ 45	0,5 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,0
sveže stisnjen pesin sok (mikrovalovno segrevanje)	19832 $\pm$ 780	10,5 $\pm$ 0,3	1,34 $\pm$ 0,2
pesin ekstrakt (mikrovalovno segrevanje)	855 $\pm$ 56	0,7 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,0
pesin ekstrakt (segrevanje 5 min, 100 °C)	2358 $\pm$ 102	1,3 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,0
pesin ekstrakt (segrevanje 15 min, 100 °C)	1639 $\pm$ 78	0,9 $\pm$ 0,2	0,2 $\pm$ 0,0

V metanolnem ekstraktu olupkov rdeče pese so identificirali betalaine (antioksidante) s HPLC z detekcijo s serijo diod (HPLC-DAD) in z masno spektrometrijo (HPLC/ESI-MS). V ekstraktu pese so določili naslednje pomembne betalaine: vulgaksantin I, vulgaksantin II, indikaksantin, betanin, prebetanin, izobetanin in neobetanin. Odkriti so bili tudi

ciklodopa glukozid (ciklo-3-(3,4-dihidroksifenilalanin)), N-formilciklodopa glukozid, glukozid dihidroksi-indol karboksilne kisline, betalaninska kislina, L-triptofan, *p*-kumarna kislina ter sledovi neznanih flavonoidov, ki delujejo v prehrani antioksidativno (Kujala in sod., 2001).

Slavov in sod. (2013) so določali antioksidativno aktivnost stisnjenega soka rdeče pese, obdelane pod različnimi pogoji in načini segrevanja. Največjo antioksidativno vrednost (19.832 $\mu\text{mol TE/L}$) je imel pesin sok, predhodno tretiran v mikrovalovni pečici, kar je verjetno posledica boljše ekstrakcije polifenolov iz skupine rastlinskih pigmentov betalainov (preglednica 4) (Slavov in sod., 2013).

Pesin sok se pogosto dodaja v različnih koncentracijah (25 %, 50 %, 75 %) sadnim sokovom iz borovnic, aronije, robidnic in črnega ribeza, z namenom povečanja antioksidativne vrednosti soka. Večja moč mikrovalovnega segrevanja, z daljšim časom in povišanjem temperature nad 60 °C je v tej kombinaciji privedla do uničenja betalainov. Zato so optimizirali pogoje segrevanja z mikrovalovi z močjo 450 W za 12 min v intervalih (4 x 3 min), z vmesnimi ohlajevanji v temi do sobne temperature, da so preprečili povišanje temperature nad 50-55 °C. Podaljševanje toplotne obdelave pesinega soka namreč privede do dodatnega zmanjšanja betalainov (betacianinov in betaksantinov) v primerjavi s sveže stisnjenim pesinim sokom, kar so dokazali s segrevanjem za 5 min na 100 °C oz. segrevanjem soka za 15 min, 100 °C (preglednica 4) (Slavov in sod., 2013).

Obsežna študija o učinkih segrevanja, zamrzovanja in dolgotrajnega zamrzovanja na bioaktivne snovi v zelenjavi je pokazala, da se je pri teh procesih obdelave in shranjevanja živil ohranila večina mineralov. Občutno bolj občutljivi pa so fenolni antioksidanti in vitamini, kjer so dokazali 20-30 % manjše antioksidativno delovanje po kratkem segrevanju na 100 °C. Do ene tretjine se je pri segrevanju izgubila vsebnost vitamina C. Med samim skladiščenjem pri -18 °C ni bilo odkritih večjih izgub vitamina C. Pri segrevanju se vsebnost folne kisline zmanjša za 50 %, vendar pri zamrzovanju njena vsebnost ostane stabilna. Na karotenoide in sterole ni vplivalo niti segrevanje niti zamrzovanje zelenjave (Puupponen in sod., 2003).

Rakcejeva in sod. (2011) so raziskovali sušenje buč v vakuumu z MV (mikrovalovi). Buče so posušili do vsebnosti vode $9 \pm 0,10 \text{ g/100 g}$ in tako za 10,5 krat zmanjšali začetno vsebnost vode. V posušeni buči je vsebnost sladkorjev znašala $2,4 \pm 0,10 \text{ g/100 g}$, vsebnost vitamina C $0,26 \pm 0,09 \text{ g/100 g}$ in karotenoidov $0,50 \pm 0,08 \text{ g/100 g}$. Med procesom sušenja buč se je vsebnost vitamina C 2-krat znižala v primerjavi z vsebnostjo vitamina C v svežih vzorcih, kar je mogoče pripisati toplotni nestabilnosti in oksidacijskim procesom vitamina C in karotenoidov na račun izpostavitve živila zraku in svetlobi med pripravo na sušenje. Vitamin C je eden najmanj stabilnih vitaminov, ki se lahko uniči med pripravo, obdelavo in skladiščenjem. Najbolj škodljivi dejavniki, ki vplivajo na uničenje

vitamina C so poleg višjih T tudi izpostavljenost zraku, daljše sušenje ob prisotnosti kisika in izpostavljenost svetlobi (Rakcejeva in sod., 2011).

Wu in sodelavci (2010) navajajo, da je najobetavnejši način sušenja, glede kakovosti in AOP izdelka, zamrzovalno sušenje z MV. Huang in Zhang (2012) poročata, da se je v krompirjevem čipsu najbolj ohranil vitamin C (80-90 %) pri zamrzovalnem sušenju z mikrovalovi, sledi vakuumsko sušenje (ohrani se 55-65 % vitamina C), najmanj vitamina C pa se ohrani pri cvrtju (40-60 %).

2.7.4 Primerjave učinkov različnih načinov sušenja na bioaktivne snovi

Izbira načina sušenja ima neposreden učinek na poslabšanje stanja bioaktivnih molekul v hrani. Različni načini in pogoji sušenja močno vplivajo na stopnjo ohranitve pomembnih bioaktivnih sestavin. Ključne bioaktivne snovi, ki so povezane s kakovostjo izdelka, so askorbinska kislina, β -karoten, lizin in klorofil (Brennan, 2003).

Brennan (2003) navaja, da ima na slabšo kakovost sušenih rib večji vpliv daljši čas sušenja (krajše čase sušenja lahko dosežemo z vakuumskim sušenjem) kot pa višje temperature sušenja. Pri sušenju lososa se je vsebnost v maščobi raztopljenega α -tokoferola zmanjšala pri višji temperaturi sušenja. Vsebnost karotenoida astaksantina pa je pri sušenju pri 40 °C in daljšem času sušenja ostala enaka, pri sušenju pri 50 in 60 °C pa je bila vsebnost astaksantina večja. To nakazuje na stabilnost astaksantina, glavnega karotenoidnega pigmenta pri vodnih živalih, pri uporabljenih pogojih.

Dokazali so tudi oksidacijo lipidov med sušenjem. Za to meritev so uporabili TBA-indeks, ki se uporablja za vrednotenje učinka sušenja. Povečane vrednosti TBA-indeksa kažejo na večje učinke sušenja glede oksidacije lipidov. Povečane vrednosti TBA-indeksa so bile opažene pri vseh temperaturah sušenja, medtem ko je bil TBA-indeks najmanjši pri sušenju z višjimi temperaturami, zaradi krajšega časa sušenja. Drugi podatek za stopnjo oksidacije živila je določanje vsebnosti anisidina - aldehida sekundarnih produktov lipidne oksidacije. Sušenje je povečalo vsebnost anisidina, kajti sušenje povzroči hitro razgradnjo hidroperoksidov v sekundarne oksidacijske produkte (alkoholi, aldehidi, ketoni, kisline, dimeri, trimeri, polimeri, ciklične spojine in prosti radikali) predvsem na račun hidrolitične in oksidativne razgradnje pri visokih temperaturah (Brennan, 2003).

2.7.5 Stabilnost in absorpcija karotenoidov

Karotenoidi se v kombinaciji z maščobami najbolj absorbirajo. Prav tako lahko njihovo absorpcijo močno izboljšamo s toplotno obdelavo hrane. Pri likopenu so ugotovili, da se v paradižniku nahaja v trans obliki, ki je najstabilnejša oblika dolge nenasičene (linearne) verige in se pod vplivom toplotne obdelave pretvori v cis obliko, ki pa se bolje absorbira v

primerjavi s trans obliko likopena. Pri pretvorbi v cis obliko, cis dvojna vez upogne verigo in spremeni obliko molekule bodisi likopena, bodisi β -karotena. Med toplotno obdelavo paradiznika deloma poteče trans-cis izomerizacija dvojnih vezi v molekuli likopena, kar omogoča boljšo absorpcijo likopena v prebavilih, kjer pa lahko obstajajo tudi razlike v absorpciji med posamezniki (Pečar in Mravljak, 2015).

2.7.6 Vsebnost in delež vitamina C in karotenoidov v rdeči pesi in korenju

Rdeča pesa (*Beta vulgaris* L.) vsebuje 4,9 mg vitamina C/100 g vzorca. Za rdečo peso je značilna večja vsebnost betalainov (128,7 mg/100 g vzorca), medtem ko za α -karoten, β -karoten in lutein ni podatkov (National Nutrient Database ..., 2015).

Korenje (*Daucus carota* L.) vsebuje 7,01 mg vitamina C/100 g vzorca, od tega je 5,01 mg L-askorbinske kisline in 2 mg L-dehidroaskorbinske kisline/100 g vzorca. Vsebnost β -karotena v korenju znaša 9,79 mg/100 g vzorca ter α -tokoferola 0,55 mg/100 g vzorca (Raw carrot ..., 2009).

2.8 OKSIDACIJA MAŠČOB MED SUŠENJEM

Oksidacija maščob in lipidov je verjetnejša pri dolgotrajnem shranjevanju sušenih izdelkov. Sušene ribe ali izdelki iz sušenih rib so dober primer, kako je živilo občutljivo na oksidacijo maščob. Ko nastopi pri sušenju oksidacija, se relativne vsebnosti nasičenih in enkrat nenasičenih MK povečajo, deleži večkrat nenasičenih MK pa zmanjšajo. Vsekakor je tvorba prostih MK med sušenjem lahko problem, kajti te prispevajo k slabši kakovosti živila. Oksidacija večkrat nenasičenih maščob in oksidacija karotena predstavljata problem v živilskih izdelkih (Brennan, 2003).

2.8.1 Spremembe maščobnih kislin v procesu sušenja živil

Najmanj odporne komponente lipidov so esencialne nenasičene MK, ki med avtooksidacijo izgubijo fiziološke značilnosti, lahko pa se spremenijo v zdravju škodljive snovi. Nastali prosti radikali povzročajo kardiovaskularne bolezni in rakava obolenja. Lipidni hidroperoksidi (preglednica 5) razgradijo vitamine, ki se topijo v maščobah: vitamin E, A ali njihove provitamine – karotene. Oksidacijski produkti maščob so tudi neposredno toksični, še posebej toksični so ciklični dimeri in hidroperoksidi aldehidne oksidacije. Hidroperoksidi in ketoni reagirajo s primarnimi amino skupinami proteinov in s tem zmanjšujejo biološko vrednost. Podobno reagirajo tudi z aminokislinami in nekaterimi vitamini skupine B (Pokorny, 2007).

Žarkost je stanje, ki spreminja senzorično vrednost masti, olj in ostalih živil, ki vsebujejo maščobe. Večji obseg β -oksidacije nenasičenih MK povzroči negativne odzive

potrošnikov, ki posledično zavračajo žarko hrano. Žarkost je kompleksen fenomen. Žarka hrana se opiše kot stara, pogreta, oksidirana. Pojav žarkosti se lahko zmanjšuje s shranjevanjem živil pri nižji temperaturi v temi, z zmanjšanjem razpoložljive količine kisika in uporabo manj nenasičenih maščob. Kadar takih pogojev ne moremo zagotoviti, je najboljša možnost dodajanje antioksidantov (Pokorny, 2007).

Preglednica 5: Dejavniki oksidacije v živilih (Pokorny, 2007)

Table 5: Oxidizing agents in food products (Pokorny, 2007)

Oksidant	Značilnosti delovanja oksidanta	Pojavnost oksidacije pri živilih
kisik v zraku (tripletni kisik, avtooksidacija)	v predelanih in skladiščenih živilih	splošno
encimsko katalizirana oksidacija	skladiščena surova hrana	oljna semena, oreščki, žitarice, stročnice
molekularni kisik	v prisotnosti svetlobe in fotosenzibilnih molekul	jedilna olja, zelena hrana
ozon	v živilih zelo nizke koncentracije	esencialna olja
kinoni	v hrani so odvisni od encimskega porjavenja	sadje, zelenjava, krompir
kovine	povzročitelj prostoradikalne oksidacije	meso, sadje
superoksidni anion	v glavnem v <i>in vivo</i> sistemih	meso
hidroperoksid	v prisotnosti askorbinske kisline	sadje, zelenjava
lipidni hidroperoksidi	v prisotnosti večkrat nenasičenih maščobnih kislin in karotenov	sadje, zelenjava, maščobna hrana

Prisotnost kisika je bistvena za pojav oksidativne žarkosti. Ob prisotnosti fotosenzibilnih molekul (klorofil) in energije v obliki svetlobe, se tripletni kisik spremeni v singletnega, ki je od 100 do 300-krat bolj reaktiven. Ena kisikova molekula se vgradi v dvojno vez nenasičene maščobne kisline. Nastane hidroperoksid, ki se pri določenih pogojih zlahka razcepi in povzroči nastanek prostih radikalov, ki hitro oksidirajo nenasičene maščobne kisline. Avtooksidacija lipidov se sproži s prisotnostjo prostih radikalov. Hidroperoksidi, nastali z avtooksidacijo, tvorijo proste radikale, ki posledično sprožijo oksidacijske reakcije. V začetni fazi je koncentracija prostih radikalov zelo nizka, oksidacija je počasna. Postopoma se koncentracija hidroperoksidov in ostalih oksidacijskih produktov povečuje, med razgradnjo se povečuje količina prostih radikalov in posledično eksponentno raste stopnja oksidacije (Pokorny, 2007).

2.8.2 Maščobnokislinska sestava rdeče pese in korenja

Rdeča pesa (*Beta vulgaris* L.) vsebuje velik delež (50,4 %) večkrat nenasičenih maščobnih kislin (linolna, linolenska MK), 26,9 % enkrat nenasičenih MK (oleinska) in 22,7 % nasičenih MK (palmitinska, stearinska) od skupnih MK. Vsebnost oleinske maščobne kisline (C18:1) v rdeči pesi znaša 0,032 g/100 g vzorca, vsebnost linolne omega-6 maščobne kisline (C18:2) 0,055 g/100 g vzorca in vsebnost linolenske omega-3 maščobne

kisline 0,005 g/100 g vzorca. Rdeča pesa vsebuje 0,026 g palmitinske MK (C16:0) in 0,001 g stearinske MK (C18:0)/100 g vzorca (National Nutrient Database ..., 2015).

Korenje (*Daucus carota* L.) vsebuje velik delež (73,45 %) večkrat nenasičenih maščobnih kislin (linolna 64,3 % in linolenska MK 9,15 %), 1,83 % enkrat nenasičenih MK (oleinska) in 24,72 % nasičenih MK (palmitinska 22,9 % in stearinska MK 1,82 %) od celokupnih MK. Vsebnost oleinske maščobne kisline (C18:1) v korenju znaša 0,006 g/100 g vzorca, vsebnost linolne omega-6 maščobne kisline (C18:2) 0,206 g/100 g vzorca in vsebnost linolenske omega-3 maščobne kisline znaša 0,029 g/100 g vzorca. Korenje vsebuje 0,073 g palmitinske MK (C16:0) in 0,006 g stearinske MK (C18:0)/100 g vzorca (Raw carrot ..., 2009).

Študija analiz vsebnosti esencialnih višjih maščobnih kislin v 26 vzorcih zelenjave s plinsko kromatografijo, je pokazala skupno vsebnost MK v zelenjavi v območju od 500 mg/100 g v rdečem zelju do 4 mg/100 g v pehtranu. Delež nasičenih maščobnih kislin v % (g/100 g vseh maščobnih kislin) je bil določen v območju od 12 do 35 %. Vsa analizirana zelenjava je vsebovala velik delež večkrat nenasičenih maščobnih kislin v območju od 45 do 81 % od skupnih MK. Za korenje je bilo ugotovljeno, da vsebuje velik delež (66,5 %) linolne omega-6 maščobne kisline (C18:2), 22,8 % $\pm$ 0,2 palmitinske MK (C16:0), 0,2 % $\pm$ 0,1 palmitoleinske MK (C16:1), 1,6 % $\pm$ 0,2 stearinske MK (C18:0), 3,0 % $\pm$ 0,1 oleinske MK (18:1) in 5,9 % $\pm$ 0,1 linolenske omega-3 nenasičene MK (18:3) od skupnih MK (Vidrih in sod., 2009).

2.9 SENZORIČNA ANALIZA

Senzorična analiza je znanstvena disciplina, ki prepoznavna in opisuje značilne senzorične lastnosti vzorcev živil, ki jih zaznavamo s svojimi čutili za vid, vonj, okus, sluh in tip. Pri izvedbi senzorične analize se določa intenzivnost prisotnih senzoričnih lastnosti živila (barva, vonj, okus, aroma, krhkost, tekstura, itd.), se primerja, kako se naša čutila odzovejo ter pri tem poleg kvalitativnega lahko uporablja tudi kvantitativno ocenjevanje. Glede na izbor metode, lahko senzorično analizo živila izvajajo trije tipi preskuševalcev: preskuševalci začetniki, izbrani preskuševalci ali izvedenci. Panel je heterogen inštrument, skupina preskuševalcev, izbranih in usposobljenih za delo na določenem senzoričnem preskusu. Senzorični preskuševalec mora biti šolan v vseh fazah senzorične analize, torej v zaznavanju, merjenju, analizi in interpretaciji. Glede na poznan testni izdelek se razume panel kot merilni inštrument, ki obvlada statistično analizo in interpretacijo podatkov glede na začetno hipotezo. Kakšno senzorično metodo bomo izbrali, je odvisno od namena ocenjevanja, vrste živila, števila vzorcev in usposobljenosti preskuševalcev. Preskuse delimo na hedonske, kjer ocenjujemo všečnost, sprejemljivost vzorca živila, ter analitične za ugotavljanje razlik in merjenje specifičnih lastnosti vzorca. Pri tem poznamo preskuse razlikovanja, ki so široko uporabni in omogočajo določitev majhnih razlik med vzorcema,

preskuse z uporabo lestvic za določanje intenzivnosti razlik in opisno analizo z eksperti, ki velja za najbolj izpopolnjeno senzorično tehniko, ki daje popoln opis vseh zaznanih senzoričnih lastnosti v časovnem vrstnem redu zaznav preskušanja živila. Po navodilih ISO standardov je za vsak preskus določeno minimalno število preskuševalcev, postopek šolanja in zahtevana stopnja usposobljenosti (Golob in sod., 2005).

Senzorična analiza je vezana na natančno določene pogoje pri ocenjevanju, kar omogoča čim bolj objektivno oceno. Tehnike omogočajo kvantitativno ali kvalitativno oceno. Upoštevati je potrebno veliko variabilnost v odgovorih, ocenah, kajti človek kot edinstven posameznik, ne glede na tip preskuševalca, vseeno dejansko poda subjektivno oceno. Pri zaznavanju senzoričnih lastnosti lahko vpliva razpoloženje preskuševalca, prirojena fiziološka občutljivost na kemične in mehanske dražljaje, pristop, motivacija, zdravstveno stanje in drugo (Golob in sod., 2005).

Huang in Zhang (2012) sta določila opisnike za sušen čips krompirja, pripravljen z različnimi načini sušenja. Cvrenje čipsa v maščobi uvrščata v eno izmed kategorij načinov sušenja zelenjave, ki omogoča izdelke z boljšo aromo. Krompirjev čips, pripravljen z VS, je senzorično ocenjen kot nemasten, trd in rahlo rumenkast, krompir sušen z zamrzovanjem je belkast, nemasten s porozno strukturo. Čips krompirja pripravljen z vakuumskim sušenjem z mikrovalovi pa je naravne barve s trdo in hrustljivo strukturo, vendar s priokusom po škrobu (preglednica 6).

Preglednica 6: Opisne senzorične lastnosti čipsa krompirja, pripravljenega z različnimi načini sušenja (Huang in Zhang, 2012)

Table 6: Descriptive sensory characteristics of potato chips, made using different drying methods (Huang and Zhang, 2012)

Način sušenja	Senzorične lastnosti
cvrtje	aromatičen, masten, rjav, hrustljiv
cvrtje v vakuumu	aromatičen, masten, rumen, hrustljiv
sušenje z razprševanjem HTST (high-temperature short-time; visoka temperatura, kratek čas)	nemasten, rahlo rumen, trd in hrustljiv, škrobnat
vakuumsko sušenje	nemasten, rahlo rumen, trd
sušenje z zamrzovanjem	nemasten, belkast, gobast
vakuumsko sušenje z mikrovalovi	nemasten, naravne barve, trd in hrustljiv, porozen
mikrovalovno sušenje z zamrzovanjem	nemasten, belkast, hrustljiv

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Za osnovno surovino za pripravo sušenega zelenjavnega čipsa smo uporabili tri vrste rdeče pese in dve vrsti korenja (slika 5). Obe vrsti zelenjave, rdeča pesa (*Beta vulgaris* L.) in korenje (*Daucus carota* L.), spadata v skupino korenovk z večjo vsebnostjo vitaminov, mineralov in z dobro skladiščno sposobnostjo (uspešno ju lahko skladiščimo za daljše obdobje). Osnovno surovino smo po načelih ekološke pridelave vzgojili na poljski površini šolskega posestva Biotehniškega centra Naklo. Ekološko pridelana zelenjava pomeni gnojena z organskimi gnojili, brez uporabe pesticidov in uporabe sintetično pridelanih gnojil. Pri pridelavi rdeče pese in korenja so bile uporabljene naravne metode za zatiranje škodljivcev, plevela ter bolezni. V aprilu 2015 smo presadili iz gojitvenih plošč na poskusne njivne površine rdečo peso različnih sort (slika 6, 7): 'Detroit', 'Tondo di Chioggia' in 'Forono'. V maju 2015 smo izvedli direktno setev na poljsko površino dveh sort korenja: 'Jeanette' in 'Rolanka'.



Slika 5: Vzorci rdeče pese in korenja- osnovna surovina za izdelavo čipsa

Figure 5: Beetroot and carrot samples – raw materials for the production of chips

Spravilo pese in korenja je bilo opravljeno 3. 9. 2015 in 20. 9. 2015. Vzorci pese in korenja so bili naključno izbrani po posameznih sortah in hranjeni v hladilnici Biotehniškega centra Naklo pri temperaturi 5 °C.

Poskusi priprave čipsa rdeče pese in korenja, sušenega v konvekcijskem sušilniku Alpfrig (leto izdelave 2015), so potekali v delavnici predelave sadja in zelenjave na Biotehniškem centru Naklo v Strahinju. Poskusi sušenja rdeče pese in korenja v vakuumskem sušilniku podjetja Turbo – energetika VSOP-6 (leto izdelave 2015), pa so potekali ob on-line beleženju podatkov v delavnici predelave sadja podjetja Hrib d.o.o., Večje Brdo pri Šentjurju.



Slika 6: Ekološko pridelana rdeča pesa treh sort: 'Detroit' (okrogla), 'Tondo di Chioggia' (pisana) in 'Forono' (podolgovata)

Figure 6: Organic beetroot of 3 varieties: 'Detroit' (round), 'Tondo di Chioggia' (coloured) and 'Forono' (oblong)



Slika 7: Rdeča pesa sorte 'Tondo di Chioggia'

Figure 7: 'Tondo di Chioggia' Beetroot variety

Korene rdeče pese in korenja smo najprej oprali z vodo in ročno olupili. Izbrali smo večje korenje, kajti premajhno ni primerno za izdelavo čipsa. Rdečo peso in korenje smo sortirali po približno enaki velikosti in ju strojno narezali na 2 mm tanke rezine. Nato smo rezine naložili enoplastno na mrežice predalnikov konvekcijskega sušilnika (slika 8) oz. pladnjev vakuumskega sušilnika (slika 9).

V kemijsko, kemijsko-instrumentalno in instrumentalno analizo smo vključili osemnajst vzorcev različnih ekstraktov čipsa rdeče pese (3 sorte, 2 načina sušenja; konvekcijsko in vakuumsko pri temperaturah 40 °C, 50 °C in 60 °C) in dvanajst vzorcev različnih ekstraktov predhodno pripravljenega čipsa korenja (2 sorti, 2 načina sušenja; konvekcijsko

in vakuumsko pri temperaturah 40, 50 in 60 °C). V senzorično analizo smo vključili dvanajst vzorcev različnih vrst čipsa rdeče pese (zaradi grenkega okusa smo iz senzoričnega ocenjevanja izločili čips rdeče pese sorte 'Tondo di Chiogia') in dvanajst vzorcev različnih vrst čipsa korenja.

3.2 METODE SUŠENJA

V magistrski nalogi smo sušili osnovno surovino (rdečo peso in korenje) s konvekcijskim sušilnikom Alpfrig (slika 8) in z vakuumskim sušilnikom Turbo Energetika VSOP-6 (slika 9) pri temperaturah sušenja 40, 50 in 60 °C. Konvekcijski sušilnik Alpfrig je patentiran (P-200000114) večetažni, bočno križno prepihajoči sušilnik. V preglednici 7 so predstavljeni osnovni tehnični podatki vakuumskega sušilnika.



Slika 8: Konvekcijski sušilnik, last Biotehniškega centra Naklo

Figure 8: Convection dryer owned by Biotechnical Centre Naklo



Slika 9: Vakuumski sušilnik Turbo Energetika VSOP-6, last podjetja Hrib d.o.o.

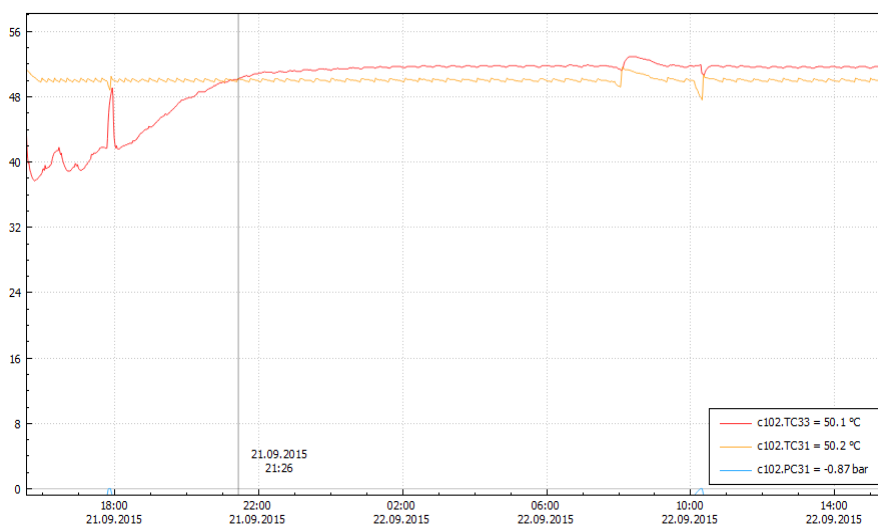
Figure 9: Turbo Energetika VSOP-6 vacuum dryer owned by Hrib d.o.o.

Preglednica 7: Tehnični podatki vakuumskega sušilnika Turbo Energetika VSOP-6, last podjetja Hrib d.o.o.

Table 7: Technical data of Turbo Energetika VSOP-6 vacuum dryer owned by Hrib d.o.o. company

Tip sušilnika	enote	VSOP-6
Dimenzija sušilnika (plašč)	m	1,6 x 5,3
Dimenzija sušilnika (zunanje)	m	2,2 x 2,5 x 5,3
Dolžina odprte sušilnika	m	9,5
Dimenzija zložaja (Š x V x L)	m	1,03 x 1,12 x 4
Inštalirana električna moč; vakuumska črpalka, obtočna črpalka	kW	5,95
Inštalirana moč gretja	kW	60
Najvišja temperatura sušenja	°C	do 60
Način prenosa toplote		plošče
Način transporta v sušilnik		pladnji-vozicek
Način odpiranja		čelno
Način vodenja procesa sušenja		avtomatsko
INOX pladnji neto površine 0,509 m ²	kos	102
Predviden čas sušenja		8 do 24 ur
Kapaciteta sušilnika		51 m ² neto površine (500-1000 kg materiala)

T sušenja (°C)

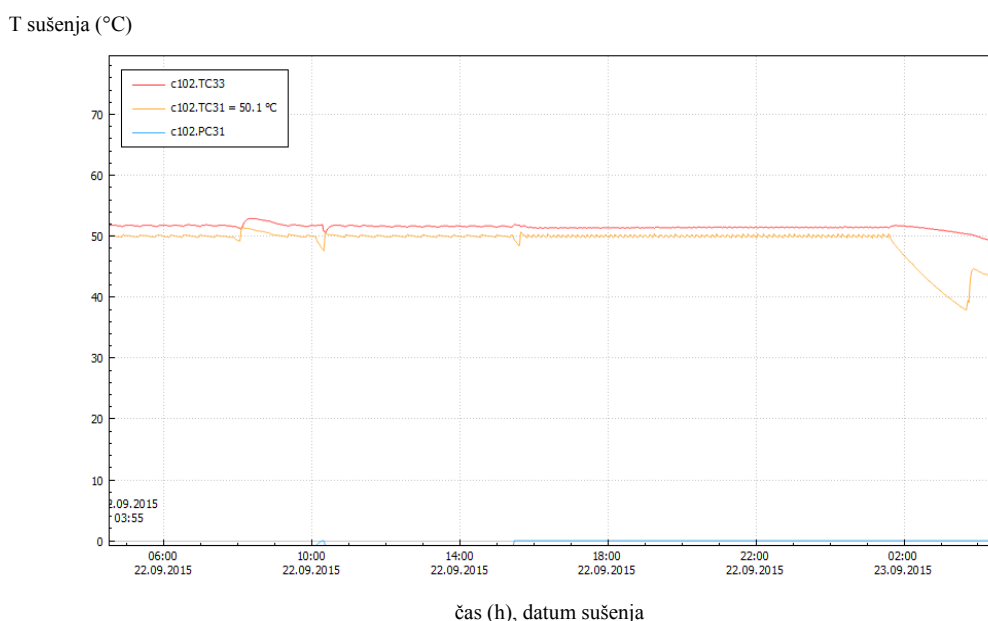


čas (h), datum sušenja

Slika 10: Diagram spreminjanja temperature rdeče pese glede na čas vakuumskega sušenja pri temperaturi vstopne vode 50 °C. Oznaka c102.TC31 prikazuje temperaturo vstopne vode v vakuumski sušilnik, oznaka c102.TC33 prikazuje temperaturo v živilu (rdeči pesi) in oznaka c102.PC31 prikazuje podtlak v komori

Figure 10: Diagram showing the change of beetroot temperature depending on the time of vacuum drying at the temperature of the inlet water 50°C. Mark c102.TC31 shows the inlet water temperature into the vacuum dryer, the code c102.TC33 shows the temperature of the food (beetroot) and mark c102.PC31 the subpressure in the chamber

Pri beleženju podatkov v vakuumskem sušilniku se s pomočjo programa CyBroChart zriše na računalniku graf spremljanja vakuumskega sušenja (slika 10). Ob vklopu računalnika se program samodejno zažene in prične kazati graf, ki zaseda večino okna in samodejno osvežuje podatke. Za logiranje podatkov skrbi posebna aplikacija CyBroKissLogger, ki deluje v ozadju. Na desni ali levi tretjini so v okvirčku kontrole za izbiro vrednosti, ki jih želimo prikazati oz. nadzorovati. Prvi podatek (slika 10) je temperatura produkta (npr. c102.TC33), nato temperatura vstopne vode (c102.TC31) in zadnji podatek sporoča tlak (c102.PC31) v komori.



Slika 11: Diagram nadaljevanja sušilnega vakuumskega procesa pri 50 °C

Figure 11: The diagram of the continuation of vacuum drying process at 50°C

S slik 10 in 11 je razvidno, da temperatura v živilu preneha nihati po nekaj urah vstopa materiala v sušilnik. S spreminjanjem podtlaka v komori sušilnika smo skušali vzdrževati izbrano temperaturo v živilu (50 °C) vse do konca sušenja. Po določenih urah smo sušenje ustavili, kar je razvidno na koncu grafa s padcem krivulje (c102.TC31) na sliki 11. S slike 11 je tudi razvidno, da temperatura živila med samim procesom sušenja doseže za 1–2 °C višjo temperaturo od temperature vstopne vode sušenja, zaradi povečane kapacitete toplote v sušilniku na račun velikega števila segrelih plošč proti manjši vstopni masi osnovne surovine.

Po poskusih s konvekcijskim in vakuumskim sušilnikom smo se odločili za najbolj optimalne časovne režime sušenja rdeče pese in korenja pri določenih temperaturah in podtlakih. Preglednica 8 prikazuje čas vakuumskega sušenja, ki sestoji iz štirih posameznih faz sušenja pri vsaki izbrani T, z nastavitvijo različnih podtlakov v fazah sušenja za doseg boljši ali manj konstantne temperature sušenja v sušilni komori in živilu.

Preglednica 8: Temperature in čas vakuumskega sušenja vseh sort rdeče pese in korenja

Table 8: Temperatures and time regimes of vacuum drying for all varieties of beetroot and carrot

Faze sušenja pri določeni T	Čas sušenja (min)	T vstopne vode (°C)	Tlak (bar)
F1 (40 °C)	60	40	- 0,85
F2 (40 °C)	60	40	- 0,90
F3 (40 °C)	240	40	- 0,98
F4 (40 °C)	720	40	- 0,98
F1 (50 °C)	60	50	- 0,87
F2 (50 °C)	600	50	- 0,90
F3 (50 °C)	300	50	- 0,98
F4 (50 °C)	120	50	- 0,98
F1 (60 °C)	60	60	- 0,70
F2 (60 °C)	420	60	- 0,80
F3 (60 °C)	300	60	- 0,90
F4 (60 °C)	120	60	- 0,90

Preglednici 9 in 10 prikazujeta, da smo pri sušenju z vakuumskim sušilnikom dosegli krajše čase sušenja za pripravo čipsa različnih sort rdeče pese in korenja v primerjavi s konvekcijskim sušilnikom pri enaki masi vstopnega materiala.

Preglednica 9: Primerjava časa sušenja (t) pri konvekcijskem in vakuumskem sušenju vseh sort rdeče pese pri različnih temperaturah sušenja

Table 9: Comparison of drying time (t) in a vacuum and convection drying of all varieties of beetroot at different temperatures of drying

T sušenja (°C)	t konvekcijskega sušenja (h)	t vakuumskega sušenja (h)
40	21	18
50	24	18
60	26	15

Preglednica 10: Primerjava časa (t) sušenja pri konvekcijskem in vakuumskem sušenju vseh sort korenja pri različnih temperaturah sušenja

Table 10: Comparison of drying time (t) in a convection and vacuum drying of all varieties of carrots at various temperatures of drying

T sušenja (°C)	t konvekcijskega sušenja (h)	t vakuumskega sušenja (h)
40	22	18
50	25	18
60	20	15

3.3 METODE KEMIJSKIH IN KEMIJSKO-INSTRUMENTALNIH ANALIZ

3.3.1 Priprava reagentov in ekstraktov

3.3.1.1 Priprava 3 % metafosforne kisline (HPO_3)₃

Metafosforno kislino smo terirali v prah in jo zatehtali 30 g v 1000 mL čašo skupaj z 970 mL vode miliQ. Raztopino smo mešali približno pol ure na magnetnem mešalu dokler se kristali niso raztopili ter jo nato prelili v 1000 mL bučko in dopolnili do oznake.

3.3.1.2 Ekstrakcija čipsa s 3 % vodno raztopino metafosforne kisline (MFK)

Za postopek ekstrakcije smo v 50 mL plastične centrifugirke zatehtali $2 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ zmletga čipsa rdeče pese ali korenja, dodali 20 mL 3 % metafosforne kisline ter premešali na vorteksu. Po ekstrakciji (zamrznili za en dan pri -20°C) smo zmesi centrifugirali 10 minut pri 10°C na 8000 obratih/min. Supernatant smo nato odpipetirali v brizgo s filtrom in ga prefiltrirali skozi filter Chromafil A-45/25 za vodne ali polarne medije, z velikostjo por $0,45 \mu\text{m}$, v steklene 1,5 mL vial in 2 mL epice. Vzorce ekstraktov smo do analiz shranili v zamrzovalniku pri -20°C . Ekstrakte z metafosforno kislino smo uporabili za nadaljnje analize določanja AOP z metodo DPPH• in za določanje vsebnosti askorbinske kisline z metodo HPLC/MS.

3.3.1.3 Ekstrakcija čipsa z acetonom

Za postopek ekstrakcije smo v 15 mL plastične centrifugirke zatehtali cca. 0,5 g zmletga čipsa rdeče pese in cca. 0,1-0,2 g zmletga čipsa korenja. Zmlet čips rdeče pese smo prelili s 4 mL acetona, zmlet čips korenja pa s 5 mL acetona. Vsak vzorec smo premešali na vorteksu. Po ekstrakciji (zamrznili za en dan pri -20°C) smo zmesi centrifugirali 5 min pri 10°C na 10000 obratih/min. Supernatant smo nato odpipetirali v brizgo in ga prefiltrirali skozi filter Chromafil za vodne ali polarne medije z velikostjo por $0,2 \mu\text{m}$ v steklene 1,5 mL vial. Vzorce ekstraktov smo do analiz shranili v zamrzovalniku na -20°C . Ekstrakte z acetonom smo uporabili za nadaljnje analize določanja vsebnosti karotenoidov z metodo HPLC.

3.3.2 Določanje izgube vode med sušenjem

Vzorcem čipsa rdeče pese in korenja, pridobljenim s konvekcijskim (KS) in vakuumskim sušenjem (VS), smo s tehtanjem določili odstotek izgube vode pri sušenju (enačba 3) (Plestenjak in Golob, 2003).

Izračun:

$$\% \text{ izgube vode pri sušenju vzorca} = b/a \times 100 \quad \dots (3)$$

a - masa vzorca pred sušenjem

b - izguba mase med sušenjem

Pripomočki:

- tehtnica,
- konvekcijski sušilnik Alpfrig,
- vakuumski sušilnik Turbo Energetika VSOP-6.

3.3.3 Določanje antioksidativnega potenciala z radikalom DPPH•

Določanje AOP z radikalom DPPH• smo izvedli po modificirani metodi (Nakajima in sod., 2004).

DPPH• je stabilen dušikov radikal, ki reagira z antioksidanti. Pri reakciji se tvori reducirana oblika DPPH₂, kar povzroči spremembo barve iz vijolične v rumeno. Zmanjšanje absorbance je tako proporcionalno koncentraciji antioksidantov v vzorcu. Absorbanco smo merili s spektrofotometrom pri 517 nm.

Reagenti in topila:

1,1'-difetil-2-pikril-hidrazil (DPPH•) (Sigma),

metanol (Merck),

Trolox ± 6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkromat-2-karboksilna kislina (Sigma).

Aparature:

spektrofotometer, ultrazvočna kopel.

Priprava DPPH• v metanolu

Za pripravo raztopine DPPH• smo v erlenmajerico zatehtali 4,0 mg radikala in ga skupaj z 20 mL metanola raztapljali cca. 10 minut v ultrazvočni kopeli. Raztopino DPPH• smo vsak dan pripravili svežo, ker je DPPH nestabilen na svetlobi.

Priprava umeritvene krivulje s Trolox-om (6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkromat-2-karboksilna kislina); C₁₄H₁₈O₄; M = 250,29 g/mol)

Za pripravo umeritvene krivulje smo uporabili pet koncentracij Troloxa v razponu od 0,067 mmol/L do 0,767 mmol/L (preglednica 11). V 25 mL bučko smo zatehtali 33,6 mg

Troloxa, ter opravili ustrezne razredčitve. Trolox je sintetična oblika vitamina E in se je uveljavil kot primerjalni antioksidant (Kač in Vidrih, 2000).

Preglednica 11: Prikaz redčenja za umeritveno krivuljo s Troloxom

Table 11: An example of dilution calibration curve with Trolox

Točka	Faktor redčenja	γ (mg Trolox/L)	c (mmol Trolox/L)
1	1:80	16,8	0,067
2	1: 40	33,6	0,134
3	1: 20	67,2	0,269
4	1: 10	134,4	0,537
5	1:7	192	0,767

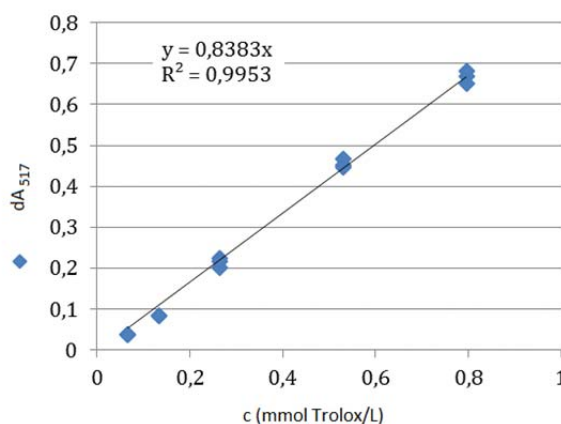
Meritve za umeritveno krivuljo smo izvedli v 3 paralelkah v 1, 5 mL kivetah ($l = 1$ cm).

RF (referenčni vzorec) = 60 μ L MeOH + 1, 5 mL DPPH

SP (slepi vzorec) = 60 μ L Trolox razt. + 1, 5 mL MeOH

3 paralelke = 60 μ L Trolox razt. + 1, 5 mL DPPH

Po 15 minutah smo na spektrofotometru izmerili absorbanco (A) pri 517 nm. Referenčni vzorec smo pripravili v območju A okoli 1,000. Če je bila ta vrednost večja od 1,000 smo dodajali metanol za dosego približka $A = 1,000$. Nadalje smo merili absorbanco RF, SP in absorbanco treh paralelk vzorcev redčenj raztopin Troloxa v 1,5 mL kivetah ($l = 1$ cm). dA_{517} je funkcija molarne koncentracije Troloxa (slika 12).



Slika 12: Umeritvena krivulja, absorbanca v odvisnosti od molarne koncentracije Trolox-a (mmol Trolox/L)

Figure 12: Calibration curve, the absorbance as a function of Trolox molar concentration (mmol Trolox/L)

Eksperimentalni postopek določanja AOP vzorcev

V 2 mL Ependorf centrifugirki smo zmešali 60 μ L vzorca ekstraktov čipsa rdeče pese in korenja v 3 % MFK ter 1,5 ml DPPH•. Zaradi pojava oborine smo vzorce centrifugirali 2 min na 6000 rpm. Supernatant smo prelili v kivete in po 15 minutah izmerili absorbanco referenčnega vzorca in absorbanco vzorcev v 3 paralelkah.

RF (referenčni vzorec) = 60 μ L MeOH + 1,5 mL DPPH•

SP (slepi vzorec) = 60 μ L vzorca + 1,5 mL MeOH

VZ (vzorec; 3 paralelke) = 60 μ L vzorca + 1,5 mL DPPH•

Izračun AOP

S pomočjo enačb 4, 5, 6 in 7 smo izračunali AOP (mmol/100 g vzorca). AOP smo predstavili kot število mmol ulovljenega radikala DPPH• v 100g vzorca. Višja molarna koncentracija DPPH• pomeni višji AOP.

$$dA = A_{RF} - A_{VZ} + A_{SP} \quad \dots (4)$$

dA = razlike v izmerjenih absorbancah

A_{RF} = absorbanca referenčnega vzorca (reagent DPPH z metanolom brez vzorca)

A_{VZ} = absorbanca vzorca po reakciji z reagentom DPPH

A_{SP} = absorbanca slepega vzorca (metanola)

$$n = dA \times V_{\text{reakcijske zmesi}} / (\epsilon \times l) \quad \dots (5)$$

n = množina radikala DPPH, ki reagira z antioksidanti v reakcijski zmesi

ϵ = molarni ekstinkcijski koeficient DPPH = 12000(L / (mol $\times$ cm))

$V_{\text{reakcijske zmesi}}$ = volumen reagentov in vzorca (0,00156 L)

l = dolžina kivete oz. poti žarka skozi vzorec = 1cm

$$AOP(\text{mmol}_{\text{DPPH}}/\text{L}) = n/V_{\text{vzorca}} \quad \dots (6)$$

AOP = antioksidacijski potencial

V_{vzorca} = volumen vzorca, uporabljen pri analizi ($60 \cdot 10^{-6}$ L)

$$AOP(\text{mmol}_{\text{DPPH}}/100 \text{ g}) = AOP(\text{mmol}_{\text{DPPH}}/\text{L}) \times V_{\text{vzorca}} \times 100/m_{\text{čipsa}} \quad \dots (7)$$

$m_{\text{čipsa}}$ = masa zatehtanega čipsa = 2 g $\pm$ 0,1 g

3.3.4 Priprava metilnih estrov in določanje vsebnosti maščobnih kislin oz. metilnih estrov maščobnih kislin (MEMK) v čipsu rdeče pese in korenja s pomočjo plinske kromatografije

Po standardizirani metodi AOAC (AOAC 966.06, 1999) in z nekaj spremembami te metode smo za vzorce čipsa rdeče pese in korenja določili vsebnosti MEMK, preračunane v vrednosti posameznih MK, s pomočjo plinske kromatografije. Najprej smo pripravili raztopino internega standarda (IS) heptadekanojske kisline (C17:0) tako, da smo v reagenčno stekleničko zatehtali 0,1817 g heptadekanojske kisline ter dodali 9,6 mL metanola in 2,4 mL heksana. Zabeležili smo skupno maso. Nato smo zatehtali vsakič sproti v Hach-ove vial vzorec zmletega čipsa v količini od 0,5 - 0,6 g. K vsakemu zatehtanemu vzorcu smo dodali 100 µL raztopine IS in zabeležili maso. Nato smo premešali na Vortexu, da se vsebina čipsa in IS ni zlepila na dno epruvete ter dodali 300 µL diklormetana (CH_2Cl_2) ter 3 mL sveže pripravljene 0,5 M NaOH v metanolu za razklop. Nato smo dobro zaprte epruvete segrevali 50 minut v vodni kopeli pri temperaturi 90 °C in vmes večkrat ročno premešali. Po prvih minutah segrevanja smo še enkrat preverili dobro zaprtost epruvet zaradi toplotnih raztezkov in možnega izhlapevanja oz. izgube nekaterih hlapnejših kislin iz vrele raztopine. Po kopeli smo Hach-ove viale hitro ohladili v mrzli vodi in dodali 3 mL 14 % borovega trifluorida (BF_3) v metanolu ter vse skupaj segrevali v vodni kopeli na 90 °C 10 minut. Po ohladitvi vial v mrzli vodi pri temperaturi 23 °C smo dodali še 3 mL 10 % NaCl za večjo ionsko jakost in dobro ločevanje vodne in heksanske faze, ter 1 mL nepolarnega topila heksana. Po mešanju na Vortexu so prešli MEMK iz vodne polarne faze v nepolarno heksansko fazo. Vsebino epruvet smo nadalje centrifugirali 5 minut pri *1000 rcf (G) oz. 2229 rpm - vrtljajev na minuto. Po centrifugiranju smo odpipetirali zgornjo heksansko fazo z MEMK v 1,5 mL steklene viale in jih shranili v zamrzovalniku pri -20 °C za nadaljne analize na plinskem kromatografu.

Reagenti:

- interni standard - heptadekanojska kislina (C17:0) (Sigma),
- metanol,
- heksan,
- 0,5 % NaOH v MeOH,
- 14 % BF_3 v MeOH,
- 10 % NaCl.

Aparature:

- analitska tehtnica (z občutljivostjo 0,0001g),
- vrtičnik Vortex,
- vodna kopel,
- centrifuga.

Vsebnosti in deleže MEMK smo določili s plinsko kromatografijo (GC), s plinskim kromatografom Agilent Technologies 6890N, s kapilarno kolono in plamensko ionizacijskim detektorjem. Plinska kromatografija je metoda določanja sestavin plinske zmesi, tekočin in trdnih snovi, ki izparevajo pri višjih T. Mobilna faza pri plinski kromatografiji je inertni plin (helij, dušik). Stacionarno fazo pa predstavlja nehlapna tekočina na nosilcu kolone. Glede na sposobnost vezave sestavin na stacionarno fazo, se te ločijo in prepoznajo z detektorjem.

Analiza je potekala v treh paralelkah. Po končani analizi smo iz površin kromatografskih vrhov IS (interni standard), površin vrhov posameznih MK, mase vzorcev in mase IS v posameznem vzorcu izračunali vsebnosti posameznih MK (enačba 8). Rezultati so podani kot vsebnosti posamezne MK v mg/100 g vzorca. Deleže posameznih MK smo izračunali iz mas posameznih MK in mase vseh merjenih MK. Rezultati so podani kot deleži posamezne MK v mg/100 g skupnih MK.

Izračun:

$$K(\text{mg}/100 \text{ g}) = (A_i \times F_{Ai} \times m_{IS} \times 100) / (A_{17} \times F_{Ai17} \times m_{vz}) \quad \dots (8)$$

K = vsebnost posamezne MK (mg/100 g)

A_i = površina kromatografskega vrha posamezne MK

F_{Ai} = koeficient posamezne MK (molska masa MK/molska masa metilnega estra)

m_{IS} = masa internega standarda v posameznem vzorcu (g)

A_{17} = površina kromatografskega vrha internega standarda

F_{Ai17} = koeficient internega standarda (molska masa internega standarda/molska masa metilnega estra heptadekanojske kisline)

m_{vz} = masa vzorca (g)

Koeficienti posameznih MK (F_{Ai}):

C16:0 = 0,9482, C17:0 = 0,9507, C18:0 = 0,9530, C18:1 = 0,9527, C18:2 = 0,9524, C18:3 = 0,9520, C20:0 = 0,9571.

MK: palmitinska (C16:0), heptadekanojska kislina - interni standard (C17:0), stearinska (C18:0), oleinska (C18:1), linolna (C18:2), linolenska (C18:3), arahidinska (C20:0).

GC aparatura, kromatografski pogoji ločbe in detekcija:

GC sistem: Agilent Technologies 6890N,

detektor: FID,

kolona: SUPELCO-SPB PUFA, 30 m × 0,25 mm × 0,2 μm,

T kolone: 210 °C,

T injektorja: 250 °C,

T detektorja: 260 °C,
tlak na injektorju: 31,6 psi,
nosilni plin: helij, pretok 1 mL/min,
pretok vodika: 40 mL/min,
pretok dušika: 45 mL/min,
pretok zraka: 450 mL/min,
volumen injiciranja: 1,0 µL.
Program za obdelavo podatkov: GC Chem station.

3.3.5 Določanje vsebnosti askorbinske kisline v čipsu rdeče pese in korenja s sistemom HPLC/MS

V ekstraktih vzorcev čipsa rdeče pese in korenja s 3 % MFK smo določali vsebnost askorbinske kisline na sistemu HPLC/MS z modificirano metodo (Szultka in sod., 2014).

Ločevanje askorbinske kisline je potekalo na reverznofazni koloni z gradientom mobilnih faz.

Askorbinsko kislino smo določili na podlagi eksterne standarda askorbinske kisline (Sigma). S pridobljeno umeritveno krivuljo smo iz določenih površin pod vrhovi, ki predstavljajo askorbinsko kislino v vzorcih, izračunali koncentracije (enačba 9). Spojine, ki imajo polaren značaj, imajo krajši retencijski čas in se prej izločijo iz kolone kot nepolarne spojine, ki imajo daljši retencijski čas. Koncentracije oz. vsebnosti askorbinske kisline smo preračunali v µg/g vzorca.

Izračun:

$$K (\mu\text{g/g}) = \text{površina}_{\text{kromatografskega vrha vzorca}} + 3,99 \times 10^5 / 1,74 \times 10^3 \quad \dots (9)$$

K = koncentracija askorbinske kisline (µg/g suhe snovi)

Area = površina pod kromatografskim vrhom (dejanski odziv, ki ga upoštevamo pri kalibraciji)

Reagenti:

acetonitril (Chromasolv grade for HPLC ≥99,9 %; Sigma-Aldrich),
mili-Q voda in metanol (LCMS grade, Sigma-Aldrich).

HPLC aparatura, kromatografski pogoji ločbe in detekcija:

HPLC sistem: Ultimate 3000 series Rapid Separation LC (Dionex, Idstein, Germany),
kolona: YMC-ODS-AQ (YMC, Japonska), 3 µm, 150 mm × 4,6 mm,

volumen injiciranja: 10 µL,

mobilna faza: mobilna faza A: MQ z dodatkom 0,1 % HCOOH (Merck, Nemčija),

mobilna faza B: metanol z dodatkom 0,1 % HCOOH LC/MS grade (Merck, Nemčija),

gradient:

Čas (min)	A (%)	B (%)
0,00	95	5
1,00	95	5
10,00	20	80
15,00	20	80
16,00	95	5
20,00	95	5

pretok: 0,40 mL/min,

temperatura kolone: 30 °C,

detektor: Applied Biosystems 4000 hybrid linear ion trap-triple-quadrupole (QTrap; AB SCIEX, Concord, ON, Canada).

Program za obdelavo podatkov: Analyst 1,5.

3.3.6 Določanje vsebnosti karotenoidov v čipsu rdeče pese in korenja s sistemom HPLC

V čipsu rdeče pese in korenja smo določali naslednje karotenoide: lutein, α -karoten in β -karoten z metodo HPLC (Pfeifhofer, 1989, Jordi Oliver in Palou, 2000). Vsebnosti pigmentov smo izračunali po metodi eksternega standarda. Uporabili smo standarde za lutein, α -karoten in β -karoten proizvajalca Sigma. Ker nam je za to kemijsko analizo določanja vsebnosti karotenoidov zmanjkalo vzorcev čipsa, smo analizirali samo po en vzorec vsake vrste čipsa, skupaj trideset vzorcev. Spojino z retencijskim časom, ki je potreben, da spojina prepotuje kolono, smo na izhodu kolone detektirali s spektrofotometričnim UV-Vis detektorjem, s katerim merimo absorbanco eluirane raztopine pri valovni dolžini 440 nm. Koncentracije oz. vsebnosti karotenoidov smo preračunali v µg/g vzorca čipsa (enačba 10).

Izračun:

$$K (\mu\text{g/g}) = \text{površina}_{\text{kromatogr. vrha vzorca}} \times K_{\text{standarda}} / \text{površina}_{\text{kromatogr. vrha standarda}} \quad \dots (10)$$

K = koncentracija posameznega karotenoida (µg/g čipsa)

K_{standarda} = koncentracija standarda za posamezen karotenoid

HPLC aparatura, kromatografski pogoji ločbe in detekcija:

HPLC sistem: Spectra-Physics (črpalka P 4000 Spectra SYSTEM, avtomatski podajalnik vzorcev AS 1000 SpectraSYSTEM),

detektor: UV-vis Spectra Focus,

kolona: Spherisorb ODS2 5U (5 μ m, 250 x 4,6 mm),

predkolona: Spherisorb ODS2 5U (5 μ m, 7,5 x 4,6 mm),

volumen injiciranja: 20 μ l,

mobilna faza: A: acetonitril/voda/metanol=100/10/5 (v/v/v)

B: aceton/etilacetat= 2/1 (v/v),

gradient: 0-18 min: 10-75 % B;

18-25 min: 75-70 % B;

25-30 min: 70-100 % B,

pretok mobilne faze: 1 mL/min,

termostat kolone: Mistral tip 880, Spark Holland,

T kolone: 5 °C,

T avtomatskega podajalnika vzorcev: 4 °C,

detekcija: 440 nm,

trajanje analize: 30 min.

Program za obdelavo podatkov: OS/2 standard ed. IBM (SYSLEVEL 5050).

3.4 METODE INSTRUMENTALNIH ANALIZ

3.4.1 Analiza barve čipsa rdeče pese in korenja

Za merjenje barve smo uporabili kromometer Minolta CR- 200B. Sistem temelji na CIE (Commission Internationale I'Eclairage) L*, a* in b* načinu določanja barve.

Na vzorcih čipsa smo štirikrat izmerili na različnih mestih vrednosti L*, a* in b*. Rezultati L*, a* in b* pomenijo naslednje lastnosti. Parameter L* določa svetlost barve vzorca, večja kot je vrednost, svetlejša je živilo in obratno, nižja je vrednost, temnejša je živilo. Parametra a* in b* določata odtenek barve. a* določa intenziteto rdeče barve v pozitivnem območju in zelene barve v negativnem območju. b* predstavlja intenziteto rumene barve v pozitivnem območju in modre v negativnem območju.

Kromometer smo navpično postavili na dovolj velik vzorec čipsa. Računalnik DATA DP 100 nam za vsak vzorec poda povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti za L*, a* in b*. Za vsako skupino čipsa smo opravili štiri meritve vzorcev. Merili smo, kako se vrednosti L*, a* in b* vzorcev čipsa razlikujejo glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) in temperature sušenja (40, 50, 60 °C).

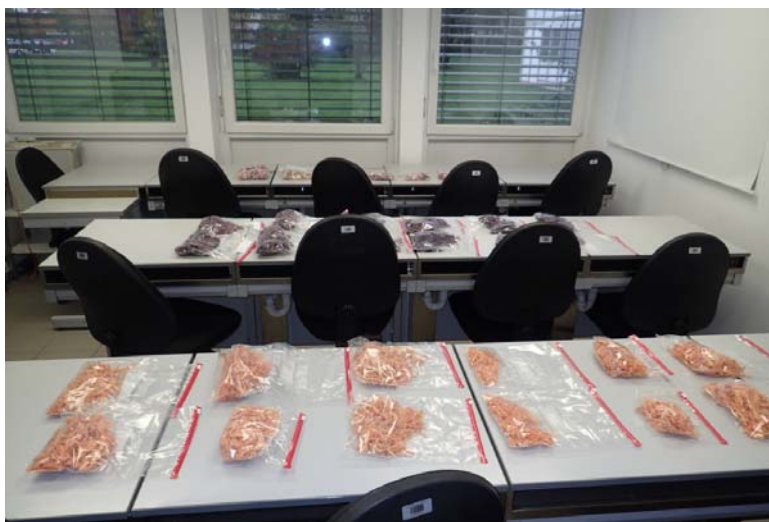
3.4.2 Analiza trdote čipsa rdeče pese in korenja

Merjenje trdote čipsa smo opravili z aparatom Texture Analyser TA.XT Plus (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, VB, 2000). Pri tej analizi gre za statični preizkus trdote, kjer naprava za določanje trdote s kovinskim stožcem pritiska v vzorec. Pri tem se meri globina pritiska v vzorec živila (čips). Merilo za trdoto je globina nastalega pritiska in sila stožca. Čim večja je trdota, tem manjša je globina pritiska. Rezultati merjenja trdote so podani z enoto za silo N (Newton).

3.5 METODE SENZORIČNIH ANALIZ

3.5.1 Senzorična analiza čipsa rdeče pese in korenja

V raziskovalni del smo vključili tudi senzorično analizo čipsa rdeče pese in korenja različnih sort, kajti gre za razvijanje novega živilskega izdelka in iskanje vzrokov neželenih sprememb barve, okusa in teksture v načinu in temperaturi sušenja. V senzorično analizo smo vključili vakuumsko sušen čips v primerjavi s konvekcijsko sušenim čipsom dveh sort rdeče pese ('Detroit' in 'Forono') in dveh sort korenja ('Jeannete' in 'Rolanka') (slika 13). Čipsa sorte rdeče pese 'Tondo di Chioggia' nismo senzorično ocenili zaradi izrazito grenkega okusa. Senzorični panel so predstavljali trije preskuševalci, usposobljeni za senzorično ocenjevanje čipsa rdeče pese in korenja. Pri načrtovanju testiranja smo najprej definirali kriterije za točkovanje posameznih senzoričnih lastnosti in oblikovali opisnik s točkovno lestvico za ocenjevanje zelenjavnega čipsa, izdelanega z različnimi postopki sušenja (preglednica 12). Senzorični panel je pri posamezni vrsti čipsa ocenil sedem senzoričnih lastnosti: barvo, enakomernost površine, vonj, okus, značilnost in obstojnost arome ter teksturo.



Slika 13: Pregled vzorcev čipsa rdeče pese in korenja za senzorično ocenjevanje
Figure 13: A review of beetroot and carrots chips samples used for sensory evaluation

Preglednica 12: Ocenjevanje sušenega čipsa različnih sort rdeče pese in korenja s točkovanjem (konvekcijsko in vakuumsko sušenje pri različnih temperaturah)

Table 12: Carrots and beetroot chips (of different varieties) evaluation, using point system (convectiional and vacuum drying at different temperatures)

Senzorična lastnost	Točke	Ocena	Kriterij ocenjevanja	Končna ocena
VIDEZ				
barva	1-4	1	popolnoma neustrezna za določeno vrsto zelenjave čipsa	
		2	neustrezna za določeno vrsto zelenjave	
		3	ustrezna, malo presvetla ali pretemna	
		4	optimalna barva	
enakomernost površine	1-3	1	neenakomerna, zgubana, z vidnimi površinskimi strukturnimi vlakni	
		2	srednje enakomerna, srednje zgubana	
		3	enakomerno ravna ali rahlo zgubana	
VONJ	1-5	1	popolnoma neustrezen, odbijajoč, po žarkem, po plesni, po kislem	
		2	neustrezen	
		3	neznačilen, premalo izrazit	
		4	značilen za določeno vrsto sušene zelenjave, a premalo izrazit	
		5	optimalen, izrazit vonj, značilen za določeno vrsto zelenjave	
OKUS	1-5	1	popolnoma neustrezen, po kislem, zelo trpek pookus	
		2	neustrezen, pookus rahlo trpek, grenek pookus	
		3	neznačilen, premalo izrazit za določeno vrsto zelenjavnega čipsa	
		4	značilen za določeno vrsto zelenjave čipsa, a premalo izrazit	
		5	prijeten, izrazit, značilen za določeno vrsto zelenjavnega čipsa	
AROMA				
značilnost	1-5	1	neustrezna, po žarkem, po plesni	
		2	neznačilna, rahlo po žarkem	
		3	značilna za določeno vrsto zelenjave čipsa, premalo oz. slabo izrazita	
		4	srednje izražena, značilna za zelenjavo čipsa	
		5	optimalno izražena, značilna za zelenjavo čipsa	
obstojnost	1-3	1	neobstoja	
		2	srednje obstojna, nekoliko premalo oz. nekoliko preveč	
		3	primerno obstojna	
TEKSTURA	1-5	1	popolnoma neustrezna, pretrda, težko žvečljiva	
		2	neustrezna, srednje trda, a težko žvečljiva	
		3	ustrezna, srednje mehka, srednje žvečljiva	
		4	primerna, lažje žvečljiva	
		5	rahlo lomljiva in lažje žvečljiva	

3.6 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Rezultate kemijsko-instrumentalnih in instrumentalnih analiz smo za vsako posamezno vrsto čipsa statistično obdelali in primerjali glede na vrsto (konvekcijsko ali vakuumsko) in temperaturo sušenja (40, 50, 60 °C). Statistično obdelavo podatkov smo opravili za naslednje analizirane parametre: izguba vode, AOP, vsebnost in delež posameznih MK, vsebnost askorbinske kisline, karotenoidov (lutein, α -karoten, β -karoten), L*, a*, b* in trdota. Rezultati so navedeni kot povprečje treh ponovitev in dveh ponovitev pri določanju vsebnosti askorbinske kisline, razen pri vsebnostih karotenoidov ni izračunanega povprečja, kjer je bila meritev samo ena, zaradi nezadostnega materiala vzorcev čipsa.

Statistično obdelavo podatkov smo opravili tudi za analizo parametrov vseh vzorcev čipsa rdeče pese in korenja glede na način sušenja ne glede na temperaturo. Posebej smo opravili statistično obdelavo podatkov analize parametrov vseh vzorcev čipsa rdeče pese in korenja glede na različne temperature sušenja ne glede na način sušenja.

Za analizirane parametre smo statistično določili vrednosti s pomočjo Duncanovega Multiple Range testa s programom SAS System. Korelacijski koeficienti nakazujejo povezave med posameznimi parametri. Pearsonov korelacijski koeficient (R) je pri linearni zvezi enak kvadratnemu korenu determinacijskega koeficienta. Z njim smo določali povezave med vrednostmi analiziranih parametrov večjih od 0,7, kar je pomenilo statistično značilne povezave.

V raziskovalni del smo vključili tudi senzorično analizo čipsa rdeče pese in korenja različnih sort, kjer smo senzorične lastnosti za posamezno vrsto čipsa statistično obdelali in primerjali glede na način sušenja (konvekcijsko ali vakuumsko) in glede na različne temperature sušenja (40, 50, 60 °C). Statistično smo analizirali naslednje senzorične parametre: barvo, enakomernost površine, vonj, okus, aromo (značilnost in obstojnost) in teksturo. Za analizirane parametre smo statistično določili vrednosti s pomočjo Duncanovega Multiple Range testa s programom SAS System. Rezultati so navedeni kot povprečje treh ponovitev.

4 REZULTATI

V sklopu raziskave smo izdelali 30 različnih vzorcev čipsa rdeče pese in korenja s konvekcijskim sušenjem (KS) in z vakuumskim sušenjem (VS) pri različnih temperaturah sušenja (40, 50 in 60 °C). Za izdelavo čipsa rdeče pese smo uporabili ekološko pridelane sorte rdeče pese 'Detroit', 'Tondo di Chioggia' in 'Forono'. Za izdelavo čipsa korenja pa smo uporabili ekološko pridelani sorti korenja 'Jeannete' in 'Rolanka'.

Za vse vzorce čipsa smo opravili kemijsko-instrumentalne analize (določanje antioksidativnega potenciala z radikalom DPPH•, vsebnost maščobnih kislin, vsebnost askorbinske kisline in karotenoidov) in instrumentalne analize (določanje parametrov barve L*, a*, b* in trdote). Vse vzorce čipsa, razen sorte rdeče pese 'Tondo di Chioggia', smo tudi senzorično ocenili.

Rezultati za maščobne kisline v preglednicah 13 do 17 so najprej podani kot vsebnosti posameznih MK v mg/100 g vzorca čipsa in nato kot deleži posameznih MK v % oz. v g/100 g skupnih maščob vzorca.

Rezultati vsebnosti karotenoidov niso statistično obdelani, ker smo analizirali samo po en vzorec posameznega čipsa rdeče pese in korenja. Pri analizah nam je zmanjkalo vzorcev čipsa za zagotovitev večjega števila podatkov o posameznih vsebnostih karotenoidov (lutein, α -karoten, β -karoten).

V nadaljevanju smo ugotavljali, kako se kemijsko-instrumentalni, instrumentalni in senzorični parametri čipsa med seboj razlikujejo glede na način sušenja (konvekcijsko (KS), vakuumsko (VS)) in temperaturo sušenja (40, 50, 60 °C), pri vseh vzorcih čipsa rdeče pese in korenja.

4.1 ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE SORTE 'DETROIT'

Iz preglednice 13 je razvidno, da je pri čipsu rdeče pese 'Detroit' izguba vode statistično značilno večja pri KS v primerjavi z VS. Izguba vode je večja pri pesi, sušeni pri 60 °C, tako pri konvekcijskem (87,01 %) kot pri vakuumskem (85,38 %) načinu sušenja. Izguba vode pri VS statistično značilno narašča z višjo temperaturo sušenja.

Vrednosti AOP čipsa rdeče pese 'Detroit' (preglednica 13) se gibljejo od 0,62 do 1,16 mmol DPPH/100 g čipsa. Način sušenja pri 40 in 50 °C ima statistično značilen vpliv na AOP, ki je najvišji pri VS pri 40 °C (1,16 mmol DPPH/100 g čipsa) in pada z višjo temperaturo sušenja. Tudi pri KS temperatura sušenja statistično značilno vpliva na AOP čipsa, ki je višji pri vzorcih, sušenih pri 50 °C in najnižji pri vzorcih, sušenih pri 40 °C.

Preglednica 13: Analizirani parametri čipsa rdeče pese sorte 'Detroit', pripravljenega v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C

Table 13: Analyzed parameters of 'Detroit' beetroot chips variety produced in a convection and a vacuum dryer at 40, 50 and 60°C

	RDEČA PESA 'Detroit'				
	parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
	izguba vode (%)	KS	86,12 ± 0,77 ^{aB}	85,05 ± 0,76 ^{aC}	87,01 ± 1,14 ^{aA}
		VS	77,44 ± 0,69 ^{bC}	84,48 ± 0,83 ^{bB}	85,38 ± 0,98 ^{bA}
	AOP (mmol DPPH/100 g)	KS	0,62 ± 0,01 ^{bB}	0,84 ± 0,05 ^{bA}	0,78 ± 0,03 ^{aA}
		VS	1,16 ± 0,06 ^{aA}	1,04 ± 0,01 ^{aB}	0,71 ± 0,02 ^{aC}
V S E B N O S T	palmitinska kislina (mg/100 g)	KS	91,67 ± 14,61 ^{aA}	68,69 ± 33,87 ^{aA}	77,48 ± 4,89 ^{aA}
		VS	65,95 ± 20,12 ^{aB}	103,36 ± 5,61 ^{aA}	60,61 ± 15,03 ^{aB}
	stearinska kislina (mg/100 g)	KS	113,29 ± 15,52 ^{aA}	97,90 ± 41,42 ^{aA}	116,99 ± 4,94 ^{aA}
		VS	97,11 ± 26,97 ^{aA}	109,67 ± 12,72 ^{aA}	121,32 ± 34,86 ^{aA}
	oleinska kislina (mg/100 g)	KS	11,82 ± 1,27 ^{aA}	9,37 ± 5,25 ^{aAB}	5,95 ± 0,34 ^{aB}
		VS	5,45 ± 1,01 ^{bB}	12,42 ± 1,37 ^{aA}	11,64 ± 4,54 ^{aA}
	linolna kislina (mg/100 g)	KS	195,12 ± 20,32 ^{aA}	151,21 ± 89,74 ^{aA}	153,43 ± 14,98 ^{aA}
		VS	146,69 ± 55,04 ^{aB}	268,56 ± 26,36 ^{aA}	122,18 ± 34,45 ^{aB}
	linolenska kislina (mg/100 g)	KS	35,01 ± 3,62 ^{aA}	27,81 ± 17,48 ^{aA}	23,18 ± 2,51 ^{aA}
		VS	22,42 ± 8,92 ^{aB}	46,63 ± 7,06 ^{aA}	29,16 ± 9,73 ^{aB}
D E L E Ž	arahidinska kislina (mg/100 g)	KS	2,46 ± 0,51 ^{aA}	1,31 ± 0,00 ^{aA}	-
		VS	0,06 ± 0,00 ^{bA}	3,25 ± 0,00 ^{aA}	2,12 ± 0,75 ^{aA}
	palmitinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	20,34 ± 0,71 ^{aA}	19,50 ± 0,72 ^{aA}	20,55 ± 0,19 ^{aA}
		VS	19,63 ± 0,46 ^{aA}	19,08 ± 0,13 ^{aA}	17,60 ± 0,71 ^{bB}
	stearinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	25,18 ± 0,43 ^{bB}	28,38 ± 3,26 ^{aAB}	31,07 ± 0,97 ^{bA}
		VS	29,06 ± 1,64 ^{aB}	20,30 ± 2,86 ^{aC}	35,08 ± 1,94 ^{aA}
	oleinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	2,64 ± 0,25 ^{aA}	2,60 ± 0,10 ^{aA}	1,58 ± 0,08 ^{bB}
		VS	1,66 ± 0,21 ^{bC}	2,29 ± 0,21 ^{aB}	3,30 ± 0,35 ^{aA}
	linolna kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	43,48 ± 0,92 ^{aA}	41,63 ± 3,35 ^{aA}	40,64 ± 1,01 ^{aA}
		VS	43,07 ± 1,84 ^{aB}	49,51 ± 2,50 ^{aA}	35,26 ± 1,55 ^{aC}
	linolenska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	7,80 ± 0,17 ^{aA}	7,57 ± 0,93 ^{aA}	6,13 ± 0,23 ^{bB}
		VS	6,55 ± 0,43 ^{bB}	8,58 ± 0,94 ^{aA}	8,33 ± 0,65 ^{aA}
	arahidinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	0,54 ± 0,06 ^{aAB}	0,58 ± 0,00 ^{aA}	-
		VS	0,63 ± 0,00 ^{bA}	0,63 ± 0,00 ^{aA}	0,60 ± 0,02 ^{aA}
	askorbinska kislina (µg/g)	KS	0,93 ± 0,00 ^{aC}	8,72 ± 1,13 ^{aB}	13,80 ± 0,14 ^{bA}
		VS	0,31 ± 0,53 ^{aB}	6,10 ± 2,03 ^{aB}	16,05 ± 0,64 ^{aA}
	lutein (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	α-karoten (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	β-karoten (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	L*	KS	38,92 ± 2,97 ^{aA}	32,18 ± 0,61 ^{aA}	34,04 ± 2,03 ^{aA}
		VS	23,32 ± 2,28 ^{bB}	24,91 ± 1,16 ^{bB}	31,71 ± 4,54 ^{aA}
	a*	KS	20,16 ± 0,55 ^{aB}	26,48 ± 3,33 ^{aA}	20,18 ± 2,45 ^{bB}
		VS	23,55 ± 4,33 ^{aA}	25,04 ± 3,52 ^{aA}	28,72 ± 3,31 ^{aA}
	b*	KS	7,36 ± 2,83 ^{aA}	4,70 ± 2,71 ^{aA}	3,62 ± 0,46 ^{aA}
		VS	4,27 ± 1,05 ^{aA}	2,98 ± 1,37 ^{aA}	5,58 ± 2,86 ^{aA}
	trdota (N)	KS	2601,50 ± 89,12 ^{bA}	1980,48 ± 464,53 ^{aA}	1993,17 ± 374,80 ^{aA}
		VS	2984,45 ± 54,59 ^{aA}	2336,14 ± 1007,99 ^{aA}	1576,50 ± 684,21 ^{aA}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, B, C) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja). Oznaka črtica (-) pomeni, da je bila meritev pod mejo detekcije. KS - konvekcijsko sušenje, VS - vakuumsko sušenje.

Iz preglednice 13 lahko povzamemo, da ima način sušenja statistično značilen vpliv na vsebnosti oleinske in arahidinske MK, ki so višje pri vzorcih pri KS pri temperaturi sušenja 40 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti posameznih MK. Vsebnosti palmitinske, oleinske, linolne in linolenske MK so statistično značilno večje pri VS pri 50 °C, pri KS je značilno večja vsebnost oleinske MK pri temperaturi sušenja 40 °C.

Identifikacija in kvantifikacija MK, ne glede na način sušenja kažeta, da so najpogostejše v čipsu rdeče pese 'Detroit' zastopane linolna MK, ki predstavlja od 35,26 do 49,51 % delež, nato stearinska MK (20,30 do 35,08 %), palmitinska MK (17,60 do 20,55 %), linolenska MK (6,13 do 8,58 %), oleinska MK (1,58 do 3,30 %), najmanjši delež pa predstavlja arahidinska MK (0,54 do 0,63 %). Način sušenja ima statistično značilen vpliv na deleže oleinske, linolenske in arahidinske MK, ki so večji pri KS pri 40 °C ter na delež stearinske MK, ki je večji pri VS pri 40 °C. Pri stearinski, oleinski in linolenski MK so deleži značilno večji pri VS pri 60 °C in delež palmitinske MK značilno večji pri KS pri 60 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK. Pri KS so značilno večji deleži oleinske, linolenske in arahidinske MK pri 40 °C ter značilno večji deleži palmitinske in stearinske MK pri 60 °C. Pri VS pa so značilno večji deleži palmitinske in stearinske MK v čipsu, sušenem pri 40 °C in značilno večji deleži linolne in linolenske MK v čipsu sušenem pri 50 °C.

Rezultati v preglednici 13 kažejo, da se vsebnost askorbinske kisline v čipsu pese 'Detroit' giblje od 0,31 do 16,05 µg/g čipsa. Značilno največja vsebnost askorbinske kisline (16,05 µg/g čipsa) je pri VS pri 60 °C temperature sušenja in z nižjo T sušenja pada. Enako je pri konvekcijsko sušenem čipsu, kjer je vsebnost askorbinske kisline statistično značilno največja pri 60 °C (13,80 µg/g čipsa) in enako kot pri VS z nižjo T sušenja pada. Če povzamemo, način sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti askorbinske kisline le pri sušenju pri 60 °C, ki so večje pri vakuumskem sušenju.

Vsebnosti karotenoidov so bile pod mejo detekcije pri vseh vzorcih čipsa rdeče pese 'Detroit'.

Pri analizi parametrov barve L*, a* in b* čipsa pese 'Detroit' lahko povzamemo, da ima način sušenja statistično značilen vpliv na vrednosti L*, ki so višje pri konvekcijsko sušenem čipsu pri temperaturi sušenja 40 in 50 °C. Vrednosti a* so značilno višje pri čipsu, ki je vakuumsko sušen pri 60 °C. Temperatura sušenja značilno vpliva na vrednosti L*, ki so višje pri VS pri temperaturi sušenja 60 °C. Vrednosti a* pa so statistično značilno višje pri čipsu, pridobljenem z vakuumskim sušenjem pri 50 °C. Med vrednostmi parametra b* ni statistično značilnih razlik med analiziranimi vzorci.

Način sušenja statistično značilno vpliva na trdoto čipsa sušenega pri 40 °C, ki je večja pri VS. Pri obeh vrstah sušenja je opaziti, da trdota čipsa rdeče pese 'Detroit' pada z višjo temperaturo sušenja.

4.2 ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE SORTE 'TONDO DI CHIOGGIA'

Iz preglednice 14 je razvidno, da je pri čipsu rdeče pese 'Tondo di Chioggia' izguba vode statistično značilno večja pri KS, največja je pri pesi, sušeni pri 40 °C. Izguba vode pri VS je značilno večja pri vzorcih, sušenih pri temperaturi 50 °C in najmanjša pri vzorcih, sušenih pri 40 °C.

Vrednosti AOP čipsa rdeče pese 'Tondo di Chioggia' (preglednica 14) se, ne glede na način sušenja, gibljejo od 0,14 do 0,20 mmol DPPH/100 g čipsa. Vrednosti AOP so glede na način sušenja statistično značilno višje pri vakuumsko sušeni pesi pri temperaturi sušenja 60 °C. Najvišji AOP ima čips, vakuumsko sušen pri 50 °C. Pri KS je opaziti nižji AOP pri višji temperaturi sušenja, kjer imajo vzorci, sušeni pri 60 °C statistično značilno najnižji AOP. Pri vakuumsko sušenem čipsu temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na AOP.

Iz preglednice 14 lahko povzamemo, da ima način sušenja statistično značilen vpliv na vsebnosti posameznih MK, ki so večje pri KS pri 40 °C, in sicer pri palmitinski, stearinski, oleinski, linolni in linolenski MK. Pri arahidinski in oleinski MK so vsebnosti značilno večje pri VS pri 60 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti posameznih MK. Pri KS so vsebnosti vseh identificiranih MK statistično značilno večje pri sušenju pri 40 °C. Pri VS ni značilnih razlik med vzorci glede vsebnosti MK, razen pri oleinski MK, kjer njena vsebnost narašča z višjo temperaturo sušenja. Vsebnost oleinske MK je značilno največja pri VS pri 60 °C.

Največji delež vseh MK pri čipsu 'Tondo di Chioggia' predstavlja linolna MK (43,81 do 50,11 %), sledijo palmitinska MK (22,51 do 26,12 %), stearinska MK (16,78 do 24,98 %), linolenska MK (5,43 do 7,24 %), oleinska MK (1,82 do 2,43 %) in arahidinska MK (0,36 do 0,58 %). Rezultati za deleže posamezne MK so podani v % oz. v g/100 g skupnih maščob v vzorcu. Način sušenja statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK v čipsu pese 'Tondo di Chioggia'. Delež palmitinske MK je večji pri KS pri vseh treh temperaturah sušenja. Deleži linolne in linolenske MK so značilno večji pri KS pri 60 °C. Pri stearinski in oleinski MK so deleži značilno večji pri VS pri 60 °C in delež linolne MK značilno večji pri VS pri 40 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK. Pri KS so značilno večji deleži palmitinske MK pri 40 °C, deleži linolne MK pri 50 °C in deleži stearinske MK pri 60 °C. Pri VS pa so značilno večji deleži linolne MK pri 50 °C in stearinske MK pri čipsu sušenem pri 60 °C.

Preglednica 14: Analizirani parametri čipsa rdeče pese sorte 'Tondo di Chioggia', pripravljenega v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C

Table 14: Analyzed parameters of 'Tondo di Chioggia' beetroot chips variety produced in a convection and a vacuum dryer at 40, 50 and 60°C

RDEČA PESA ‘Tondo di Chioggia’					
parameter		sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
	izguba vode (%)	KS	89,72 ± 1,08 ^{aA}	86,03 ± 0,65 ^{aC}	88,13 ± 0,08 ^{aB}
		VS	80,52 ± 0,37 ^{bC}	84,52 ± 1,46 ^{bA}	83,73 ± 0,15 ^{bB}
	AOP (mmol DPPH/100 g)	KS	0,18 ± 0,01 ^{aA}	0,17 ± 0,01 ^{aA}	0,14 ± 0,014 ^{bB}
		VS	0,17 ± 0,019 ^{aA}	0,20 ± 0,01 ^{aA}	0,19 ± 2,94 ^{aA}
V S E B N O S T	palmitinska kislina (mg/100 g)	KS	110,13 ± 5,46 ^{aA}	99,85 ± 4,97 ^{aB}	91,15 ± 4,71 ^{aB}
		VS	84,75 ± 2,45 ^{bA}	97,21 ± 17,31 ^{aA}	104,70 ± 10,41 ^{aA}
	stearinska kislina (mg/100 g)	KS	77,63 ± 1,73 ^{aA}	65,45 ± 2,57 ^{aB}	70,76 ± 3,91 ^{aB}
		VS	63,92 ± 4,73 ^{bA}	77,04 ± 7,93 ^{aA}	11,87 ± 9,20 ^{bB}
	oleinska kislina (mg/100 g)	KS	8,31 ± 0,35 ^{aA}	7,12 ± 0,80 ^{aAB}	6,97 ± 0,69 ^{bB}
		VS	6,60 ± 0,08 ^{bC}	8,20 ± 0,58 ^{aB}	11,14 ± 0,32 ^{aA}
	linolna kislina (mg/100 g)	KS	199,85 ± 7,19 ^{aA}	195,59 ± 12,85 ^{aA}	174,65 ± 9,61 ^{aB}
		VS	173,99 ± 3,90 ^{bA}	219,64 ± 60,58 ^{aA}	202,60 ± 29,81 ^{aA}
	linolenska kislina (mg/100 g)	KS	23,59 ± 1,15 ^{aA}	21,52 ± 1,11 ^{aAB}	20,23 ± 1,27 ^{aB}
		VS	19,90 ± 0,28 ^{bA}	32,27 ± 12,28 ^{aA}	25,17 ± 4,09 ^{aA}
arahidinska kislina (mg/100 g)	KS	1,83 ± 0,05 ^{aA}	1,76 ± 0,01 ^{aAB}	1,25 ± 0,26 ^{bA}	
	VS	1,67 ± 0,00 ^{aA}	1,64 ± 0,00 ^{aA}	2,70 ± 0,54 ^{aA}	
D E L E Ž	palmitinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	26,12 ± 0,34 ^{aA}	25,59 ± 0,12 ^{aB}	25,00 ± 0,04 ^{aC}
		VS	24,21 ± 0,13 ^{bA}	22,51 ± 1,09 ^{bA}	22,73 ± 0,41 ^{bA}
	stearinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	18,43 ± 0,28 ^{aB}	16,78 ± 0,26 ^{aC}	19,40 ± 0,31 ^{bA}
		VS	18,25 ± 0,72 ^{aB}	18,04 ± 2,37 ^{aB}	24,98 ± 1,12 ^{aA}
	oleinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	1,97 ± 0,06 ^{aA}	1,82 ± 0,21 ^{aA}	1,91 ± 0,09 ^{bA}
		VS	1,88 ± 0,04 ^{aA}	1,93 ± 0,32 ^{aA}	2,43 ± 0,23 ^{aA}
	linolna kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	47,43 ± 0,25 ^{bB}	50,11 ± 0,65 ^{aA}	47,89 ± 0,37 ^{aB}
		VS	49,72 ± 0,59 ^{aA}	50,09 ± 2,82 ^{aA}	43,81 ± 1,49 ^{bB}
	linolenska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	5,59 ± 0,07 ^{aA}	5,51 ± 0,13 ^{aA}	5,54 ± 0,06 ^{aA}
		VS	5,69 ± 0,27 ^{aA}	7,24 ± 1,22 ^{aA}	5,43 ± 0,28 ^{aA}
arahidinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	0,43 ± 0,01 ^{aA}	0,45 ± 0,00 ^{aA}	0,36 ± 0,08 ^{aA}	
	VS	0,47 ± 0,00 ^{aA}	0,47 ± 0,00 ^{aA}	0,58 ± 0,11 ^{aA}	
	askorbinska kislina (µg/g)	KS	21,75 ± 2,33 ^{aA}	15,53 ± 1,43 ^{aB}	33,05 ± 0,78 ^{aA}
		VS	28,95 ± 1,76 ^{aA}	16,00 ± 2,12 ^{aB}	14,70 ± 3,25 ^{bB}
	lutein (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	α-karoten (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	β-karoten (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	L *	KS	77,49 ± 3,57 ^{aA}	64,68 ± 1,29 ^{aB}	70,21 ± 2,97 ^{aB}
		VS	55,50 ± 12,50 ^{bA}	63,77 ± 12,89 ^{aA}	67,85 ± 2,19 ^{aA}
	a*	KS	6,22 ± 5,04 ^{aA}	11,73 ± 3,21 ^{aA}	10,97 ± 2,46 ^{aA}
		VS	17,15 ± 9,34 ^{aA}	19,05 ± 6,43 ^{aA}	11,44 ± 1,30 ^{aA}
	b*	KS	12,14 ± 5,11 ^{aA}	10,11 ± 2,23 ^{aA}	6,79 ± 1,17 ^{bA}
		VS	7,21 ± 5,83 ^{aAB}	5,82 ± 0,21 ^{bB}	13,58 ± 0,73 ^{aA}
	trdota (N)	KS	1717,68 ± 582,02 ^{bA}	2022,31 ± 191,64 ^{aA}	1741,09 ± 706,51 ^{aA}
		VS	2792,10 ± 182,38 ^{aA}	1999,12 ± 417,27 ^{aB}	1910,88 ± 458,09 ^{aB}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, B, C) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja). Oznaka črtica (-) pomeni, da je bila meritev pod mejo detekcije. KS - konvekcijsko sušenje, VS - vakuumsko sušenje.

Rezultati v preglednici 14 kažejo, da se vsebnost askorbinske kisline čipsa pese 'Tondo di Chioggia' giblje od 14,70 do 33,05 $\mu\text{g/g}$ čipsa. Značilno največjo vsebnost (33,05 $\mu\text{g/g}$ čipsa) ima čips, izdelan s KS pri temperaturi sušenja 60 °C in čips, izdelan z VS pri 40 °C. Način in temperatura sušenja torej značilno vplivata na vsebnost askorbinske kisline v čipsu pese 'Tondo di Chioggia', sušenem pri 60 °C. Vsebnost askorbinske kisline je večja pri vzorcih čipsa, izdelanih s KS in z višjo T sušenja narašča. Pri VS pa vsebnosti askorbinske kisline z naraščanjem temperature padajo in so statistično značilno največje pri 40 °C.

Vsebnosti karotenoidov so bile pri vseh vzorcih čipsa rdeče pese 'Tondo di Chioggia' pod mejo detekcije.

Pri analizi parametrov L^* , a^* in b^* lahko povzamemo, da ima način sušenja statistično značilen vpliv na vrednosti L^* , ki so višje pri čipsu, izdelanem s KS pri 40 °C, na vrednosti b^* , ki so višje pri čipsu, izdelanem s KS pri 50 °C ter pri vakuumsko sušenem čipsu pri 60 °C. Temperatura sušenja značilno vpliva na vrednosti L^* , ki so višje pri KS pri temperaturi sušenja 40 °C. Vrednosti b^* so statistično značilno najvišje pri VS čipsu, sušenem pri 60 °C. Pri vrednostih parametra a^* ni statistično značilnih razlik med analiziranimi vzorci glede na način in T sušenja. Intenzivnejšo rdečo obarvanost ima čips rdeče pese izdelan z VS, še posebej pri T sušenja 50 °C (slika 14).



Slika 14: Čips pese 'Tondo di Chioggia' pripravljen pri 50 °C v konvekcijskem sušilniku (levo) in v vakuumskem sušilniku (desno)

Figure 14: 'Tondo di Chioggia' beetroot chips produced at 50°C in convection dryer (left) and in a vacuum dryer (right)

Statistično značilno največjo trdoto ima čips pese 'Tondo di Chioggia', izdelan z VS pri T sušenja 40 °C. Trdota pada z višjo temperaturo VS.

4.3 ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE SORTE 'FORONO'

Iz preglednice 15 je razvidno, da je pri čipsu rdeče pese 'Forono' izguba vode statistično značilno večja pri KS. Največja izguba vode je pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 60 °C in z VS pri temperaturi sušenja 40 °C.

Vrednosti AOP čipsa rdeče pese 'Forono' (preglednica 15) se gibljejo od 0,82 do 1,11 mmol DPPH/100 g čipsa. Način sušenja statistično značilno vpliva na vrednost AOP, ki je višja pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 40 °C ter pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturah sušenja 50 in 60 °C. Temperatura sušenja značilno vpliva na AOP čipsa pese pri KS, ki je višji pri 40 °C in z višjo T sušenja pada ter najvišji pri čipsu sušenem vakuumsko pri temperaturi sušenja 50 °C.

Iz preglednice 15 lahko povzamemo, da ima način sušenja statistično značilen vpliv na vsebnosti stearinske in oleinske MK čipsa rdeče pese 'Forono', ki so večje pri KS pri temperaturi sušenja 50 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva samo na vsebnost oleinske MK, ki je večja pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 60 °C. Med vsebnostmi palmitinske, linolne, linolenske in arahidinske MK ni statistično značilnih razlik med posameznimi vzorci čipsa.

Identifikacija in kvantifikacija MK (preglednica 15), ne glede na način sušenja kaže, da so v čipsu rdeče pese 'Forono' zastopane linolna MK, ki predstavlja od 40,66 do 45,48 % delež, sledijo stearinska MK (25,21 do 28,76 %), palmitinska MK (19,06 do 20,46 %), linolenska MK (6,63 do 8,68 %) in oleinska MK (1,60 do 3,06 %), medtem ko najmanjši delež predstavlja arahidinska MK (0,72 do 0,86 %).

Način sušenja čipsa rdeče pese 'Forono' ima statistično značilen vpliv na deleže oleinske, linolne in linolenske MK. Delež oleinske MK je značilno večji pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 50 °C in podobno je delež linolenske MK večji pri čipsu, izdelanem s KS, vendar pri temperaturi sušenja 40 °C. Delež linolne MK je značilno večji pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 40 °C in delež linolenske MK večji pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 60 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK (palmitinske, oleinske, linolenske MK). Pri čipsu, izdelanem z VS so značilno večji deleži palmitinske MK pri temperaturi sušenja 40 °C ter oleinske in linolenske MK pri temperaturi sušenja 60 °C.

Rezultati v preglednici 15 kažejo, da se vsebnosti askorbinske kisline v čipsu pese 'Forono' gibljejo od 9,22 do 23,25 µg/g čipsa. Med vsebnostmi askorbinske kisline ni

Preglednica 15: Analizirani parametri čipsa rdeče pese sorte 'Forono', pripravljenega v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C

Table 15: Analyzed parameters of 'Forono' beetroot chips variety produced in a convection and a vacuum dryer at 40, 50 and 60°C

		RDEČA PESA 'Forono'			
	parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
	izguba vode (%)	KS	86,60 ± 1,37 ^{aB}	84,20 ± 1,03 ^{aC}	87,57 ± 0,38 ^{aA}
		VS	83,16 ± 0,18 ^{bA}	81,72 ± 0,66 ^{bC}	82,46 ± 0,42 ^{bB}
	AOP (mmol DPPH/100 g)	KS	1,10 ± 0,08 ^{aA}	0,85 ± 0,01 ^{bB}	0,82 ± 0,02 ^{bB}
		VS	0,90 ± 0,03 ^{bB}	1,11 ± 0,05 ^{aA}	1,07 ± 0,03 ^{aA}
V S E B N O S T	palmitinska kislina (mg/100 g)	KS	65,96 ± 3,46 ^{aA}	65,12 ± 6,34 ^{aA}	60,50 ± 1,39 ^{aA}
		VS	63,17 ± 2,67 ^{aA}	53,97 ± 7,17 ^{aA}	53,24 ± 8,99 ^{aA}
	stearinska kislina (mg/100 g)	KS	86,87 ± 2,38 ^{aA}	88,14 ± 5,19 ^{aA}	88,29 ± 4,81 ^{aA}
		VS	78,12 ± 2,67 ^{aA}	69,06 ± 10,50 ^{bA}	70,17 ± 9,16 ^{aA}
	oleinska kislina (mg/100 g)	KS	8,84 ± 0,94 ^{aA}	8,79 ± 0,45 ^{aA}	8,64 ± 0,18 ^{aA}
		VS	8,00 ± 0,70 ^{aA}	4,39 ± 0,77 ^{bB}	8,51 ± 1,02 ^{aA}
	linolna kislina (mg/100 g)	KS	133,84 ± 13,47 ^{aA}	137,15 ± 23,99 ^{aA}	124,75 ± 2,05 ^{aA}
		VS	138,09 ± 7,40 ^{aA}	123,47 ± 15,42 ^{aA}	123,27 ± 25,50 ^{aA}
D E L E Ž	linolenska kislina (mg/100 g)	KS	26,11 ± 2,69 ^{aA}	23,85 ± 5,60 ^{aA}	22,01 ± 0,81 ^{aA}
		VS	20,49 ± 1,42 ^{aA}	20,75 ± 2,26 ^{aA}	24,36 ± 5,37 ^{aA}
	arahidinska kislina (mg/100 g)	KS	2,34 ± 0,13 ^{aA}	2,41 ± 0,03 ^{aA}	2,67 ± 0,50 ^{aA}
		VS	2,61 ± 0,00 ^{aA}	-	-
	palmitinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	20,37 ± 0,38 ^{aA}	20,10 ± 0,52 ^{aA}	19,71 ± 0,14 ^{aA}
		VS	20,46 ± 0,15 ^{aA}	19,86 ± 0,01 ^{aB}	19,06 ± 0,19 ^{aC}
	stearinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	26,85 ± 1,17 ^{aA}	27,28 ± 1,69 ^{aA}	28,76 ± 0,68 ^{aA}
		VS	25,30 ± 0,25 ^{aA}	25,37 ± 0,55 ^{aA}	25,21 ± 1,23 ^{aA}
	oleinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	2,72 ± 0,09 ^{aA}	2,72 ± 0,19 ^{aA}	2,81 ± 0,14 ^{aA}
		VS	2,59 ± 0,26 ^{aB}	1,60 ± 0,09 ^{bC}	3,06 ± 0,18 ^{aA}
	linolna kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	41,26 ± 1,21 ^{bA}	42,07 ± 2,08 ^{aA}	40,66 ± 0,57 ^{aA}
		VS	44,71 ± 0,62 ^{aA}	45,48 ± 0,45 ^{aA}	43,98 ± 1,24 ^{aA}
	linolenska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	8,05 ± 0,25 ^{aA}	7,28 ± 0,79 ^{aA}	7,16 ± 0,04 ^{bA}
		VS	6,63 ± 0,21 ^{bC}	7,65 ± 0,20 ^{aB}	8,68 ± 0,36 ^{aA}
	arahidinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	0,72 ± 0,01 ^{aA}	0,80 ± 0,05 ^{aA}	0,86 ± 0,13 ^{aA}
		VS	0,85 ± 0,00 ^{aA}	-	-
	askorbinska kislina (µg/g)	KS	20,95 ± 3,61 ^{aA}	11,62 ± 9,58 ^{aA}	23,25 ± 1,62 ^{aA}
		VS	10,00 ± 0,00 ^{aA}	9,22 ± 2,10 ^{aA}	21,55 ± 10,39 ^{aA}
	lutein (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	α-karoten (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	β-karoten (µg/g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	L*	KS	34,48 ± 0,30 ^{aA}	32,78 ± 2,20 ^{aA}	34,11 ± 0,82 ^{aA}
		VS	36,11 ± 2,84 ^{aA}	23,52 ± 0,71 ^{bB}	27,57 ± 2,23 ^{bB}
	a*	KS	33,61 ± 2,02 ^{aA}	22,40 ± 3,55 ^{aB}	20,00 ± 3,37 ^{bB}
		VS	36,69 ± 1,12 ^{aA}	25,98 ± 1,97 ^{aB}	26,21 ± 1,85 ^{aB}
	b*	KS	-1,75 ± 1,00 ^{aC}	3,64 ± 1,49 ^{aB}	7,35 ± 1,19 ^{aA}
		VS	-2,52 ± 0,69 ^{aB}	2,86 ± 1,27 ^{aA}	1,78 ± 1,05 ^{bA}
	trdota (N)	KS	1887,76 ± 181,30 ^{bB}	3424,52 ± 359,16 ^{aA}	2328,88 ± 189,70 ^{aB}
		VS	2672,52 ± 332,27 ^{aA}	2398,78 ± 368,24 ^{bA}	1415,53 ± 167,14 ^{bB}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, B, C) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja). Oznaka črtica (-) pomeni, da je bila meritev pod mejo detekcije. KS - konvekcijsko sušenje, VS - vakuumsko sušenje.

statistično značilnih razlik med analiziranimi vzorci čipsa glede na način in T sušenja. Opaziti pa je večje vsebnosti askorbinske kisline pri konvekcijsko in vakuumsko sušenem čipsu pri 60 °C.

Vsebnosti karotenoidov so bile pod mejo detekcije pri vseh vzorcih čipsa rdeče pese 'Forono'.

Pri analizi parametrov L^* , a^* in b^* čipsa rdeče pese 'Forono' lahko povzamemo, da ima način sušenja statistično značilen vpliv na vrednosti L^* pri KS, kjer so vrednosti višje pri 50 in 60 °C ter na vrednosti a^* in b^* pri VS, ki so značilno višje pri 60 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vrednosti L^* , ki so višje pri VS pri temperaturi sušenja 40 °C. Vrednosti a^* so statistično značilno najvišje pri čipsu, izdelanem z VS in s KS pri temperaturi sušenja 40 °C. Vrednosti b^* pa so statistično značilno najvišje pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 60 °C in z VS pri temperaturi sušenja 50 °C.

Način sušenja statistično značilno vpliva na trdoto, ki je pri čipsu, sušenem pri 50 in 60 °C večja pri KS, pri 40 °C pa pri VS. Trdota vakuumsko sušenega čipsa je statistično značilno večja pri 40 °C in se pri VS značilno zmanjšuje z višjo T sušenja.

4.4 ANALIZA ČIPSA KORENJA SORTE 'JEANNETE'

Kot je razvidno iz preglednice 16 je izguba vode pri korenju 'Jeannete' pri vseh treh temperaturah statistično značilno večja pri vzorcih čipsa, izdelanih z VS.

Vrednosti AOP čipsa korenja 'Jeannete' (preglednica 16) se gibljejo od 0,37 do 0,48 mmol DPPH/100 g čipsa. Med vrednostmi AOP ni statistično značilnih razlik med analiziranimi vzorci čipsa glede na način in T sušenja. Opaziti je višje vrednosti AOP pri vakuumsko sušenem čipsu pri 50 °C.

Iz preglednice 16 lahko povzamemo, da imata temperatura in način sušenja statistično značilen vpliv na vsebnosti palmitinske, stearinske, linolne in linolenske MK čipsa korenja 'Jeannete'. Glede na T sušenja so pri KS večje vsebnosti palmitinske, linolne in linolenske MK pri 40 °C in večje vsebnosti stearinske MK pri temperaturi sušenja 60 °C. Pri vakuumskem sušenju pa so glede na T statistično značilno večje vsebnosti stearinske in linolne MK v čipsu, sušenem pri 50 °C ter palmitinske in linolenske MK pri temperaturi sušenja 60 °C. Rezultati MK v preglednici 16 so najprej podani kot vsebnost posamezne MK v mg/100 g vzorca čipsa in nato kot delež posamezne MK v mg/100 g skupnih maščob vzorca.

Identifikacija in kvantifikacija MK v čipsu korenja 'Jeannete' kaže, da so najpogostejše zastopane linolna MK, ki predstavlja od 67,43 do 69,89 % delež, sledijo palmitinska MK

Preglednica 16: Analizirani parametri čipsa korenja sorte 'Jeannete', pripravljenega v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C

Table 16: Analyzed parameters of carrot chips from 'Jeannete' variety produced in a convection and a vacuum dryer at 40, 50 and 60°C

KORENJE 'Jeannete'					
	parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
	izguba vode (%)	KS	87,38 ± 0,02 ^{bA}	82,83 ± 1,12 ^{bC}	85,80 ± 0,80 ^{bB}
	AOP (mmol DPPH/100 g)	VS	88,44 ± 0,68 ^{aB}	87,17 ± 0,72 ^{aC}	91,21 ± 0,89 ^{aA}
		KS	0,42 ± 0,01 ^{aA}	0,41 ± 0,04 ^{aA}	0,39 ± 0,02 ^{aA}
		VS	0,38 ± 0,12 ^{aA}	0,48 ± 0,03 ^{aA}	0,37 ± 0,03 ^{aA}
V S E B N O S T	palmitinska kislina (mg/100 g)	KS	242,29 ± 46,59 ^{aA}	177,89 ± 8,84 ^{aB}	174,71 ± 6,44 ^{aB}
		VS	148,82 ± 2,73 ^{bC}	170,82 ± 0,88 ^{aB}	189,59 ± 12,83 ^{aA}
		KS	71,18 ± 10,47 ^{aB}	59,67 ± 3,10 ^{bB}	87,10 ± 5,45 ^{aA}
	stearinska kislina (mg/100 g)	VS	83,39 ± 1,21 ^{aB}	147,40 ± 5,01 ^{aA}	73,87 ± 4,44 ^{bC}
	oleinska kislina (mg/100 g)	KS	8,40 ± 3,29 ^{aA}	5,60 ± 1,33 ^{aA}	5,65 ± 0,74 ^{aA}
		VS	4,33 ± 1,14 ^{aA}	7,28 ± 2,37 ^{aA}	4,90 ± 0,25 ^{aA}
		KS	871,35 ± 182,62 ^{aA}	641,82 ± 46,12 ^{bB}	727,40 ± 24,79 ^{aAB}
	linolna kislina (mg/100 g)	VS	565,31 ± 7,13 ^{bB}	794,98 ± 17,57 ^{aA}	746,77 ± 55,56 ^{aA}
	linolenska kislina (mg/100 g)	KS	68,15 ± 14,29 ^{aA}	48,19 ± 3,99 ^{aB}	45,95 ± 1,01 ^{bB}
		VS	36,54 ± 5,79 ^{bB}	42,53 ± 1,11 ^{aB}	55,48 ± 4,79 ^{aA}
D E L E Ž	arahidinska kislina (mg/100 g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
		KS	19,24 ± 0,27 ^{aA}	19,08 ± 0,33 ^{aA}	16,79 ± 0,02 ^{bB}
	palmitinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	VS	17,75 ± 0,12 ^{bA}	14,69 ± 0,22 ^{bB}	17,71 ± 0,17 ^{aA}
	stearinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	5,69 ± 0,36 ^{bC}	6,40 ± 0,1 ^{bB}	8,36 ± 0,23 ^{aA}
		VS	9,95 ± 0,01 ^{aB}	12,67 ± 0,38 ^{aA}	6,90 ± 0,17 ^{bC}
		KS	0,65 ± 0,13 ^{aA}	0,60 ± 0,12 ^{aA}	0,54 ± 0,06 ^{aA}
	oleinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	VS	0,52 ± 0,14 ^{aA}	0,62 ± 0,19 ^{aA}	0,46 ± 0,04 ^{aA}
	linolna kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	69,02 ± 0,41 ^{aB}	68,77 ± 0,29 ^{aB}	69,89 ± 0,24 ^{aA}
		VS	67,43 ± 0,65 ^{bC}	68,35 ± 0,21 ^{aB}	69,74 ± 0,26 ^{aA}
	linolenska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	5,40 ± 0,04 ^{aA}	5,16 ± 0,08 ^{aB}	4,42 ± 0,07 ^{bC}
		VS	4,36 ± 0,67 ^{aB}	3,66 ± 0,08 ^{bB}	5,18 ± 0,07 ^{aA}
		KS	-	-	-
	arahidinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	VS	-	-	-
	askorbinska kislina (µg/g)	KS	16,50 ± 4,10 ^{bA}	8,30 ± 8,07 ^{aA}	17,15 ± 2,89 ^{aA}
		VS	36,00 ± 1,41 ^{aA}	17,95 ± 7,42 ^{aB}	20,50 ± 0,71 ^{aB}
		KS	21,39	13,59	19,03
	lutein (µg/g)	VS	18,45	16,21	12,35
		KS	180,99	141	259,05
	α-karoten (µg/g)	VS	212,46	277,77	174,44
		KS	257,21	243,64	406,22
	β-karoten (µg/g)	VS	319,59	353,02	270,77
		KS	71,29 ± 0,88 ^{aAB}	72,63 ± 2,41 ^{aA}	69,46 ± 0,24 ^{aB}
	L*	VS	70,31 ± 2,41 ^{aA}	66,64 ± 1,62 ^{bA}	69,79 ± 2,24 ^{aA}
		KS	18,32 ± 1,54 ^{aA}	14,88 ± 0,89 ^{bB}	20,42 ± 0,41 ^{aA}
	a*	VS	19,65 ± 3,42 ^{aA}	20,07 ± 1,86 ^{aA}	19,95 ± 1,99 ^{aA}
		KS	38,91 ± 7,35 ^{aA}	29,69 ± 4,24 ^{aA}	32,77 ± 5,03 ^{aA}
	b*	VS	42,56 ± 1,74 ^{aA}	34,07 ± 2,78 ^{aB}	41,30 ± 2,67 ^{aA}
		KS	3315,13 ± 156,55 ^{aA}	2264,27 ± 902,58 ^{aA}	2717,44 ± 916,40 ^{aA}
	trdota (N)	VS	1441,25 ± 272,71 ^{bA}	1083,54 ± 584,71 ^{aA}	1450,00 ± 528,14 ^{aA}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, B, C) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja). Oznaka črtica (-) pomeni, da je bila meritev pod mejo detekcije. KS - konvekcijsko sušenje, VS - vakuumsko sušenje.

(14,69 do 19,24 %), stearinska MK (5,69 do 12,67 %), linolenska MK (3,66 do 5,40 %) in najmanjši delež predstavlja oleinska MK (0,46 do 0,65 %).

Način sušenja ima statistično značilen vpliv na deleže MK v čipsu korenja 'Jeannete'. Deleži oleinske, linolne in linolenske MK so značilno večji pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 40 °C, deleža palmitinske in linolenske MK sta večja pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 50 °C ter delež stearinske MK večji pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 60 °C. Delež palmitinske MK je statistično značilno večji pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 60 °C, deleža stearinske MK značilno večja pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturah sušenja 40 in 50 °C ter deleža palmitinske in linolenske MK značilno večja pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 60 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK (palmitinske, stearinske, oleinske, linolenske MK). Pri čipsu, sušenem pri 40 °C so značilno večji deleži palmitinske MK pri VS ter deleža palmitinske in linolenske MK pri KS. Pri čipsu, sušenem pri 50 °C je značilno večji delež stearinske MK pri VS ter pri čipsu, sušenem pri 60 °C sta značilno večja deleža stearinske in linolne MK pri KS ter večja deleža linolne in linolenske MK pri VS.

Rezultati v preglednici 16 kažejo, da se vsebnosti askorbinske kisline v čipsu korenja 'Jeannete' gibljejo od 8,30 do 36 µg/g čipsa. Način in temperatura sušenja statistično značilno vplivata na vsebnosti askorbinske kisline v čipsu korenja 'Jeannete' pri KS in VS, ki so večje pri 40 °C. Vsebnost askorbinske kisline v čipsu je statistično značilno največja pri VS pri 40 °C. Pri VS je, v primerjavi s KS, opaziti večje vsebnosti askorbinske kisline pri vseh temperaturah sušenja.

Iz rezultatov vsebnosti karotenoidov (preglednica 16) v čipsu korenja 'Jeannete' lahko povzamemo, da je vsebnost luteina pri vzorcih, sušenih v konvekcijskem sušilniku, najmanjša (13,59 µg/g čipsa) pri 50 °C in največja (21,39 µg/g čipsa) pri 40 °C. Vsebnosti luteina pri VS z naraščanjem temperature sušenja padajo. Vsebnosti α -karotena so največje (277,77 µg/g čipsa) pri VS pri 50 °C ter najmanjše (141 µg/g čipsa) pri KS pri 50 °C. Vsebnosti β -karotena so največje (406,22 µg/g čipsa) pri KS pri 60 °C ter najmanjše (243,64 µg/g čipsa) pri KS pri 50 °C.

Pri analizi parametrov L^* , a^* in b^* lahko povzamemo, da ima način sušenja statistično značilen vpliv na vrednosti L^* , ki so višje pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 50 °C in na vrednosti a^* , ki so višje pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 50 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vrednosti L^* pri čipsu, sušenem pri 50 °C. Vrednosti a^* so statistično značilno najvišje pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 60 °C, medtem ko so vrednosti b^* statistično značilno najvišje pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturah sušenja 40 in 50 °C.

Način sušenja pri temperaturi 40 °C vpliva na trdoto čipsa, ki je največja pri KS. Pri ostalih temperaturah način sušenja bistveno ne daje značilnih razlik v trdoti čipsa. Vsi vzorci čipsa vakuumskega sušenja so manj trdi od vzorcev konvekcijsko sušenega čipsa.

4.5 ANALIZA ČIPSA KORENJA SORTE 'ROLANKA'

Iz preglednice 17 je razvidno, da je izguba vode pri korenju 'Rolanka' statistično značilno večja pri VS pri vseh treh temperaturah sušenja. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na izgubo vode. Izguba vode je statistično značilno večja pri temperaturi sušenja 60 °C in najmanjša pri temperaturi sušenja 40 °C, pri čipsu, izdelanem z VS ter statistično značilno večja pri temperaturi sušenja 60 °C in najmanjša pri temperaturi sušenja 50 °C, pri čipsu, izdelanem s KS.

Vrednosti AOP čipsa korenja 'Rolanka' (preglednica 17) se gibljejo od 0,37 do 0,64 mmol DPPH/100 g čipsa. Način sušenja statistično značilno vpliva na vrednost AOP čipsa, ki je višja pri VS pri vseh temperaturah sušenja. Temperatura sušenja značilno vpliva na AOP čipsa, ki je najvišji pri VS pri 40 in 50 °C in z višjo T sušenja pada ter najmanjši pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 60 °C.

Iz preglednice 17 lahko povzamemo, da imata temperatura in način sušenja statistično značilen vpliv na vsebnosti posameznih MK v čipsu korenja 'Rolanka'. Način sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti oleinske in linolne MK pri temperaturi sušenja 40 °C, ki so večje pri VS in na vsebnosti palmitinske, stearinske, linolne in linolenske MK pri 60 °C, ki so večje pri VS. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti palmitinske in linolenske MK v čipsu, ki so večje pri VS pri 50 °C ter vsebnost stearinske MK, ki je značilno večja pri VS pri temperaturi sušenja 60 °C.

Identifikacija in kvantifikacija MK v čipsu korenja 'Rolanka' kažeta (preglednica 17), da so najpogostejše zastopane naslednje MK: linolna MK, ki predstavlja od 69,56 do 72,21 % delež, nato palmitinska MK (16,08 do 19,31 %), stearinska MK (4,97 do 8,74 %), linolenska MK (4,33 do 5,65 %), najmanjši delež predstavlja oleinska MK (0,56 do 0,70 %). Način sušenja ima statistično značilen vpliv na deleže določenih MK v čipsu korenja 'Rolanka'. Deleži stearinske, oleinske in linolenske MK so značilno večji pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 40 °C, delež palmitinske MK je večji pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 50 °C ter deleža palmitinske in linolenske MK sta večja pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi sušenja 60 °C. Delež linolne MK je statistično značilno večji pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 40 °C, deleža stearinske in oleinske MK sta značilno večja pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 50 °C ter deleža stearinske in linolne MK značilno večja pri vakuumsko sušenem čipsu korenja 'Rolanka' pri 60 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na

Preglednica 17: Analizirani parametri čipsa korenja sorte 'Rolanka', pripravljenega v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku pri 40, 50 in 60 °C

Table 17: Analyzed parameters of 'Rolanka' carrot chips produced in a convection and a vacuum dryer at 40, 50 and 60°C

	KORENJE 'Rolanka'				
	parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
	izguba vode (%)	KS	85,76 ± 0,89 ^{BB}	83,22 ± 0,41 ^{BC}	87,21 ± 0,06 ^{BA}
		VS	86,31 ± 0,03 ^{AB}	86,34 ± 0,37 ^{AB}	91,47 ± 0,18 ^{AA}
	AOP (mmol DPPH/100 g)	KS	0,39 ± 0,05 ^{BB}	0,56 ± 0,01 ^{BA}	0,37 ± 0,01 ^{BC}
		VS	0,64 ± 0,01 ^{AA}	0,60 ± 0,02 ^{AA}	0,42 ± 0,01 ^{AB}
V S E B N O S T	palmitinska kislina (mg/100 g)	KS	242,86 ± 12,52 ^{AA}	294,79 ± 79,74 ^{AA}	226,62 ± 3,87 ^{BA}
		VS	258,96 ± 5,79 ^{AB}	279,03 ± 6,02 ^{AA}	262,92 ± 2,09 ^{AB}
	stearinska kislina (mg/100 g)	KS	99,61 ± 8,26 ^{AA}	82,22 ± 19,92 ^{AB}	58,35 ± 2,62 ^{BB}
		VS	85,81 ± 2,02 ^{AC}	91,87 ± 2,04 ^{AB}	143,03 ± 0,55 ^{AA}
	oleinska kislina (mg/100 g)	KS	8,32 ± 0,65 ^{BA}	9,04 ± 2,09 ^{AA}	8,30 ± 0,46 ^{AA}
		VS	10,75 ± 0,34 ^{AA}	10,20 ± 0,08 ^{AA}	9,91 ± 1,19 ^{AA}
	linolna kislina (mg/100 g)	KS	983,79 ± 46,43 ^{BA}	1138,45 ± 305,99 ^{AA}	816,82 ± 29,43 ^{BA}
		VS	1118,53 ± 31,24 ^{AA}	1152,40 ± 22,41 ^{AA}	1148,34 ± 13,94 ^{AA}
	linolenska kislina (mg/100 g)	KS	79,84 ± 4,92 ^{AA}	79,46 ± 31,36 ^{AA}	63,76 ± 2,36 ^{BA}
		VS	75,05 ± 3,41 ^{AB}	78,12 ± 2,14 ^{AA}	70,83 ± 0,27 ^{AB}
D E L E Ž	arahidinska kislina (mg/100 g)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	palmitinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	17,17 ± 0,46 ^{AC}	18,39 ± 0,14 ^{AB}	19,31 ± 0,29 ^{AA}
		VS	16,72 ± 0,08 ^{AB}	17,31 ± 0,10 ^{BA}	16,08 ± 0,22 ^{BC}
	stearinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	7,04 ± 0,38 ^{AA}	5,16 ± 0,20 ^{BB}	4,97 ± 0,12 ^{BB}
		VS	5,54 ± 0,02 ^{BC}	5,70 ± 0,07 ^{AB}	8,74 ± 0,04 ^{AA}
	oleinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	0,59 ± 0,02 ^{BB}	0,56 ± 0,03 ^{BB}	0,70 ± 0,02 ^{AA}
		VS	0,69 ± 0,04 ^{AA}	0,63 ± 0,01 ^{AA}	0,60 ± 0,06 ^{AA}
	linolna kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	69,56 ± 0,53 ^{BB}	71,05 ± 0,46 ^{AA}	69,57 ± 0,25 ^{BB}
		VS	72,21 ± 0,05 ^{AA}	71,50 ± 0,05 ^{AB}	70,23 ± 0,21 ^{AC}
	linolenska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	5,65 ± 0,30 ^{AA}	4,81 ± 0,75 ^{AA}	5,43 ± 0,09 ^{AA}
		VS	4,84 ± 0,09 ^{BA}	4,84 ± 0,14 ^{AB}	4,33 ± 0,02 ^{BC}
	arahidinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	KS	-	-	-
		VS	-	-	-
	askorbinska kislina (µg/g)	KS	15,20 ± 2,97 ^{AA}	23,35 ± 4,74 ^{AA}	20,15 ± 1,34 ^{AA}
		VS	30,00 ± 9,47 ^{AA}	15,01 ± 12,01 ^{AA}	15,70 ± 6,64 ^{AA}
	lutein (µg/g)	KS	11,65	11,09	8,28
		VS	29,96	30,29	31,86
	α-karoten (µg/g)	KS	95,65	111,56	57,05
		VS	261,94	437,42	345,66
	β-karoten (µg/g)	KS	131,46	155,64	93,80
		VS	429,53	613,28	561,87
	L*	KS	70,24 ± 5,59 ^{AA}	69,07 ± 3,47 ^{AA}	69,18 ± 1,28 ^{AA}
		VS	70,63 ± 0,67 ^{AA}	67,75 ± 2,11 ^{AA}	66,60 ± 2,21 ^{AA}
	a*	KS	18,19 ± 5,25 ^{AA}	20,65 ± 2,37 ^{AA}	19,65 ± 0,93 ^{AA}
		VS	20,44 ± 1,62 ^{AA}	20,70 ± 3,25 ^{AA}	22,92 ± 2,14 ^{AA}
	b*	KS	34,09 ± 4,76 ^{AA}	39,71 ± 4,35 ^{AA}	35,19 ± 3,47 ^{AA}
		VS	38,53 ± 4,58 ^{AA}	40,65 ± 2,09 ^{AA}	42,69 ± 2,75 ^{AA}
	trdota (N)	KS	1709,26 ± 196,51 ^{AA}	2482,22 ± 617,48 ^{AA}	2321,58 ± 1045,75 ^{AA}
		VS	1885,08 ± 307,61 ^{AA}	1600,59 ± 133,57 ^{AB}	1448,66 ± 46,26 ^{AB}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, B, C) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja). Oznaka črtica (-) pomeni, da je bila meritev pod mejo detekcije. KS - konvekcijsko sušenje, VS - vakuumsko sušenje.

deleža posameznih MK. Pri čipsu, sušenem pri 40 °C, so značilno večji deleži stearinske MK pri KS ter večja sta deleža palmitinske in linolenske MK pri VS. V čipsu sušenem pri 50 °C je značilno večji delež palmitinske MK pri VS in delež linolne MK pri KS. Pri čipsu, sušenem pri 60 °C, sta značilno večja deleža palmitinske in oleinske MK pri KS ter večji delež stearinske MK pri VS.

Rezultati v preglednici 17 kažejo, da se vsebnosti askorbinske kisline v čipsu korenja 'Rolanka' gibljejo od 15,01 do 30 µg/g čipsa. Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na vsebnosti askorbinske kisline v čipsu. Največje vsebnosti askorbinske kisline so pri VS pri 40 °C, manjše pri VS pri 50 in 60 °C ter najmanjše pri KS pri temperaturi sušenja 40 °C.

Iz rezultatov vsebnosti karotenoidov (preglednica 17) v čipsu korenja 'Rolanka' lahko povzamemo, da je vsebnost luteina najmanjša (8,28 µg/g čipsa) pri KS pri 60 °C in največja (31,86 µg/g čipsa) pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 60 °C. Vsebnosti α -karotena so največje (437,42 µg/g čipsa) pri VS pri 50 °C ter najmanjše (57,05 µg/g čipsa) pri KS pri 60 °C. Vsebnosti β -karotena pa so največje (613,28 µg/g čipsa) pri VS pri 50 °C ter najmanjše (93,80 µg/g čipsa) pri KS pri 60 °C.

Pri analizi parametrov L^* , a^* in b^* lahko povzamemo, da način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na vrednosti L^* in a^* . Način sušenja statistično značilno vpliva le na vrednosti parametra b^* , ki so višje pri VS pri 60 °C, kjer je večja rumena obarvanost čipsa korenja. Rumena barva čipsa korenja je pri nižji T manj izrazita.

Iz preglednice 17 je tudi razvidno, da temperatura sušenja statistično značilno vpliva na trdoto čipsa korenja, ki je večja pri VS pri 40 °C in se z naraščanjem temperature sušenja zmanjšuje. Glede na način sušenja ni statistično značilnih razlik v trdoti posameznih vrst čipsa, je pa trdota vzorcev čipsa večja pri KS pri temperaturah 50 in 60 °C.

4.6 STATISTIČNA ANALIZA PARAMETROV VSEH VZORCEV ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA V ODVISNOSTI OD NAČINA SUŠENJA NE GLEDE NA TEMPERATURO SUŠENJA

Pri pregledu statističnih podatkov srednjih vrednosti analiziranih vzorcev čipsa rdeče pese in korenja smo vse vzorce skupaj primerjali glede na način sušenja (konvekcijsko ali vakuumsko) ne glede na temperaturo sušenja ter ugotovili naslednje razlike (preglednica 18). Izguba vode je statistično značilno večja pri vzorcih čipsa sušenih v konvekcijskem sušilniku. Način sušenja statistično značilno ne vpliva na AOP, vendar je višji AOP pri vakuumsko sušenem čipsu. Med vsebnostmi določenih MK (palmitinska, oleinska, linolna, linolenska, arahidinska MK) ni statistično značilnih razlik med vzorci čipsa, proizvedenimi v konvekcijskem oz. vakuumskem sušilniku.

Preglednica 18: Analizirani parametri vseh vzorcev čipsa pripravljeni v konvekcijskem in vakuumskem sušilniku

Table 18: Analyzed parameters of all the samples of chips produced in a convectional and a vacuum dryer

VSI VZORCI ČIPSA			
	parameter	konvekcijsko sušenje	vakuumsko sušenje
	izguba vode (%)	86,18 ± 1,79 ^a	84,96 ± 3,70 ^b
	AOP (mmol/100 g)	0,56 ± 0,28 ^a	0,62 ± 0,35 ^a
V S E B N O S T	palmitinska kislina (mg/100 g)	144,62 ± 80,85 ^a	133,20 ± 78,49 ^a
	stearinska kislina (mg/100 g)	83,75 ± 20,15 ^b	96,67 ± 28,31 ^a
	oleinska kislina (mg/100 g)	8,01 ± 2,09 ^a	8,23 ± 2,99 ^a
	linolna kislina (mg/100g)	464,90 ± 375,25 ^a	469,49 ± 399,06 ^a
	linolenska kislina (mg/100g)	41,67 ± 23,49 ^a	39,99 ± 20,49 ^a
	arahidinska kislina (mg/100g)	1,97 ± 0,72 ^a	2,16 ± 0,96 ^a
	palmitinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	20,53 ± 2,89 ^a	18,96 ± 2,53 ^b
D E L E Ž	stearinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	16,56 ± 9,85 ^a	18,20 ± 9,30 ^a
	oleinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	1,55 ± 0,90 ^a	1,60 ± 0,97 ^a
	linolna kislina (g/100 g skupnih maščob)	55,14 ± 13,03 ^a	54,99 ± 12,90 ^a
	linolenska kislina (g/100 g skupnih maščob)	5,99 ± 1,13 ^a	6,11 ± 1,68 ^a
	arahidinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	0,56 ± 0,23 ^a	0,54 ± 0,21 ^a
	askorbinska kislina (μg/g)	17,85 ± 7,40 ^a	18,10 ± 9,73 ^a
	lutein (μg/g)	14,17 ± 5,03 ^a	23,19 ± 8,49 ^a
	α-karoten (μg/g)	140,88 ± 71,42 ^b	284,95 ± 94,84 ^a
	β-karoten (μg/g)	213,16 ± 113,05 ^b	424,67 ± 137,32 ^a
	L*	55,85 ± 18,42 ^a	50,98 ± 20,07 ^a
	a*	18,93 ± 6,77 ^b	22,51 ± 6,45 ^a
	b*	17,62 ± 15,18 ^a	18,76 ± 18,04 ^a
	trdota (N)	2300,49 ± 697,03 ^a	1933,01 ± 676,18 ^b

Srednje vrednosti označene z različnimi malimi črkami nadpisano (a,b) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo pri posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike med načini sušenja - konvekcijsko ali vakuumsko).

Izjema je vsebnost stearinske MK, ki je statistično značilno večja pri vakuumsko sušenih vzorcih čipsa. Način sušenja statistično značilno ne vpliva na deleže posameznih MK (stearinska, oleinska, linolna, linolenska, arahidinska MK), razen na delež palmitinske MK je statistično značilno večji pri konvekcijsko sušenem čipsu. Med vsebnostmi askorbinske kisline ni značilnih razlik med vzorci. Med vsebnostmi karotenoidov so statistično značilne razlike pri α - in β -karotenu, ki so večje pri vakuumsko sušenem čipsu. Način sušenja statistično značilno ne vpliva na vsebnost luteina. Pri vrednostih L^* , a^* in b^* lahko povzamemo, da so statistično značilne višje vrednosti a^* pri vakuumsko sušenih vzorcih čipsa, medtem ko pri vrednostih L^* in b^* ni statistično značilnih razlik med načinoma sušenja. Trdota čipsa je statistično značilno večja pri čipsu, izdelanem s konvekcijskim sušenjem.

4.7 ANALIZA PARAMETROV VSEH VZORCEV ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA, SUŠENIH PRI RAZLIČNIH TEMPERATURAH NE GLEDE NA NAČIN SUŠENJA

Pri pregledu statističnih podatkov analiziranih vzorcev čipsa rdeče pese in korenja smo vse vzorce primerjali glede na temperaturo sušenja pri 40, 50 in 60 °C ne glede na način sušenja ter ugotovili naslednje razlike (preglednica 19). Izguba vode je statistično značilno večja pri vzorcih, sušenih pri 60 °C. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na AOP, vendar je opaziti višji AOP pri vzorcih čipsa, sušenih pri 40 in 50 °C. Pri vsebnostih in deležih MK (palmitinska, oleinska, linolna, linolenska, arahidinska) ni statistično značilnih razlik med vzorci glede na temperaturo sušenja. Glede vsebnosti askorbinske kisline so statistično značilne razlike med vzorci, vsebnosti askorbinske kisline so večje pri temperaturi sušenja 40 in 60 °C. Pri vsebnostih karotenoidov v vzorcih čipsa ni statistično značilnih razlik glede temperature sušenja. Opaziti pa je večje vsebnosti luteina pri vzorcih, sušenih pri 40 °C ter večje vsebnosti α - in β -karotena pri vzorcih, sušenih pri 50 °C. Parametri L^* , a^* in b^* ne kažejo statistično značilnih razlik med vzorci glede na različne temperature sušenja. Svetlejšo barvo (višji L^*) in bolj intenzivno rdečo barvo (višji a^*) ima čips sušen pri 40 °C. Trdota čipsa z naraščanjem temperature sušenja pada, kar pomeni, da je največja trdota pri vzorcih sušenih pri 40 °C, in najmanjša pri vzorcih, sušenih pri 60 °C.

Preglednica 19: Analizirani parametri vseh vzorcev čipsa pripravljeni pri različnih temperaturah sušenja

Table 19: Analyzed parameters of all the samples of chips produced at different temperatures of drying

VSI VZORCI ČIPSA				
	parameter	40 °C	50 °C	60 °C
	izguba vode (%)	85,15 ± 3,61 ^B	84,55 ± 1,62 ^B	86,99 ± 2,78 ^A
	AOP (mmol/100 g)	0,60 ± 0,34 ^A	0,64 ± 0,31 ^A	0,52 ± 0,29 ^A
V S E B N O S T	palmitinska kislina (mg/100 g)	137,55 ± 78,06 ^A	143,57 ± 87,66 ^A	135,39 ± 74,22 ^A
	stearinska kislina (mg/100 g)	86,45 ± 17,04 ^A	88,53 ± 27,39 ^A	95,56 ± 29,28 ^A
	oleinska kislina (mg/100 g)	8,01 ± 2,46 ^A	8,20 ± 2,67 ^A	8,13 ± 2,65 ^A
	linolna kislina (mg/100 g)	450,12 ± 377,40 ^A	493,74 ± 412,74 ^A	456,16 ± 375,05 ^A
	linolenska kislina (mg/100 g)	40,75 ± 23,61 ^A	42,60 ± 23,43 ^A	39,07 ± 19,09 ^A
	arahidinska kislina (mg/100 g)	1,99 ± 0,75 ^A	1,84 ± 0,99 ^A	2,24 ± 0,74 ^A
D E L E Ž	palmitinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	20,17 ± 2,86 ^A	19,61 ± 2,88 ^A	19,46 ± 2,75 ^A
	stearinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	17,15 ± 9,09 ^A	16,20 ± 8,55 ^A	18,80 ± 11,03 ^A
	oleinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	1,57 ± 0,89 ^A	1,50 ± 0,84 ^A	1,65 ± 1,07 ^A
	linolna kislina (g/100 g skupnih maščob)	54,83 ± 12,46 ^A	56,35 ± 12,03 ^A	53,94 ± 14,40 ^A
	linolenska kislina (mg/100 g skupnih maščob)	6,04 ± 1,16 ^A	6,18 ± 1,66 ^A	5,93 ± 1,42 ^A
	arahidinska kislina (g/100 g skupnih maščob)	0,52 ± 0,21 ^A	0,53 ± 0,27 ^A	0,60 ± 0,19 ^A
	askorbinska kislina (μg/g)	21,47 ± 9,46 ^A	13,17 ± 7,67 ^B	19,59 ± 6,38 ^A
	lutein (μg/g)	20,36 ± 7,58 ^A	17,79 ± 8,58 ^A	17,88 ± 10,31 ^A
	α-karoten (μg/g)	187,76 ± 69,86 ^A	241,93 ± 149,09 ^A	209,05 ± 123,10 ^A
	β-karoten (μg/g)	284,44 ± 124,40 ^A	339,14 ± 199,94 ^A	333,16 ± 199,02 ^A
	L*	54,53 ± 19,77 ^A	51,79 ± 20,13 ^A	53,92 ± 18,53 ^A
	a*	21,39 ± 8,99 ^A	20,69 ± 5,34 ^A	20,04 ± 5,67 ^A
	b*	18,08 ± 17,90 ^A	17,42 ± 15,98 ^A	19,06 ± 16,33 ^A
	trdota (N)	2399,67 ± 662,59 ^A	2159,20 ± 756,06 ^{AB}	1890,37 ± 659,61 ^B

Srednje vrednosti označene z različnimi velikimi črkami nadpisano (A, AB, B) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo pri posameznem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja; 40, 50, 60 °C).

4.8 ANALIZA POVEZANOSTI SPREMENLJIVK

Za analizirane parametre smo določili vrednosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta s programom SAS System. Korelacijski koeficienti nakazujejo povezave med posameznimi parametri. Pearsonov korelacijski koeficient (R) je pri linearni zvezi enak kvadratnemu korenu determinacijskega koeficienta. Določali smo povezave med vrednostmi večje od 0,7, kar pomeni statistično značilne povezave. Pri obravnavi smo določili 32 močnih povezav s statistično značilnostjo pri $P \leq 0,05$ (stopnja tveganja) (priloga A). Zelo močno statistično značilna zveza je med α -karotenom in β -karotenom (0,98) ter luteinom in β -karotenom (0,90), med palmitinsko MK in linolno MK (0,98), b^* vrednostjo in deležem linolne MK (0,94), palmitinsko MK in linolensko MK (0,95), palmitinsko MK in deležem linolne MK (0,90), linolno MK in linolensko MK (0,94), linolno MK in deležem linolne MK (0,92), deležem stearinske MK in deležem linolne MK (0,97) ter med deležem oleinske MK in deležem linolne MK (0,93). Ostale povezave z nižjo stopnjo povezanosti med neodvisnima spremenljivkama so povezave med luteinom in α -karotenom (0,86), med vrednostima L^* in b^* (0,75), vrednostjo L^* in AOP (0,85), vrednostjo b^* in palmitinsko MK (0,89), vrednostjo L^* in deležem stearinske MK (0,80), vrednostjo L^* in deležem linolne MK (0,72), vrednostjo L^* in deležem linolenske MK (0,79), b^* vrednostjo in linolensko MK (0,79), b^* vrednostjo in deležem stearinske MK (0,89), b^* vrednostjo in deležem oleinske MK (0,87), b^* vrednostjo in deležem linolenske MK (0,76), palmitinsko MK in deležem stearinske MK (0,88), palmitinsko MK in deležem oleinske MK (0,81), linolno MK in deležem stearinske MK (0,87), linolno MK in deležem oleinske MK (0,83), linolensko MK in deležem stearinske MK (0,79), linolensko MK in deležem linolne MK (0,82), arahidinsko MK in deležem arahidinske MK (0,82), deležem stearinske MK in deležem oleinske MK (0,88), deležem oleinske MK in deležem linolenske MK (0,77) ter med deležem linolne MK in deležem linolenske MK (0,73).

Iz priloge A je razvidno, da je L^* vrednost v negativni korelaciji z antioksidativnim potencialom, deležem stearinske MK in deležem linolenske MK, kar pomeni, da svetlejši je čips, manjša je njegova antioksidativna vrednost oz. AOP in manjša sta deleža stearinske in linolenske MK v čipsu. Nekoliko slabša je povezanost parametra a^* in AOP (0,67), kjer večja intenzivnost rdeče barve pomeni višji AOP.

4.9 SENZORIČNA ANALIZA ČIPSA RDEČE PESE IN KORENJA

V raziskovalno delo smo vključili tudi senzorično analizo s točkovanjem posameznih senzoričnih lastnosti čipsa rdeče pese in korenja. Ker gre za nov izdelek, smo se odločili za točkovanje, ki nam poda razlike v obravnavanih senzoričnih parametrih (barva, enakomernost površine, vonj, okus, značilnost arome, obstojnost arome in tekstura).

V senzorično analizo smo vključili čips rdeče pese 'Detroit' in 'Forono' in čips korenja sorte 'Jeannete' in 'Rolanka'. Čips pese 'Tondo di Chioggia' smo izvzeli iz senzorične analize zaradi izrazito grenkega okusa. Ocene za senzorične parametre posameznih vrst čipsa smo statistično obdelali in primerjali glede na način sušenja (konvekcijsko ali vakuumsko) in glede na različne temperature sušenja (40, 50, 60 °C). Za analizirane parametre smo uporabili Duncanov Multiple Range test. Rezultati so navedeni kot povprečje treh ocen posamezne vrste čipsa.

4.9.1 Senzorična analiza čipsa rdeče pese sorte 'Detroit'

Iz preglednice 20 je razvidno, da je ocena barve čipsa rdeče pese 'Detroit' statistično značilno višja pri VS pri vseh treh T sušenja. Najvišje ocenjena po barvi sta čipsa, izdelana z VS pri temperaturah sušenja 50 in 60 °C (slika 15). Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na barvo čipsa.

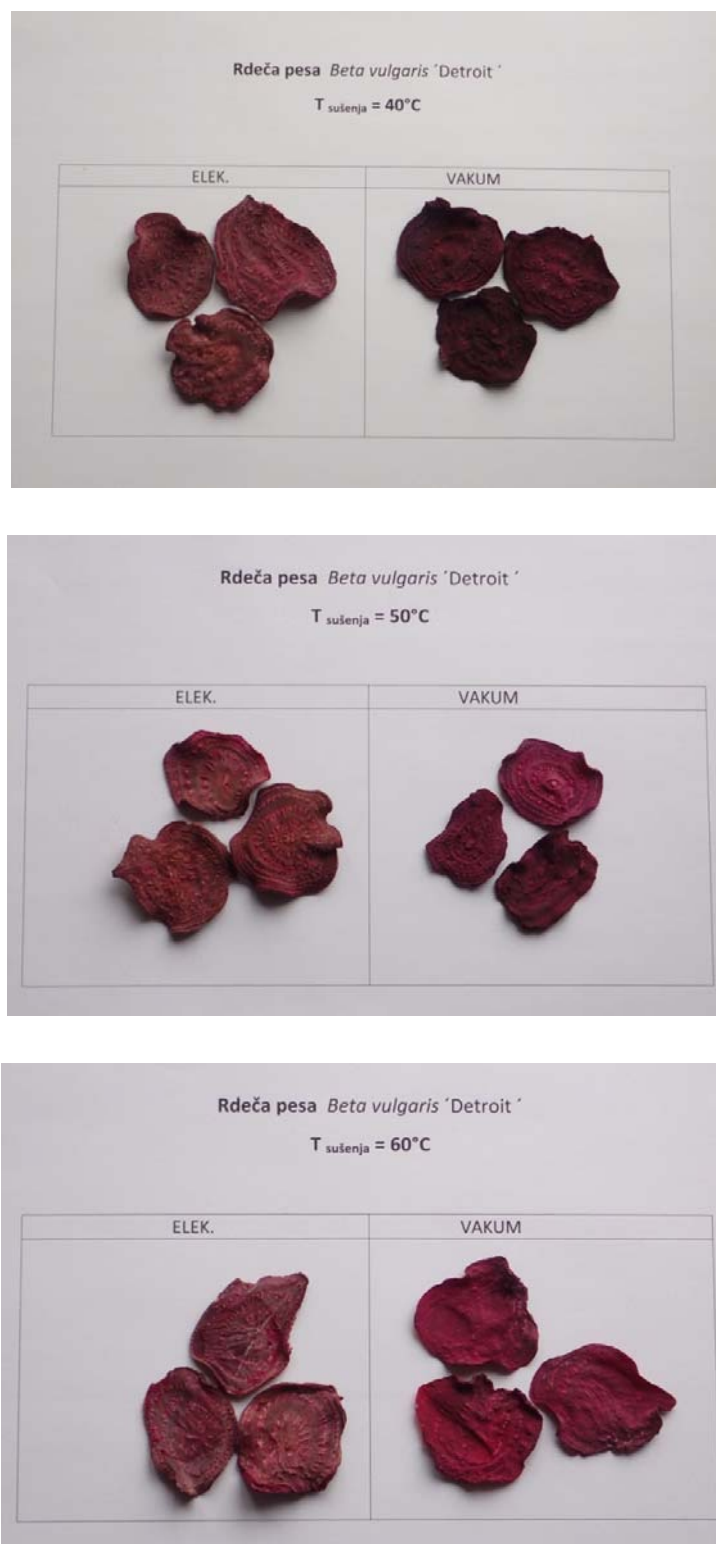
Pri ocenah enakomernosti površine čipsa so statistično značilne razlike glede na način sušenja, kjer so najboljše ocenjeni vzorci čipsa, sušeni pri temperaturah 40 in 50 °C v vakuumskem sušilniku. Najvišjo oceno je prejel čips, izdelan z VS pri temperaturi sušenja 60 °C, vendar pri tej temperaturi razlike med načinoma sušenja niso statistično značilne.

Preglednica 20: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa rdeče pese sorte 'Detroit'

Table 20: Statistical analysis of sensory parameters at 'Detroit' chips variety of beetroot

RDEČA PESA 'Detroit'				
parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
barva	KS	2,33 ± 0,29 ^{bA}	2,50 ± 0,00 ^{bA}	2,67 ± 0,29 ^{bA}
	VS	3,83 ± 0,29 ^{aA}	4,00 ± 0,00 ^{aA}	4,00 ± 0,00 ^{aA}
enakomernost površine	KS	2,00 ± 0,00 ^{bA}	2,00 ± 0,00 ^{bA}	2,50 ± 0,50 ^{aA}
	VS	2,83 ± 0,29 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{aA}	3,33 ± 0,58 ^{aA}
vonj	KS	4,33 ± 0,58 ^{aA}	3,17 ± 0,29 ^{aB}	3,33 ± 0,29 ^{bB}
	VS	3,83 ± 0,29 ^{aA}	3,67 ± 0,58 ^{aA}	4,00 ± 0,00 ^{aA}
okus	KS	3,83 ± 0,58 ^{aA}	2,67 ± 0,58 ^{aB}	3,17 ± 0,29 ^{bAB}
	VS	4,83 ± 0,29 ^{aA}	3,83 ± 0,58 ^{aB}	4,50 ± 0,50 ^{aAB}
značilnost arome	KS	3,17 ± 0,29 ^{bA}	2,83 ± 0,29 ^{bA}	3,33 ± 0,29 ^{bA}
	VS	4,50 ± 0,50 ^{aA}	3,83 ± 0,29 ^{aA}	4,67 ± 0,58 ^{aA}
obstojnost arome	KS	2,50 ± 0,50 ^{aA}	2,33 ± 0,29 ^{aA}	2,50 ± 0,50 ^{aA}
	VS	3,00 ± 0,00 ^{aA}	2,83 ± 0,29 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{aA}
tekstura	KS	4,00 ± 0,00 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{bB}	3,67 ± 0,58 ^{bA}
	VS	3,33 ± 0,58 ^{aB}	4,00 ± 0,50 ^{aB}	5,00 ± 0,00 ^{aA}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, AB, B) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja).



Slika 15: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa rdeče pese 'Detroit' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C)

Figure 15: Comparison of appearance (colour, uniformity of the surface) at 'Detroit' beetroot chips depending on the type of drying (convection, vacuum) at different temperatures (40, 50, 60°C)

Način sušenja statistično značilno vpliva na vonj, statistično značilno višjo oceno je dobil čips, izdelan z VS pri temperaturi sušenja 60 °C. Pri konvekcijsko sušenem čipsu T sušenja vpliva na vonj čipsa, ocena za vonj se statistično značilno znižuje z višjo T sušenja, kar pomeni, da je ocena vonja čipsa statistično značilno najvišja pri KS pri 40 °C.

Način sušenja statistično značilno vpliva na okus čipsa, ocene so višje pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 60 °C. Temperatura sušenja značilno vpliva na okus čipsa tako pri vakuumsko kot pri konvekcijsko sušenih vzorcih, ocene so značilno najvišje pri vzorcih čipsa, sušenih pri 40 °C.

Ocena značilnosti arome je statistično značilno višja pri VS pri vseh treh T sušenja. Različne temperature sušenja niso pokazale značilnih razlik v oceni značilnosti arome čipsa.

Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na obstojnost arome. Višje ocene za obstojnost arome so pri vakuumsko sušenem čipsu.

Med ocenami teksture pesinega čipsa 'Detroit' so razlike glede na način sušenja pri 50 in 60 °C, kjer je tekstura čipsa statistično značilno bolje ocenjena pri čipsu, izdelanem z VS. Temperatura sušenja značilno vpliva na teksturo čipsa, kjer so ocene značilno višje pri vzorcih čipsa, izdelanem s KS pri temperaturah sušenja 40 in 60 °C ter značilno najvišje pri čipsu, izdelanem z VS pri 60 °C.

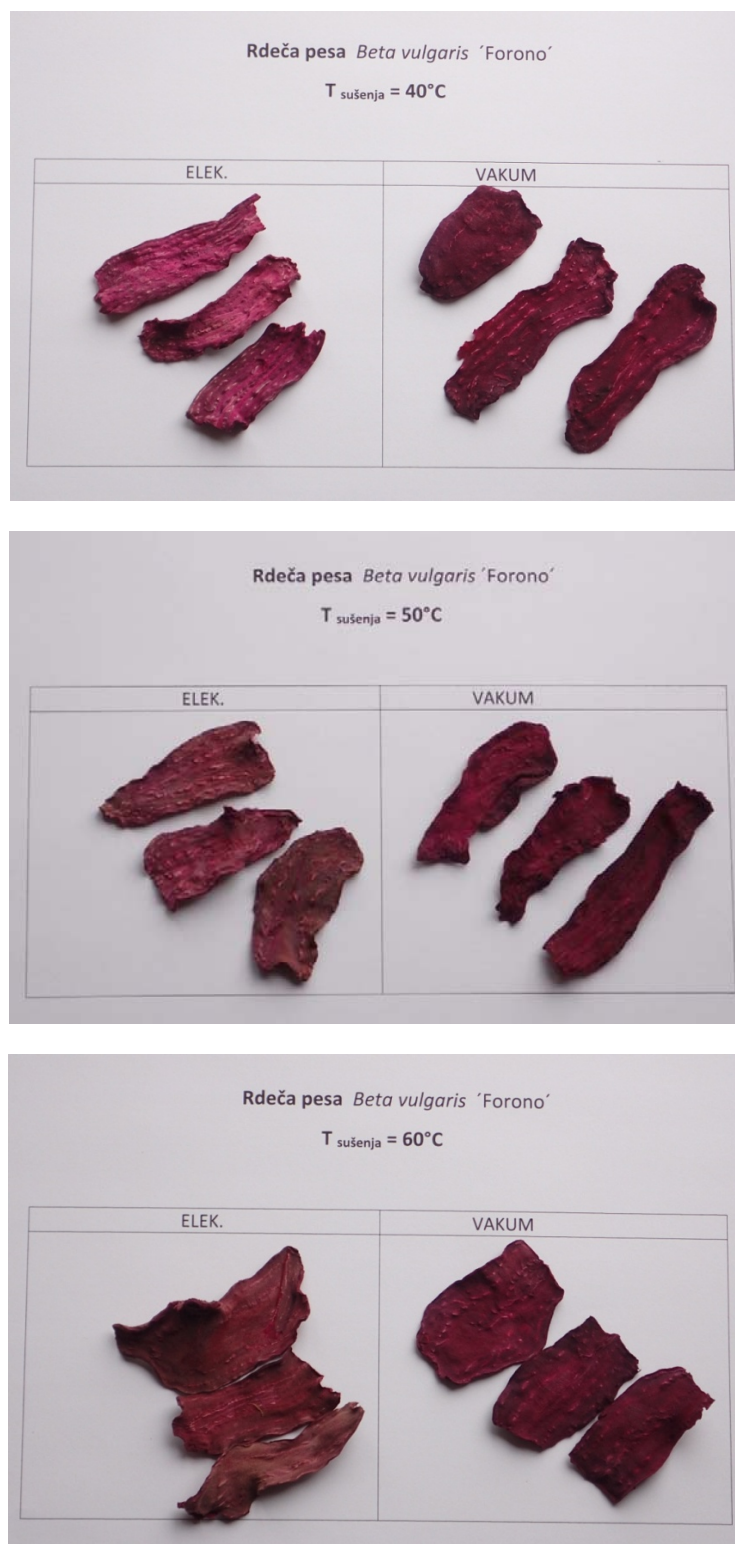
4.9.2 Senzorična analiza čipsa rdeče pese sorte 'Forono'

Iz preglednice 21 je razvidno, da način sušenja statistično značilno vpliva na barvo čipsa rdeče pese sorte 'Forono'. Ocena barve čipsa je višja pri VS pri vseh treh temperaturah sušenja (slika 16). Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na barvo čipsa.

Ocena enakomernosti površine pesinega čipsa pri KS, je statistično značilno višja pri višjih temperaturah sušenja (50, 60 °C). Način sušenja statistično značilno ne vpliva na enakomernost površine čipsa. Najvišje ocene za enakomernost površine je prejel vakuumsko sušen čips pri 60 °C.

Pri oceni vonja ni statistično značilnih razlik glede na način in temperaturo sušenja. Vakuumsko sušeni vzorci so prejeli višje ocene za vonj.

Okus čipsa je statistično značilno bolje ocenjen pri VS pri 50 in 60 °C v primerjavi s KS. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na okus čipsa, čeprav so višje ocene pri VS pri vseh T sušenja v primerjavi z ocenami okusa čipsa, izdelanega s KS.



Slika 16: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa rdeče pese 'Forono' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C)

Figure 16: Comparison of appearance (colour, uniformity of the surface) at 'Forono' beetroot chips depending on the type of drying (convection, vacuum) at different temperatures (40, 50, 60°C)

Preglednica 21: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa rdeče pese sorte 'Forono'

Table 21: Statistical analysis of chips sensory parameters at 'Forono' variety of beetroot

RDEČA PESA 'Forono'				
parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
barva	KS	2,33 ± 0,29 ^{bA}	2,83 ± 0,29 ^{bA}	2,67 ± 0,29 ^{bA}
	VS	3,67 ± 0,29 ^{aA}	3,83 ± 0,29 ^{aA}	4,00 ± 0,00 ^{aA}
enakomernost površine	KS	2,00 ± 0,00 ^{aB}	2,67 ± 0,29 ^{aA}	2,67 ± 0,29 ^{aA}
	VS	2,50 ± 0,50 ^{aA}	2,67 ± 0,58 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{aA}
vonj	KS	3,67 ± 1,04 ^{aA}	3,83 ± 0,76 ^{aA}	3,83 ± 1,15 ^{aA}
	VS	4,33 ± 0,29 ^{aA}	4,00 ± 0,50 ^{aA}	4,67 ± 0,58 ^{aA}
okus	KS	2,83 ± 0,58 ^{aA}	2,50 ± 0,50 ^{bA}	3,17 ± 0,29 ^{bA}
	VS	4,17 ± 0,76 ^{aA}	4,83 ± 0,29 ^{aA}	4,33 ± 0,29 ^{aA}
značilnost arome	KS	2,67 ± 0,29 ^{bA}	2,67 ± 0,29 ^{bA}	3,00 ± 0,00 ^{bA}
	VS	4,17 ± 0,76 ^{aA}	5,00 ± 0,00 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aA}
obstojnost arome	KS	2,00 ± 0,00 ^{bA}	2,17 ± 0,29 ^{bA}	2,33 ± 0,58 ^{aA}
	VS	3,00 ± 0,00 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{aA}	2,83 ± 0,29 ^{aA}
tekstura	KS	2,50 ± 0,00 ^{bB}	2,83 ± 0,29 ^{bAB}	3,17 ± 0,29 ^{bA}
	VS	4,17 ± 0,29 ^{aB}	5,00 ± 0,00 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aAB}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, AB, B) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja).

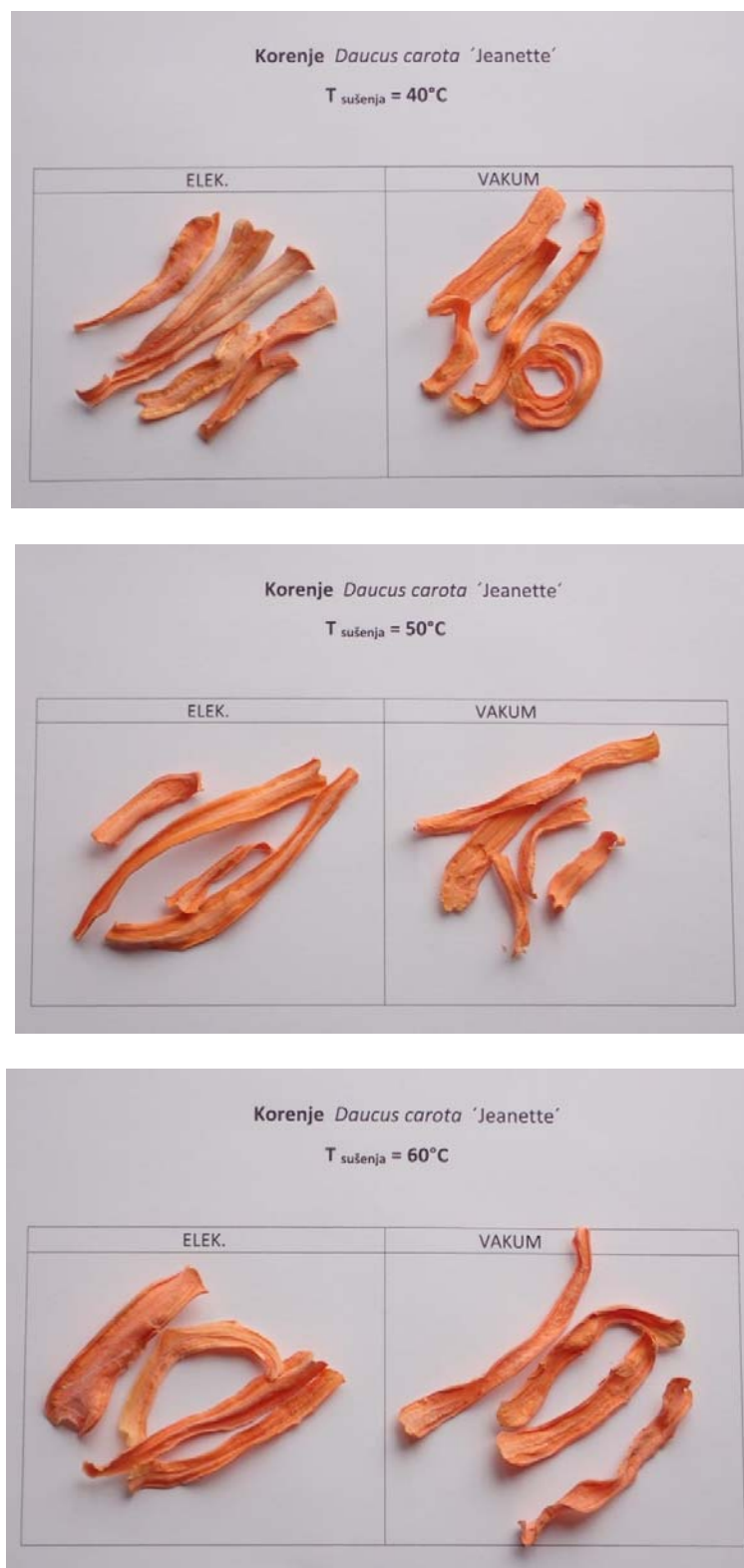
Način sušenja statistično značilno vpliva na značilnost arome čipsa rdeče pese sorte 'Forono'. Ocena za značilnost arome čipsa je višja pri VS pri vseh treh temperaturah sušenja. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na aromo čipsa.

Statistično značilno najvišjo oceno za obstojnost arome so dobili vzorci čipsa, izdelani z VS pri temperaturah 40 in 50 °C v primerjavi s KS. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na obstojnost arome.

Med ocenami teksture čipsa rdeče pese 'Forono' so razlike glede na način sušenja pri vseh T sušenja, ocena teksture čipsa je statistično značilno višja pri čipsu, izdelanem z VS. Temperatura sušenja značilno vpliva na teksturo čipsa pri nekaterih vzorcih čipsa, kjer so ocene značilno višje pri vzorcih čipsa, izdelanih s KS pri temperaturi sušenja 60 °C ter značilno najvišje pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 50 °C.

4.9.3 Senzorična analiza čipsa korenja sorte 'Jeannete'

Iz preglednice 22 je razvidno, da je ocena barve čipsa korenja statistično značilno višja pri čipsu korenja 'Jeannete', sušenem pri 40 °C v vakuumskem sušilniku (slika 17). Pri ostalih vzorcih čipsa način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na barvo čipsa.



Slika 17: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa korenja 'Jeannete' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C)

Figure 17: Comparison of appearance (color, uniformity of the surface) at 'Jeannete' carrot chips depending on the type of drying (convection, vacuum) at different temperatures (40, 50, 60°C)

Preglednica 22: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa korenja sorte 'Jeannete'

Table 22: Statistical analysis of sensory parameters at 'Jeannete' variety of carrot chips

KORENJE 'Jeannete'				
parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
barva	KS	2,83 ± 0,29 ^{bA}	2,17 ± 0,76 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{aA}
	VS	4,00 ± 0,00 ^{aA}	3,33 ± 0,58 ^{aA}	3,33 ± 0,58 ^{aA}
enakomernost površine	KS	2,50 ± 0,50 ^{aA}	2,17 ± 0,29 ^{aA}	2,67 ± 0,58 ^{aA}
	VS	2,83 ± 0,29 ^{aA}	2,33 ± 0,58 ^{aA}	2,67 ± 0,29 ^{aA}
vonj	KS	2,66 ± 0,58 ^{bA}	3,00 ± 0,87 ^{aA}	3,50 ± 0,50 ^{aA}
	VS	4,33 ± 0,58 ^{aA}	4,33 ± 0,58 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aA}
okus	KS	2,50 ± 0,50 ^{bA}	3,00 ± 0,50 ^{bA}	3,33 ± 0,29 ^{bA}
	VS	4,33 ± 0,76 ^{aA}	4,33 ± 0,29 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aA}
značilnost arome	KS	2,85 ± 0,29 ^{bA}	3,17 ± 0,29 ^{bA}	3,00 ± 0,00 ^{bA}
	VS	4,67 ± 0,58 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aA}	4,83 ± 0,89 ^{aA}
obstojnost arome	KS	1,83 ± 0,29 ^{bB}	2,00 ± 0,00 ^{bAB}	2,67 ± 0,58 ^{aA}
	VS	2,83 ± 0,29 ^{aA}	2,83 ± 0,29 ^{aA}	2,83 ± 0,29 ^{aA}
tekstura	KS	3,33 ± 0,29 ^{aA}	3,83 ± 0,29 ^{aA}	3,83 ± 0,76 ^{aA}
	VS	4,50 ± 0,87 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aA}	4,83 ± 0,29 ^{aA}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, AB, B) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja).

Med ocenami enakomernosti površine vzorcev čipsa korenja ni statistično značilnih razlik. Najvišjo oceno za enakomernost površine je prejel čips pri VS pri 40 °C.

Med ocenami vonja čipsa ni statistično značilnih razlik glede na način in temperaturo sušenja, razen pri sušenju pri 40 °C, kjer je ocena za vonj čipsa statistično značilno višja pri VS. Najvišjo oceno za vonj je dobil čips korenja 'Jeannete', izdelan z VS pri temperaturi sušenja 60 °C.

Okus čipsa korenja 'Jeannete' se razlikuje glede na način sušenja pri vseh treh T sušenja, ocena okusa čipsa je statistično značilno višja pri čipsu, izdelanem z VS. Temperatura sušenja pa statistično značilno ne vpliva na okus čipsa, čeprav so višje ocene za okus pri čipsu, sušenem pri višjih T.

Značilnost arome čipsov korenja 'Jeannete' se razlikuje glede na način sušenja pri vseh treh T sušenja, kjer je ocena za značilnost arome čipsa statistično značilno višja pri čipsu, izdelanem z VS. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na značilnost arome čipsa, čeprav so najvišje ocene za značilnost okusa pri čipsu, sušenem pri 60 °C.

Način sušenja statistično značilno vpliva na obstojnost arome čipsa, ocene so višje pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturah sušenja 40 in 50 °C. Temperatura sušenja značilno vpliva na obstojnost arome pri konvekcijsko sušenih vzorcih, kjer so ocene značilno najvišje pri vzorcih čipsa, sušenih pri 60 °C. Iz preglednice 22 je razvidno, da so najvišjo

oceno za obstojnost arome prejeli vzorci čipsa korenja, sušeni v vakuumskem sušilniku pri vseh treh temperaturah.

Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na teksturo čipsa. Višje ocene za teksturo so pri vakuumsko sušenih vzorcih čipsa, kjer je ocena za teksturo najvišja pri vzorcih, sušenih pri 60 °C.

4.9.4 Senzorična analiza čipsa korenja sorte 'Rolanka'

Ocena barve čipsa korenja 'Rolanka' je statistično značilno višja pri VS pri temperaturi sušenja 50 °C (preglednica 23). Za ostale vzorce velja, da način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na barvo čipsa (slika 18).

Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na enakomernost površine vzorcev čipsa. Višje ocene enakomernosti površine čipsa so pri vakuumsko sušenih vzorcih pri vseh temperaturah sušenja.

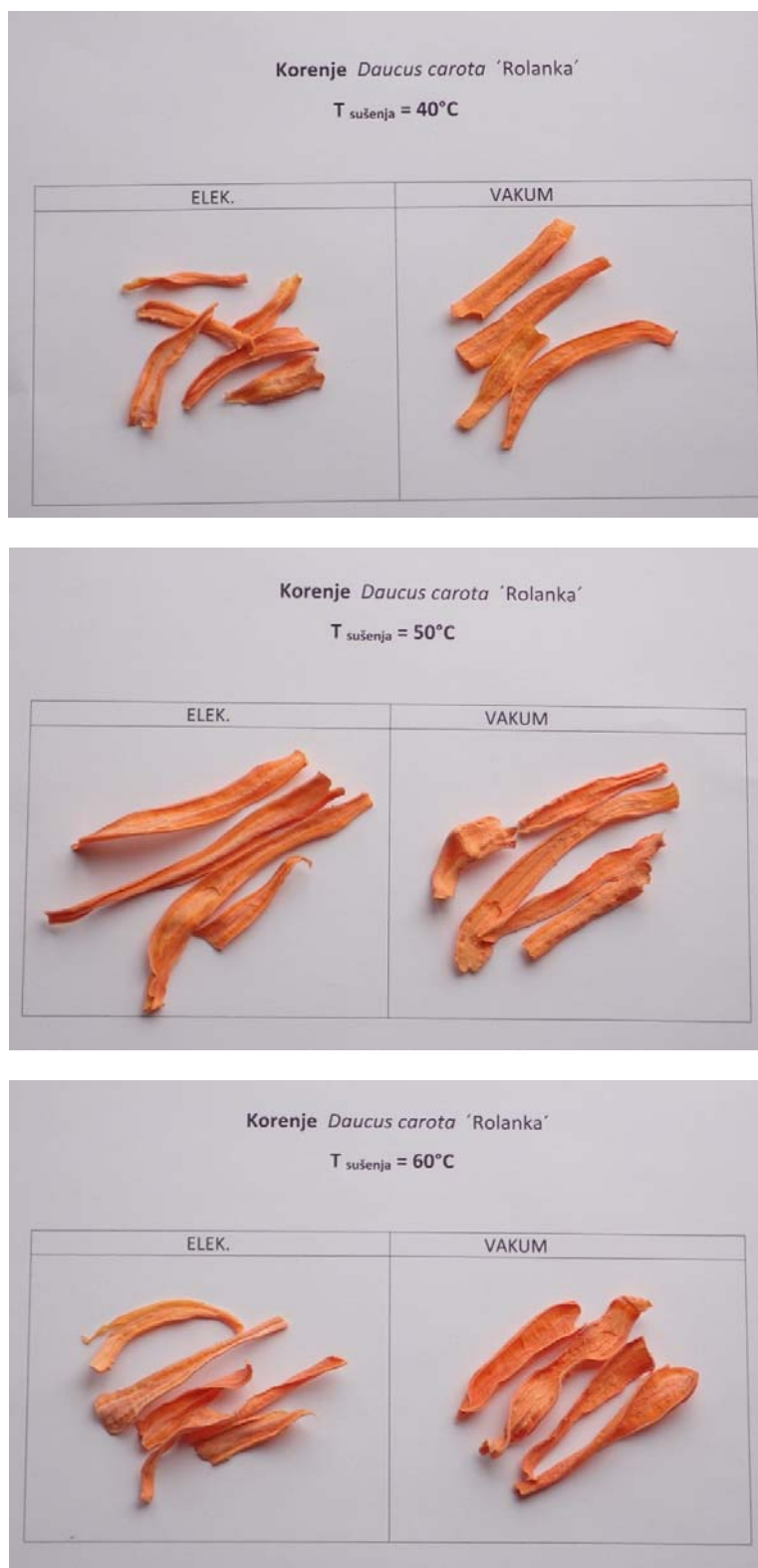
Vonj čipsa korenja se razlikuje glede na način sušenja pri temperaturah sušenja 40 in 50 °C, kjer je ocena vonja čipsa statistično značilno višja pri čipsu, izdelanem z VS. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na vonj čipsa, čeprav so pri obeh načinih sušenja višje ocene za vonj pri čipsu, sušenem pri 60 °C.

Preglednica 23: Statistična analiza senzoričnih parametrov čipsa korenja sorte 'Rolanka'

Table 23: Statistical analysis of sensory parameters at 'Rolanka' variety of carrot chips

KORENJE 'Rolanka'				
parameter	sušenje	40 °C	50 °C	60 °C
barva	KS	3,17 ± 0,58 ^{aA}	3,33 ± 0,29 ^{bA}	3,33 ± 0,29 ^{aA}
	VS	4,00 ± 0,00 ^{aA}	4,00 ± 0,00 ^{aA}	3,67 ± 0,29 ^{aA}
enakomernost površine	KS	2,17 ± 0,58 ^{aA}	2,67 ± 0,58 ^{aA}	2,33 ± 0,29 ^{aA}
	VS	3,00 ± 0,00 ^{aA}	2,83 ± 0,29 ^{aA}	2,83 ± 0,29 ^{aA}
vonj	KS	3,67 ± 0,29 ^{bA}	3,17 ± 0,29 ^{bA}	3,83 ± 0,58 ^{aA}
	VS	4,67 ± 0,29 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aA}	4,67 ± 0,29 ^{aA}
okus	KS	3,67 ± 0,58 ^{aA}	2,70 ± 0,58 ^{aB}	3,83 ± 0,29 ^{bA}
	VS	4,67 ± 0,29 ^{aA}	4,00 ± 0,87 ^{aA}	4,67 ± 0,29 ^{aA}
značilnost arome	KS	3,50 ± 0,50 ^{bA}	2,83 ± 0,29 ^{bA}	4,00 ± 1,00 ^{aA}
	VS	4,50 ± 0,00 ^{aA}	4,33 ± 0,76 ^{aA}	4,67 ± 0,58 ^{aA}
obstojnost arome	KS	2,33 ± 0,76 ^{aA}	2,33 ± 0,58 ^{aA}	2,50 ± 0,50 ^{aA}
	VS	3,00 ± 0,00 ^{aA}	2,83 ± 0,29 ^{aA}	3,00 ± 0,00 ^{aA}
tekstura	KS	3,17 ± 0,58 ^{aA}	3,33 ± 0,29 ^{bA}	3,67 ± 0,58 ^{aA}
	VS	4,33 ± 0,76 ^{aA}	4,50 ± 0,50 ^{aA}	4,50 ± 0,00 ^{aA}

Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (a, b) v stolpcih se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike v načinu sušenja – konvekcijsko (KS) ali vakuumsko (VS)). Srednje vrednosti označene z različnimi nadpisanimi črkami (A, AB, B) v vrsticah se statistično značilno razlikujejo po posameznem senzoričnem parametru ($P < 0,05$; razlike med temperaturami sušenja).



Slika 18: Primerjava videza (barve, enakomernosti površine) čipsa korenja 'Rolanka' glede na način sušenja (konvekcijsko, vakuumsko) pri različnih temperaturah (40, 50, 60 °C)

Figure 18: Comparison of appearance (color, uniformity of the surface) at Jeanette carrot chips depending on the type of drying (convection, vacuum) at different temperatures (40, 50, 60°C)

Preglednica 24: Skupne ocene senzorične analize ocenjevanih čipsov rdeče pese in korenja

Table 24: Final grades of sensory analysis at beetroot and carrot chips samples

Vrsta zelenjave čipsa/ sorta zelenjave čipsa/ način sušenja/ temperatura sušenja (°C)	Skupna ocena senzorične analize čipsa (točke/ kakovostni razred)
rdeča pesa/ 'Detroit'/ VS/ 60	28,5 odlična kakovost
rdeča pesa/ 'Forono'/ VS/ 50	28 odlična kakovost
rdeča pesa/ 'Detroit'/ VS/ 40 rdeča pesa/ 'Forono'/ VS/ 60	27 odlična kakovost
rdeča pesa/ 'Detroit'/ VS/ 50 rdeča pesa/ 'Forono'/ VS/ 40	26 odlična kakovost
rdeča pesa/ 'Detroit'/ KS/ 40	24,5 dobra kakovost
rdeča pesa/ 'Detroit'/ KS/ 60	23 dobra kakovost
rdeča pesa/ 'Forono'/ KS/ 60	20,5 dobra kakovost
rdeča pesa/ 'Detroit'/ KS/ 50 rdeča pesa/ 'Forono'/ KS/ 50	19,5 zadovoljiva kakovost
rdeča pesa/ 'Forono'/ KS/ 40	17,5 zadovoljiva kakovost
korenje / 'Jeannete'/ VS/ 40	28,5 odlična kakovost
korenje / 'Jeannete'/ VS/ 60 korenje / 'Rolanka'/ VS/ 40	28 odlična kakovost
korenje / 'Rolanka'/ VS/ 60	27,5 odlična kakovost
korenje / 'Rolanka'/ VS/ 50	26 odlična kakovost
korenje / 'Jeannete'/ VS/ 50	25,5 dobra kakovost
korenje / 'Rolanka'/ KS/ 60	24,5 dobra kakovost
korenje / 'Rolanka'/ KS/ 40	23 dobra kakovost
korenje / 'Jeannete'/ KS/ 60	22 dobra kakovost
korenje / 'Jeannete'/ KS/ 50 korenje / 'Rolanka'/ KS/ 50	19,5 zadovoljiva kakovost
korenje / 'Jeannete'/ KS/ 40	19 zadovoljiva kakovost

Med ocenami okusa čipsa so razlike glede na način sušenja pri temperaturi sušenja 60 °C, kjer je ocena statistično značilno višja pri čipsu, izdelanem z VS. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na okus čipsa. Ocene okusa čipsa, izdelanega s KS, so značilno višje pri čipsu, sušenem pri 40 in 60 °C.

Način sušenja statistično značilno vpliva na značilnost arome čipsa, kjer so ocene pri temperaturah sušenja 40 in 50 °C značilno višje pri VS. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na oceno za značilnost arome čipsa.

Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na obstojnost arome čipsa, čeprav so ocene za obstojnost arome višje pri VS pri vseh treh temperaturah sušenja.

Ocena teksture čipsa sušenega pri 50 °C je statistično značilno višja pri VS. Za ostale vzorce velja, da način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na teksturo čipsa korenja.

Iz preglednice 24 so razvidne skupne ocene senzorične analize ocenjevanih čipsov rdeče pese in korenja, kjer so v veliki večini oceno za odlično kakovost dobili čipsi izdelani z VS. Glede na sorto rdeče pese in korenja imata najvišjo oceno: čips rdeče pese 'Detroit' (28,5 točk od skupno 30 točk), izdelan z VS pri temperaturi sušenja 60 °C in čips korenja 'Jeannete' (28,5 točk od skupno 30 točk), izdelan z VS pri temperaturi sušenja 40 °C. Najnižjo senzorično oceno med vzorci čipsa in s tem oceno zadovoljive kakovosti, pa imata: čips rdeče pese 'Forono' (17,5 točk od 30 točk), izdelan s KS pri temperaturi sušenja 40 °C in čips korenja 'Jeannete' (19 točk od 30 točk), prav tako izdelan s KS pri temperaturi sušenja 40 °C.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1. RAZPRAVA

Sodobni tehnološki postopki dehidracije živil kot je vakuumsko in konvekcijsko sušenje nam omogočajo proizvodnjo izdelkov z boljšo prehransko, mikrobiološko in senzorično kakovostjo.

Zelenjavni čips je na tržišču zanimiv, naraven, zdrav prehranski izdelek in trend v današnji živilski industriji. Glavni cilj našega raziskovanja je bil izdelati čips rdeče pese in korenja, sušen s konvekcijskim in vakuumskim načinom pri različnih temperaturah sušenja ter v laboratoriju analizirati in tako primerjati nekatere prehransko pomembne parametre, ki določajo antioksidativno, prehransko in senzorično vrednost tega živila. Vzorcem čipsa smo določili izgubo vode med sušenjem, antioksidativni potencial, maščobnokislinsko sestavo, vsebnost askorbinske kisline in karotenoidov (luteina, α -karotena, β -karotena), spremembo barve, trdoto čipsa ter čips rdeče pese in korenja tudi senzorično ovrednotili.

V raziskavo smo vključili osemnajst različnih vzorcev čipsa treh sort ekološko pridelane rdeče pese 'Detroit', 'Tondo di Chioggia' in 'Forono' ter dvanajst različnih vzorcev čipsa korenja dveh sort ekološke pridelave 'Jeannete' in 'Rolanka'. Rembialkowska (2004) navaja, da imajo pridelki ekološke pridelave, v primerjavi s konvencionalno pridelanimi, večje vsebnosti β -karotena in vitamina C. Prav tako je ugotovljeno, da ima ekološko pridelana zelenjava boljšo skladiščno sposobnost, z manj gnitja in razkroja na račun večje vsebnosti suhe snovi in sekundarnih metabolitov (Huber in sod., 2011).

V raziskavi smo želeli ugotoviti optimalne pogoje vakuumskega sušenja rdeče pese in korenja v primerjavi s sušenjem v konvekcijskem sušilniku. Dokazati smo želeli, da način sušenja in temperatura sušenja različno vplivata na prehranske in senzorične lastnosti čipsa. S statistično obdelavo podatkov smo primerjali vzorce čipsa glede na razlike v raziskanih kemijsko-instrumentalnih, instrumentalnih in senzoričnih parametrih med vzorci čipsa rdeče pese in korenja konvekcijskega in vakuumskega sušenja ter razlike v parametrih pri različnih temperaturah sušenja ter raziskali povezave med posameznimi parametri.

5.1.1 Priprava čipsa rdeče pese in korenja in izguba vode med sušenjem

Ugotovili smo, da je pri pesi izguba vode manjša pri VS in obratno, pri korenju je izguba vode pri VS večja, kar je odvisno od lastnosti osnovne surovine in od časa sušenja. Pri KS omogočimo z mrežnimi pladnji z obeh strani prosto površino živila in učinkovitejše sušenje (Ignatowitz, 1996; Krokida in Maroulis, 2001). Brennan (2003) navaja, da je v začetku sušenja pri večji vsebnosti vode v živilu potrebna večja količina zraka za

odnašanje izhlapele vode. Pri višjih T sušenja odpari več vode v krajšem času. Način sušenja in različne temperature sušenja statistično značilno vplivajo na izgubo vode pri vseh treh sortah pese. Pri vseh sortah rdeče pese je izguba vode statistično značilno večja pri KS v primerjavi z VS in sicer največja pri temperaturi sušenja $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri pesi sorte 'Forono' je največja izguba vode pri vzorcih, sušenih pri $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ v konvekcijskem sušilniku v primerjavi z ostalimi temperaturami. Pri VS pa je značilno največja izguba vode pri temperaturi sušenja $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar je posledica lastnosti vakuumskega sušenja in časov sušenja, ki so bili daljši pri nižjih temperaturah. Krokida in sod. (1997) navajajo, da z vakuumskim sušenjem lahko odstranimo vodo iz živila pri nižjih temperaturah. Če izberemo stalno temperaturo in znižujemo tlak, je vrenje vedno bolj intenzivno. Pri vakuumskem sušenju torej dosežemo z nižjim tlakom nižjo temperaturo vrelišča (Zakipur in Hamidi, 2011).

Način sušenja in različne temperature sušenja statistično značilno vplivajo na izgubo vode pri sorti korenja 'Jeannete', kjer je izguba vode pri VS večja v primerjavi s KS pri vseh treh temperaturah. Enako je pri korenju sorte 'Rolanka', kjer je izguba vode največja pri VS pri $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ in najmanjša pri temperaturi sušenja pri $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Če primerjamo konvekcijsko in vakuumsko sušenje pri enaki T , bo količina odstranjene vode iz živila v istem času večja pri uporabi vakuumskega sušenja (Brennan, 2003; Krokida in sod., 1997).

5.1.2 Vpliv načina in temperature sušenja na antioksidativni potencial čipsa rdeče pese in korenja

Višji AOP ima čips sušen pri $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ in čips sušen po vakuumskem postopku, zaradi zmanjšane oksidacije na račun sušenja brez kisika. Najnižji AOP pri VS je pri temperaturi sušenja $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Udomkun in sod. (2015) so raziskovali AOP pri papaji sušeni v konvekcijskem sušilniku pri temperaturah sušenja $50, 60, 70$ in $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poročajo, da so pri višjih temperaturah konvekcijskega sušenja nižje vrednosti AOP. Hribar in Simčič (2000) navajata, da med tehnološkim postopkom lahko pride do zmanjšanja AOP živila zaradi razpada naravno prisotnih antioksidantov ali zaradi nastanka komponent z oksidativnimi lastnostmi glede na različne reakcijske pogoje kot so T , a_w , pH, dostopnost kisika in čas trajanja reakcije. Tarhan in sod. (2010) poročajo, da sušena poprova meta vsebuje antioksidante kot so menton, mentol, mentofuran, cienol in druge kemijske spojine. Poročajo, da se je vsebnost mentona pri sušenju listov poprove mete v rotacijskem sušilnem bobnu z vročim zrakom zmanjšala s $24,85\%$ vseh eteričnih olj svežega vzorca na $9,07\%$ vseh eteričnih olj suhega vzorca. Razlike v ponovitvah določanja vsebnosti mentona ($9,07\text{--}18,49\%$) so bile relativno velike. Te spremembe so lahko posledica nenadzorovanih morfoloških in fizioloških sprememb svežega materiala med sušenjem in skladiščenjem, kar je lahko glavna ovira za pridobitev ponovljivih rezultatov in izdelkov s stalno kakovostjo.

Način sušenja pese 'Detroit' pri 40 in 50 °C statistično značilno vpliva na vsebnost AOP. AOP je višji pri VS, zaradi zmanjšane oksidacije. Tudi T sušenja rdeče pese sorte 'Detroit' statistično značilno vpliva na AOP pri VS, ki je najvišji pri 40 °C in najnižji pri 60 °C. Enako je pri KS, kjer T sušenja statistično značilno vpliva na AOP, ki pa je najnižji pri 40 °C in najvišji pri 50 °C. Način sušenja pese 'Tondo di Chioggia' statistično značilno vpliva na vsebnost AOP. AOP je višji pri VS pri temperaturi 60 °C, zaradi zmanjšane oksidacije in krajšega časa sušenja. Abramovičeva (2011) poroča, da naj bi imeli določeni produkti Maillardove reakcije, nastali pri T nad 80 °C, npr. melanoidini, celo močan antioksidativen učinek. Z oddajo vodikovega atoma radikalom prekinjajo radikalno verižno reakcijo, lovijo kisik, vežejo kovinske ione in razgrajujejo hidroperokside v neradikalne produkte (Abramovič, 2011). Pri čipsu, izdelanem s KS je videti (ni statistično značilno) nižje vrednosti AOP z višjo temperaturo sušenja. Pri vakuumskem sušenju pese 'Tondo di Chioggia' temperatura sušenja značilno ne vpliva na AOP. Čips rdeče pese 'Forono' ima statistično značilno višje vrednosti AOP pri čipsu izdelanem z VS v primerjavi s KS pri temperaturah sušenja 50 in 60 °C. Pri KS z naraščanjem temperature sušenja vrednost AOP pada. Slavov in sod. (2013) so raziskovali AOP pesinega soka, tretiranega pri različnih pogojih in načinih segrevanja. Ugotovili so, da je bil najvišji AOP pesinega soka pri segrevanju z MV. Vendar so večja moč MV- sevanja, daljši čas sušenja in višja T (nad 60 °C) privedli do uničenja betalainov in do zmanjšanja AOP.

Način sušenja in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na AOP čipsa korenja sorte 'Jeannete'. Videti je višje vrednosti AOP pri vakuumsko sušenem čipsu korenja pri 50 °C, zaradi zmanjšane oksidacije antioksidantov. Pri čipsu korenja 'Rolanka' je AOP statistično značilno višji pri VS v primerjavi s KS pri nižjih temperaturah (40 °C). Pri konvekcijskem sušenju korenja 'Rolanka' pa je značilno najvišji AOP pri čipsu, sušenem pri 50 °C v primerjavi z ostalimi temperaturami sušenja. Krokida in sod. (1997) poročajo, da so nižja temperatura, krajši čas sušenja in sušenje s podtlakom pomembni za čim večjo ohranitev toplotno občutljivih antioksidantov. Brennan (2003) navaja, da ima način in T sušenja velik vpliv na ohranjanje antioksidantov. Vitamin C se bolje ohrani pri časovno krajšemu sušenju napram daljšemu sušenju. Obstaja tudi povezava med višjo T sušenja in povečano razgradnjo vitamina C. Izgube v maščobah topnih vitaminov pa so pri sušenju živila pogosto zanemarljive (Brennan, 1993).

5.1.3 Vpliv načina in temperature sušenja na maščobnokislinsko sestavo čipsa rdeče pese in korenja

Analiza vseh vzorcev čipsa kaže, da način in temperatura sušenja statistično značilno vplivata na vsebnosti in deleže posameznih MK. Pri vakuumsko sušenih vzorcih čipsa smo ugotovili večje vsebnosti stearinske MK. Glede deležev posamezne MK (g MK/100 g skupnih maščob) pa smo ugotovili, da način sušenja statistično značilno vpliva le na delež palmitinske MK, ki je večji pri konvekcijsko sušenem čipsu, zaradi večje oksidacije

nenasičenih maščob pri KS. Delež linolenske MK je večji pri VS, zaradi manjše oksidacije nenasičenih MK vakuumskega sušenja. Delež nenasičenih MK je večji pri VS, vendar ni statistično značilnih razlik glede načina in temperature sušenja. Brennan (2003) navaja, da nenasičene MK veliko bolj verjetno sodelujejo v kemijskih reakcijah med procesom sušenja. Zaradi oksidacije se med sušenjem deleži večkrat nenasičenih MK zmanjšajo. Oksidacija večkrat nenasičenih MK predstavlja problem pri sušenju živil (Brennan, 2003).

Pri čipsu rdeče pese 'Detroit' način sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti oleinske in arahidinske MK, ki so večje pri čipsu izdelanem s KS pri T sušenja 40 °C. Pri sušenju je večja vsebnost nenasičenih MK pri nižjih temperaturah sušenja (Brennan, 1993). Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti palmitinske, oleinske, linolne in linolenske MK, ki so statistično značilno večje pri VS pri 50 °C. Pri KS je značilno večja vsebnost oleinske MK pri T sušenja 40 °C. Vsebnost oleinske MK se zmanjšuje z višjo temperaturo sušenja. Način sušenja ima statistično značilen vpliv na deleže oleinske, linolenske in arahidinske MK, ki so pri 40 °C večji pri KS in na delež stearinske MK pri 40 °C, ki je večji pri VS. Pri stearinski, oleinski in linolenski MK so deleži značilno večji pri VS pri 60 °C in delež palmitinske MK značilno večji pri KS pri 60 °C. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK, kjer so pri KS značilno večji deleži oleinske, linolenske in arahidinske MK pri 40 °C ter značilno večji deleži palmitinske in stearinske MK pri 60 °C temperature sušenja. Pri VS pa so značilno večji deleži palmitinske in stearinske MK pri čipsu sušenem pri 40 °C in deleži linolne in linolenske MK večji pri čipsu sušenem pri 50 °C. Pokorny (2007) navaja, da so esencialne MK najmanj odporne, ne samo da med avtooksidacijo izgubijo svoje fiziološke lastnosti, lahko se spremenijo v zdravju škodljive snovi.

Pri čipsu rdeče pese 'Tondo di Chioggia' način sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti palmitinske, stearinske, oleinske, linolne in linolenske MK, ki so pri T sušenja 40 °C večje pri čipsu izdelanem s KS. Pri arahidinski in oleinski MK so vsebnosti v čipsu sušenem pri 60 °C značilno večje pri VS. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti MK, ki so pri KS značilno večje pri sušenju pri 40 °C. Vsebnost oleinske MK vakuumsko sušenega čipsa pa je značilno največja pri 60 °C. Način sušenja statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK v čipsu pese 'Tondo di Chioggia', kjer je delež palmitinske MK večji pri KS pri vseh treh temperaturah sušenja, deleži linolne in linolenske MK so značilno večji pri KS pri 60 °C, deleži stearinske in oleinske MK so značilno večji pri VS pri 60 °C, medtem ko je delež linolne MK tudi značilno večji pri VS, vendar pri temperaturi sušenja 40 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na delež palmitinske MK pri KS, ki je večji pri 40 °C, delež linolne MK pri 50 °C in stearinske MK pri 60 °C. Pri VS pa so značilno večji deleži linolne MK v čipsu, sušenem pri 50 °C in stearinske MK pri čipsu sušenem pri 60 °C. Brennan (2003) poroča, da vsebnosti nenasičenih MK padajo z višjo temperaturo sušenja, zaradi oksidacije na račun sušenja z zrakom in višjih temperatur. V našem primeru pa smo dokazali tudi obratno, da

vsebnosti določenih MK (linolenske) statistično značilno pri VS naraščajo z višjo temperaturo sušenja, zaradi krajšega časa sušenja. Pokorny (2007) navaja, da se avtooksidacija lipidov sproži s prisotnostjo prostih radikalov. V začetni fazi sušenja je koncentracija prostih radikalov zelo nizka in oksidacija počasna. Postopoma se koncentracija hidroperoksidov in ostalih oksidacijskih produktov povečuje in posledično eksponentialno raste stopnja oksidacije. Brennan (2003) razlaga, da je pri VS zaradi manjše oksidacije na račun nižjih temperatur in razmer sušenja brez kisika, delež nenasičenih MK večji.

Pri čipsu rdeče pese 'Forono' način sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti stearinske in oleinske MK, ki so večje pri KS pri T sušenja 50 °C. Temperatura sušenja pa statistično značilno vpliva samo na vsebnost oleinske MK, ki je večja pri VS pri 60 °C. Pokorny (2007) navaja, da ko pri sušenju nastopi oksidacija maščob, se relativne vsebnosti nasičenih MK povečajo, deleži večkrat nenasičenih MK pa zmanjšajo. Način sušenja čipsa rdeče pese 'Forono' ima statistično značilen vpliv na delež oleinske MK, ki je značilno večji pri čipsu izdelanem s KS pri T sušenja 50 °C in delež linolenske MK, ki je večji pri čipsu izdelanem s KS pri T sušenja 40 °C. Delež linolne MK je značilno večji pri VS pri 40 °C in delež linolenske MK večji pri VS pri 60 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na delež palmitinske MK čipsa izdelanega z VS, ki je značilno večji pri 40 °C ter na deleže oleinske in linolenske MK čipsa izdelanega z VS, ki so večji pri 60 °C temperature sušenja.

Temperatura in način sušenja statistično značilno vplivata na vsebnosti MK v čipsu korenja 'Jeannete', kjer so vsebnosti palmitinske, linolne in linolenske MK v čipsu, sušenem pri 40 °C, večje pri KS in vsebnosti stearinske MK v čipsu, sušenem pri 60 °C, večje pri KS. Pri VS v primerjavi s KS so statistično značilno večje vsebnosti stearinske in linolne MK v čipsu sušenem pri 50 °C ter palmitinske in linolenske MK pri T sušenja 60 °C. Deleži oleinske, linolne in linolenske MK v čipsu korenja 'Jeannete' so značilno večji pri čipsu izdelanem s KS pri T sušenja 40 °C, deleži palmitinske in linolenske MK so večji pri čipsu pri 50 °C ter delež stearinske MK večji pri čipsu sušenem pri 60 °C konvekcijskega sušenja. Delež palmitinske MK je statistično značilno večji pri čipsu izdelanem z VS v primerjavi s KS pri T sušenja 60 °C, deleži stearinske MK so značilno večji pri čipsu, izdelanem z VS pri T sušenja 40 in 50 °C ter deleži palmitinske in linolenske MK so značilno večji pri čipsu, izdelanem z VS pri T sušenja 60 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na delež palmitinske MK v vakuumsko sušenem čipsu, kjer je delež večji pri 40 °C in na deleža palmitinske in linolenske MK pri čipsu izdelanem s KS, ki sta večja pri T sušenja 40 °C. Pri čipsu, sušenem pri 50 °C, je značilno večji delež stearinske MK pri VS, pri čipsu, sušenem pri 60 °C, so značilno večji deleži stearinske in linolne MK pri KS ter večji deleži linolne in linolenske MK pri VS. Brennan (2003) navaja, da se na začetku sušenja, z zmanjševanjem aktivnosti vode v živilu, zmanjšuje tudi število kemijskih reakcij npr. oksidacija prostih MK, ko aktivnost vode pade med 0,4 in

0,2. Preden a_w pade nižje od 0,4 pa zopet eksponentno raste lipidna oksidacija (Brennan, 1993). Na oksidacijo maščob v živilu vpliva način in trajanje shranjevanja. Pokorny (2007) poroča, da se pojav žarkosti pri maščobah lahko zmanjša s shranjevanjem živil pri nižji temperaturi v temi in z zmanjšano razpoložljivo količino kisika. Prisotnost kisika je bistvena za pojav žarkosti, kjer nastane hidroperoksid, ki se pri določenih pogojih cepi in povzroči nastanek prostih radikalov, ki hitro oksidirajo nenasičene MK (Pokorny, 2007). Pokorny (2007) tudi poroča, da so esencialne MK najmanj odporne na pogoje sušenja z vročim zrakom.

Temperatura in način sušenja statistično značilno vplivata na vsebnosti MK v čipsu korenja 'Rolanka', kjer so vsebnosti oleinske in linolne MK pri čipsu, proizvedenem pri T sušenja 40 °C, večje pri VS. Vsebnosti palmitinske, stearinske, linolne in linolenske MK so večje pri VS, pri čipsu, sušenem pri 60 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti palmitinske in linolenske MK v čipsu, ki so večje pri VS pri 50 °C in vsebnosti stearinske MK, ki so večje pri VS pri 60 °C temperature sušenja. Način sušenja ima statistično značilen vpliv na deleže MK v čipsu korenja 'Rolanka', kjer so deleži stearinske, oleinske in linolenske MK značilno večji pri 40 °C pri KS, delež palmitinske MK je večji pri 50 °C pri KS ter deleži palmitinske in linolenske MK so večji pri 60 °C pri KS. Vzrok je večja oksidacija nenasičenih MK na račun izpostavljenosti kisiku, višjim temperaturam in daljšemu času sušenja pri KS, kar podobno navaja tudi Brennan (2003). Delež linolne MK je statistično značilno večji pri vakuumsko sušenem čipsu, sušenem pri 40 °C, deleži stearinske in oleinske MK so značilno večji pri vakuumsko sušenem čipsu pri 50 °C ter deleži stearinske in linolne MK značilno večji pri vakuumsko sušenem čipsu pri 60 °C. Temperatura sušenja tudi statistično značilno vpliva na deleže posameznih MK. Pri čipsu, sušenem pri 40 °C, so značilno večji deleži stearinske MK pri KS ter večji deleži palmitinske in linolenske MK pri VS. V čipsu, sušenem pri 50 °C, je značilno večji delež palmitinske MK pri VS in delež linolne MK pri KS. Pri čipsu, sušenem pri 60 °C, sta značilno večja deleža palmitinske in oleinske MK pri KS ter večji delež stearinske MK pri VS. Brennan (2003) poroča, da visoka temperatura vpliva na razpad nenasičenih MK pri sušenju in, da se posledično zaradi oksidacije med toplotnim sušenjem relativne vsebnosti nasičenih in enkrat nenasičenih MK povečajo.

5.1.4 Vpliv načina in temperature sušenja na vsebnost askorbinske kisline v čipsu rdeče pese in korenja

Z raziskavami je dokazano, da imajo pridelki ekološke pridelave, v primerjavi s konvencionalno pridelanimi, boljšo, polnejšo aromo, vsebujejo več mineralov ter več vitamina C in fenolnih spojin (Huber in sod., 2011; Rembialkowska, 2004). Obstočnost askorbinske kisline v živilu je odvisna od različnih dejavnikov kot so: kisik, svetloba, temperatura, vrednost pH, prisotnost kovinskih ionov (Cu^{2+} , Fe^{3+}) in a_w . Kovinski ioni lahko že v zelo majhnih količinah znatno pospešijo oksidativno razgradnjo askorbinske

kisline (Abramovič, 2011). Pri pesinem čipsu sorte 'Detroit' način sušenja statistično značilno vpliva na vsebnost askorbinske kisline, ki je pri temperaturi sušenja 60 °C večja pri VS. Vitamin C je ena izmed najbolj labilnih snovi v rastlinah, je topen v vodi ter občutljiv na vrednost pH, svetlobo in temperaturo (Kalpna in sod., 2011). Vsebnosti askorbinske kisline so večje pri čipsu, izdelanem po vakuumskem postopku, zaradi manjše oksidacije. Prav tako tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vsebnosti askorbinske kisline, ki so pri sušenju pri 40 °C večje pri konvekcijskem sušenju čipsa zaradi nižjih temperatur sušenja, pri sušenju pri 60 °C pa so vsebnosti večje pri vakuumskem sušenju zaradi krajšega časa sušenja.

Pri čipsu pese sorte 'Tondo di Chioggia' način sušenja statistično značilno vpliva na vsebnost askorbinske kisline, kjer so vsebnosti pri 60 °C značilno večje pri KS. Vsebnosti askorbinske kisline pri VS se z naraščanjem temperature sušenja zmanjšujejo. Rakcejeva in sod. (2011) so ugotovili, da je pri vakuumskem sušenju buč z MV zmanjšana vsebnost vitamina C ($0,26 \pm 0,09$ g/100 g). Med procesom sušenja buč v mikrovalovnem sušilniku se je vsebnost vitamina C dvakrat zmanjšala napram vakuumskemu sušenju, kar je mogoče pripisati toplotni nestabilnosti vitamina C in oksidacijskim procesom na račun izpostavitve zraku. Vitamin C je eden najmanj stabilnih vitaminov, ki se lahko uniči med pripravo, obdelavo in skladiščenjem. Najbolj škodljivi dejavniki, ki vplivajo na uničenje vitamina C, so razpoložljivost kisika oz. izpostavljenost zraku, daljše segrevanje ob prisotnosti kisika in izpostavljenost svetlobi (Rakcejeva in sod., 2011). Vakuumsko sušenje z MV, z zmanjšano prisotnostjo kisika, omogoča v primerjavi s konvekcijskim sušenjem manjšo izgubo vitamina C (Sagar in Suresh Kumar, 2010).

Pri čipsu sorte pese 'Forono' med vsebnostmi askorbinske kisline ni statistično značilnih razlik glede načina in T sušenja.

Pri čipsu korenja 'Jeannete' so vsebnosti askorbinske kisline pri čipsu, sušenem pri 40 °C, statistično značilno večje pri VS. Brennan (2003) razlaga, da je to posledica zmanjšane oksidacije askorbinske kisline pri sušenju brez kisika in nižjih temperaturah sušenja. Temperatura sušenja pri VS statistično značilno vpliva na vsebnost askorbinske kisline, ki je največja pri T sušenja 40 °C. Lin in sod. (1998) so primerjali rezine korenja sušene vakuumsko z MV, z rezinami korenja sušenimi na zraku. Ugotovili so, da ima korenje, sušeno vakuumsko z MV, večjo vsebnost vitamina C.

Pri čipsu korenja sorte 'Rolanka' način sušenja in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na vsebnost askorbinske kisline, čeprav je pri čipsu, sušenem pri 40 °C, opaziti večjo vsebnost askorbinske kisline pri VS. Askorbinska kislina deluje antioksidativno le pri ustrezno visoki koncentraciji (nad 1 mmol/L), zaradi zadostne razpoložljivosti za pretvarjanje radikalskih zvrsti v manj reaktivne oblike. Askorbinska kislina lahko deluje v zmanjšanih količinah pod 10^{-2} mmol/L kot prooksidant, kar pospeši proces oksidacije

lipidov, kar pomeni, da je v prisotnosti askorbinske kisline vsebnost nastalih hlapnih produktov lipidne oksidacije (aldehidov) znatno večja kot v njeni odsotnosti (Abramovič, 2011).

5.1.5 Vpliv načina in temperature sušenja na vsebnost karotenoidov v čipsu rdeče pese in korenja

Glede vsebnosti karotenoidov v vseh vzorcih čipsa korenja je α - in β -karotena več pri čipsu izdelanem z VS, pri vsebnostih luteina pa ni statistično značilnih razlik glede načina sušenja. Karotenoidi so zelo občutljivi na kisik in svetlobo (Abramovič, 2011; Khachik, 2011). Glede na temperaturo sušenja ni razlik v vsebnosti karotenoidov, opaziti je večje vsebnosti luteina pri vzorcih čipsa, sušenih pri 40 °C, ter večje vsebnosti α - in β -karotena pri vzorcih, sušenih pri 50 °C. Hitrejši postopek sušenja ohrani barvo živila, kar je rezultat zmanjšane razgradnje karotenoidov in drugih pigmentov v zelenjavnih izdelkih. Razgradnja karotenoidov je največkrat rezultat oksidacije. Tudi predobdelava živila ima vpliv na vsebnost karotenoidov v končnem sušenem izdelku (Hribar in Simčič, 2000). Če karotenoide ustrezno zaščitimo, so lahko obstojni tudi pri visokih temperaturah. Na njihovo obstojnost poleg kisika in svetlobe vpliva tudi temperatura, vrednost pH in prisotnost kovin (Abramovič, 2011).

Vsebnosti karotenoidov (luteina, α -karotena, β -karotena) so bile pri vseh vzorcih čipsa rdeče pese pod mejo detekcije oz. jih čips rdeče pese ne vsebuje.

Pri čipsu korenja 'Jeannete', sušenem pri 40 in 50 °C, je več α - in β -karotena pri VS. Ravno obratno je pri sušenju pri 60 °C, kjer so vsebnosti α - in β -karotena pri VS bistveno manjše. Vsebnosti α -karotena so največje pri VS pri 50 °C. Lin in sod. (1998) poročajo, da imajo vakuumsko z MV sušene rezine korenja večjo vsebnost α -karotena v primerjavi z rezinami korenja, sušenimi na zraku. Vsebnosti β -karotena so največje pri KS pri 60 °C. Vsebnosti luteina v čipsu korenja 'Jeannete' so največje pri VS pri 40 °C in se zmanjšujejo z višjo temperaturo sušenja. Pri KS pa so največje vsebnosti luteina v čipsu korenja pri 40 °C in najmanjše pri 50 °C.

Vsebnosti luteina v čipsu korenja 'Rolanka' se zmanjšujejo z višjo temperaturo sušenja pri KS, pri VS je obratno, vsebnosti so večje pri višji temperaturi sušenja. Vsebnosti α - in β -karotena so bistveno večje pri VS pri vseh treh temperaturah. Avtooksidacija karotena s kisikom, ki prevlada pri visokih koncentracijah kisika, tekmuje z antioksidativnim delovanjem, ki je značilen za nizke koncentracije kisika (Hribar in Simčič, 2000). Največje vsebnosti α - in β -karotena so pri sušenju čipsa korenja 'Rolanka' pri 50 °C, tako pri vakuumskem kot pri konvekcijskem sušenju.

5.1.6 Vpliv načina in temperature sušenja na barvo čipsa rdeče pese in korenja

Vse vzorce čipsa, ne glede na vrsto zelenjave, smo primerjali glede na T sušenja pri 40, 50 in 60 °C. Vrednosti L^* , a^* in b^* ne kažejo statistično značilnih razlik med vzorci glede na različne temperature sušenja. Iz preglednice 19 je razvidna nižja vrednost parametra L^* , kar pomeni svetlejšo barvo čipsa in višja vrednost parametra a^* , kar pomeni intenzivnejšo rdečo barvo čipsa pri sušenju pri 40 °C. Pri sušenju pri višjih temperaturah je čips temnejši - nižja vrednost L^* , zaradi manjšega encimskega porjavenja. Maillardova reakcija je katalizirana z višjo temperaturo in visoko koncentracijo reakcijskih komponent ob prisotnosti določene količine vode (Brennan, 1993). Abramovičeva (2011) poroča, da Maillardova reakcija poteče v živilih z majhno vsebnostjo vode med toplotno obdelavo nad 80 °C. Vrednost a^* vzorcev čipsa je višja pri VS, kjer je intenziteta rdeče barve pri vzorcih višja zaradi boljšega ohranjanja antocianinov in karotenoidov. Brennan (2003) navaja, da hitrejši postopek sušenja, kot je npr. vakuumsko sušenje, izboljša ohranitev barve, zaradi zmanjšane razgradnje karotenoidov in drugih pigmentov na račun manjše oksidacije. Torej izbira postopka sušenja ključno vpliva na ohranitev barve. Podobno Tarhan in sod. (2010) navajajo, da je pomembno upoštevati karakteristike sušilnikov v industriji v smislu njihovega vpliva na kakovost izdelka, porabo energije in izkoristek. S sušenjem listov poprove mete v rotacijskem sušilnem bobnu so ugotovili, da višje T zraka povzročajo znatno temnenje listov poprove mete.

Zakipour in Hamidi (2011) navajata za poprovo meto, sušeno s KS, negativno vrednost parametra a^* (večja intenziteta zelene barve) pri nižjih temperaturah sušenja v primerjavi s hitrejšim sušenjem z vročim zrakom, kjer je večja intenziteta zeleno-rdeče barve listov. Vrednost a^* poprove mete se od začetne vrednosti -7.88 v svežih vzorcih zmanjša na -2.03 po vakuumskem sušenju, zaradi zmanjšanja vsebnosti zelenih pigmentov med postopkom sušenja, ki prizadene predvsem rastlinska barvila pri 50 °C. Vrednost parametra L^* vakuumsko posušene poprove mete pri 70 °C je bila višja kot sveže mete (p -vrednost < 0,05), kar pomeni, da je posušena poprova meta svetlejša kot sveža. Pri čipsu rdeče pese in korenja so naše raziskave pokazale višje pozitivne vrednosti parametrov a^* (intenziteta rdeče barve) in b^* (intenziteta rumene barve) pri vakuumskem sušenju, zaradi boljšega ohranjanja karotenoidov oz. večje koncentracije le-teh, zaradi večje mase suhe snovi v sušenem živilu. Rakcejeva in sod. (2011) so sušili buče z vakuumskim načinom sušenja v kombinaciji z MV. Z analizo barve so ugotovili, da se je vrednost b^* pri sušenih bučah povečala za 1,5-krat v primerjavi s svežimi vzorci buč. Te spremembe so posledica zmanjšane mase posušenega vzorca, zaradi odvzete vode svežemu vzorcu, kar pomeni večjo koncentracijo pigmentov v suhi snovi. Barva izdelka je tako bolj intenzivna. Preprečena je tudi oksidacija pigmentov na račun sušenja v vakuumu.

Med vrednostmi L^* , a^* in b^* čipsa pese 'Detroit' so statistično značilne razlike glede načina sušenja. Vrednosti L^* so pri čipsu, sušenem pri 40 in 50 °C, višje pri KS v

primerjavi z VS, kar je vzrok daljše izpostavljenosti zraku, zaradi daljšega časa sušenja in posledično večje oksidacije pigmentov rdeče pese. Brennan (2003) opisuje, da je vzrok porjavenja pri nizkih temperaturah encimska oksidacija, če oksidacijski encimi prej niso bili inaktivirani, nižje temperature sušenja pa niso zadostne, da bi uničile encime, kar vpliva na obarvanost izdelka. Vrednosti a^* so pri čipsu, sušenem pri 60 °C, višje pri VS. Temperatura sušenja značilno vpliva na vrednosti L^* , ki so višje pri VS pri T sušenja 60 °C v primerjavi z ostalimi temperaturami sušenja. Vrednosti a^* so statistično značilno višje pri čipsu, izdelanem s KS pri 50 °C. Vzrok nižjih L^* vrednosti pri nižjih temperaturah sušenja je encimsko porjavenje živila.

Način sušenja ima na vrednosti L^* , a^* in b^* čipsa rdeče pese sorte 'Tondo di Chioggia' statistično značilen vpliv. Vrednosti L^* pri 40 °C temperature sušenja so višje pri čipsu, izdelanem s KS. Vrednosti b^* pri 50 °C temperature sušenja so višje pri čipsu izdelanem s KS ter višje pri 60 °C temperature sušenja pri čipsu izdelanem z VS. Prav tako tudi temperatura sušenja značilno vpliva na vrednosti L^* , ki so pri sušenju na 40 °C višje pri KS. Vrednosti b^* so višje pri sušenju na 60 °C pri čipsu, izdelanem z VS. Vrednost a^* oz. večja rdeča obarvanost čipsa pese je višja pri sušenju na 50 °C pri čipsu izdelanem z VS.

Način sušenja statistično značilno vpliva na vrednosti parametra L^* pri čipsu rdeče pese 'Forono'. Vrednosti L^* so višje pri čipsu, izdelanem z VS pri temperaturi sušenja 40 °C. Pri VS rdeče pese 'Forono' temperatura sušenja statistično značilno vpliva na svetlost čipsa, ki je pri sušenju na 50 in 60 °C manjša (nižje L^* vrednosti). Brennan (2003) opisuje, da je reakcija porjavenja temperaturno zelo občutljiva, zato med sušenjem izbira višjih temperatur lahko povzroči večje porjavenje. Vrednosti a^* so višje pri čipsu, izdelanem z VS v primerjavi s KS pri temperaturi 40 °C in vrednosti b^* višje pri čipsu, izdelanem s KS pri temperaturi 60 °C. Brennan (2003) navaja, da je ohranjena obarvanost vakuumsko sušenega živila posledica sušenja brez kisika in manjše encimske oksidacije. Temperatura sušenja tudi statistično značilno vpliva na vrednosti L^* , ki so višje pri VS pri 40 °C temperature sušenja. Pri obeh načinih sušenja so vrednosti a^* najvišje pri čipsu, sušenem pri 40 °C. Slavov in sod. (2011) so pri segrevanju pesinega soka ugotovili, da podaljševanje toplotne obdelave soka pese prispeva k dodatnemu zmanjšanju betalainov, pigmentov rdeče barve (betacianinov in betaksantinov). Vrednosti b^* so najvišje pri KS pri 60 °C in pri VS pri T sušenja 50 °C. Negativna vrednost b^* (bolj modra barva) pri obeh načinih sušenja je statistično značilno višja pri čipsu, sušenem pri 40 °C, zaradi manjše oksidacije pigmentov betalainov. Vrednost b^* pri KS z višjo temperaturo narašča. Brennan (2003) poroča, da med sušenjem zelenjave prihaja do sprememb barve. Časovno krajši postopek sušenja barvo bolj ohrani, kar je rezultat zmanjšane razgradnje pigmentov. Najmanjše vrednosti b^* ($-2,52 \pm 0,69$) v vzorcih čipsa rdeče pese 'Forono' so bile izmerjene pri čipsu, sušenem vakuumsko pri 40 °C.

Pri čipsu korenja 'Jeannete' ima način sušenja statistično značilen vpliv na vrednosti L^* , ki so višje pri čipsu, izdelanem s KS pri 50 °C in na vrednosti a^* , ki so višje pri čipsu, izdelanem z VS pri 50 °C. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na vrednosti L^* pri čipsu, izdelanem s KS, ki so višje pri temperaturi sušenja 50 °C. Temnejša obarvanost čipsa pri VS je posledica večje ohranjenosti pigmentov na račun manjše oksidacije v vakuumu. Rakcejeva in sod. (2011) v raziskavi sušenja buč navajajo, da buče med vakuumskim sušenjem z MV ne postanejo temnejše. Pri določanju parametra L^* pri sušenih bučah ugotavljajo, da je vrednost L^* enaka oz. podobna pri svežem ali vakuumsko z MV sušenem vzorcu. Vrednosti a^* so najvišje pri čipsu, izdelanem z VS pri 60 °C, medtem ko so vrednosti b^* statistično značilno najvišje pri čipsu, izdelanem z VS pri 40 in 50 °C. Brennan (2003) navaja, da se izguba β -karotena pojavi kot rezultat oksidacije pri višjih temperaturah KS, kar pomeni, da izgubo barve povezujemo s T sušenja in prisotnostjo kisika. Višje vrednosti b^* , najbolj rumeno obarvan čips korenja, je opaziti pri vseh treh temperaturah VS, zaradi sušenja brez kisika. Brennan (2003) poroča, da je pri VS pri nižjih temperaturah (30, 35 °C) izguba β -karotena manjša, pri višjih temperaturah sušenja je lahko večja izguba barve rezultat večje oksidacije karotenoidov (Brennan, 2003).

Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na vrednosti L^* in a^* čipsa korenja 'Rolanka'. Način sušenja statistično značilno vpliva le na vrednosti parametra b^* , ki so višje pri VS pri 60 °C, kjer je bolj intenzivno rumena obarvanost čipsa korenja. Rakcejeva in sod. (2011) poročajo, da se je vrednost parametra b^* povečala za 1,5 krat med vakuumskim sušenjem buč z MV v primerjavi s svežimi vzorci. Te spremembe pripisujejo zmanjšani masi posušenega vzorca, zaradi izgube vode, kar ima za posledico večjo vsebnost karotenoidov v vzorcu. Barva izdelka je tako tudi bolj intenzivna. Nižje vrednosti parametra a^* so pri čipsu izdelanem s KS v primerjavi z vakuumsko sušenim čipsom, kjer je večja rdeča obarvanost in le-ta narašča s temperaturo.

5.1.7 Vpliv načina in temperature sušenja na trdoto čipsa rdeče pese in korenja

Vse vzorce čipsa, ne glede na vrsto zelenjave, smo primerjali glede na temperaturo in način sušenja. Pri pregledu analiziranih vzorcev čipsa smo ugotovili, da imajo statistično značilno večjo trdoto konvekcijsko sušeni vzorci čipsa rdeče pese in korenja. Trdota čipsa z višjo temperaturo sušenja pada, kar pomeni, da je največja trdota pri vzorcih, sušenih pri 40 °C in najmanjša pri vzorcih, sušenih pri 60 °C. Nižja je temperatura sušenja, manjše so termične in kemijske poškodbe. Čas sušenja se posledično podaljša. Pri VS govorimo o sušenju z odparevanjem, kjer je T vlažne snovi višja od T vrelišča kar verjetno povzroči manjšo trdnost. Lin in sod. (1998) so med seboj primerjali rezine korenja vakuumsko z MV sušene, konvekcijsko sušene in sušene z liofilizacijo, na podlagi parametrov rehidracijskega potenciala, barve, gostote, hranilne vrednosti in teksturnih lastnosti.

Ugotovili so, da ima korenje, sušeno vakuumsko z MV, manjšo trdoto kot konvekcijsko sušeni vzorci.

Način sušenja statistično značilno vpliva na trdoto čipsa rdeče pese 'Detroit' sušenega pri 40 °C, ki je večja pri VS. Pri obeh načinih sušenja je opaziti, da trdota čipsa pada z višjo T sušenja. Pri čipsu rdeče pese 'Tondo di Chioggia' ima največjo trdoto čips, izdelan z VS pri 40 °C. Trdota pada z višjo temperaturo VS. Brennan (1993) poroča, da elastičnost tkiva zelenjave med sušenjem hitro pada, celice izgubijo svojo čvrstost in zelenjava se krči. Hrustljivost, trdota in čvrstost sušenega živila so odvisni od vrste zelenjave. Način sušenja statistično značilno vpliva na trdoto čipsa rdeče pese 'Forono', ki je pri čipsu, sušenem pri 50 in 60 °C, večja pri KS, pri 40 °C pa pri VS. Trdota vakuumsko sušenega čipsa je statistično značilno večja pri 40 °C in se pri tem načinu sušenja z višjo T značilno zmanjšuje.

Način sušenja pri temperaturi 40 °C vpliva na trdoto čipsa korenja 'Jeannete', ki je 2,3-krat večja pri KS. Vsi vzorci čipsa, izdelani z VS so manj trdi kot vzorci konvekcijsko sušenega čipsa. Temperatura sušenja statistično značilno vpliva na trdoto čipsa korenja 'Rolanka', ki je večja pri VS pri 40 °C in z višjo temperaturo sušenja pada. Brennan (1993) razlaga, da pri sušenju večina sprememb v strukturi živila kot so kolaps membran in celičnih sten, želiranje in tvorba fibroznih struktur, nastane zaradi zgoščanja makromolekul in manj zaradi denaturacije.

5.1.6 Vpliv načina in temperature sušenja na senzorične lastnosti čipsa rdeče pese in korenja

Pri čipsu rdeče pese 'Detroit' in 'Forono' način sušenja statistično značilno vpliva na barvo vzorcev. Ocena barve čipsa je statistično značilno višja pri vakuumsko sušenih vzorcih pri vseh temperaturah sušenja. Pri čipsu 'Detroit' so najvišjo oceno dobili vzorci, sušeni v vakuumskem sušilniku pri temperaturah 50 in 60 °C v primerjavi s KS. Brennan (2003) poroča, da visoke T povzročijo Maillardovo reakcijo, kar se da kontrolirati s spremljanjem prostih AK v izdelku in s prilagoditvijo na nižje T sušenja. Pri Maillardovi reakciji gre za kompleksno serijo reakcij, ki se začne z reakcijo med AK in reducirajočimi sladkorji. To je tako im. Amadori premestitev, ki pripelje preko serije vmesnih sestavin do nehlapnih produktov melanoidinov, ki so netopne snovi s karakteristično rjavo barvo. Srichamnong in Srzednicki (2015) poročata, da je razvoj neencimskega porjavenja posledica kemijskih reakcij od razpada askorbinske kisline, karamelizacije in Maillardove reakcije, ki so odgovorne za številne arome in barve živil pri procesu sušenja. Do tvorbe temnejših pigmentov pride tudi zaradi encimske oksidacije polifenolnih spojin. Potek Maillardove reakcije je odvisen od časa in T segrevanja, sestave živila, vsebnosti vode, vrednosti pH in od prisotnosti oksidantov in reducentov. Reakcija je temperaturno zelo občutljiva, zato

med sušenjem uporaba višjih temperatur lahko povzroči povišanje stopnje števila reakcij, ki vplivajo na barvo izdelka.

Intenzivna rdeča barva pese izhaja iz visokih koncentracij betalainov, skupine fenolnih sekundarnih rastlinskih metabolitov (Kujala in sod. 2001). Betalaini se uporabljajo kot naravna barvila, ki na področju prehrane prejemajo tudi večjo pozornost zaradi morebitnih koristi za zdravje pri ljudeh, zaradi njihove antioksidativne in protivnetne vloge. Poleg betalainov so v pesi določili tudi majhne količine flavonoidov ter hidroksicimetnih kislin, kot sta galna in kavna kislina (Wruss in sod., 2015). Ocena barve čipsa korenja sorte 'Jeannete' je statistično značilno višja pri VS pri 40 °C. Pri čipsu korenja sorte 'Rolanka' je prav tako ocena barve čipsa korenja višja pri VS in sicer pri T sušenja 50 °C. Za ostale vzorce čipsa korenja velja, da način sušenja in različne temperature sušenja niso statistično značilno vplivali na barvo čipsa korenja.

Med ocenami enakomernosti površine vzorcev pesinega čipsa 'Detroit' so statistično značilne razlike glede na način sušenja pri temperaturah 40 in 50 °C, kjer so višjo oceno dobili vakuumsko sušeni vzorci čipsa. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na enakomernost površine čipsa 'Detroit'. Pri pesinem čipsu 'Forono' način sušenja statistično značilno ne vpliva na enakomernost površine čipsa. Ocena enakomernosti površine čipsa je glede na temperaturo sušenja, statistično značilno višja pri KS pri 50 in 60 °C. Opaziti je višje ocene za enakomernost površine pri višjih T sušenja. Med ocenami enakomernosti površine čipsa korenja obeh sort ni statistično značilnih razlik. Višje ocene za enakomernost površine čipsa imajo vakuumsko sušeni vzorci pri vseh temperaturah sušenja, pri čipsu korenja 'Jeannete' imajo najvišjo oceno vakuumsko sušeni vzorci pri 40 °C.

Pri čipsu rdeče pese 'Detroit' je ocena za vonj statistično značilno višja pri vakuumsko sušenem čipsu pri 60 °C in statistično značilno višja pri čipsu, sušenem pri 40 °C v konvekcijskem sušilniku. Konvekcijsko sušen čips rdeče pese 'Detroit' pri 50 °C je imel vonj po dimu. Pri čipsu sorte rdeče pese 'Forono' ni statistično značilnih razlik med ocenami za vonj glede na način in temperaturo sušenja, vendar imajo najboljšo oceno za vonj vakuumsko sušeni vzorci. Ocena vonja čipsa korenja 'Jeannete' je statistično značilno višja pri vakuumsko sušenih vzorcih pri 40 °C v primerjavi s KS. Ocena vonja čipsa korenja 'Rolanka' pa je statistično značilno višja pri vakuumsko sušenih vzorcih pri 40 in 50 °C. Konvekcijsko sušen čips korenja 'Jeannete' pri 40 °C in konvekcijsko sušen čips korenja sorte 'Rolanka' pri 50 °C sta imela izrazit vonj po žarkem. Žarkost, ki jo povzročajo številni oksidacijski procesi enkrat ali večkrat nenasičenih MK opisujemo kot vonj po žarkem (Allen in Hamilton, 1994). Saxby (1993) navaja, da med samim sušenjem korenja prihaja do sprememb zaradi oksidacijskih procesov, značilen je vonj po vijolicah, kar je posledica nastanka α - in β -ionona ter β -ionon-5,6-epoksida. Pri senzorični analizi vzorcev čipsa korenja v naši raziskavi vonja po vijolicah nismo zaznali.

Način sušenja statistično značilno vpliva na okus čipsa rdeče pese 'Detroit', kjer so ocene višje pri čipsu, izdelanem z VS pri 60 °C. Temperatura sušenja značilno vpliva na okus čipsa tako pri vakuumsko kot pri konvekcijsko sušenih vzorcih, kjer so ocene značilno najvišje pri vzorcih čipsa, sušenih pri 40 °C. Konvekcijsko sušen čips pese 'Detroit' pri 50 °C je bil grenkega okusa. Ocena okusa čipsa pese 'Forono' je statistično značilno višja pri VS pri 50 in 60 °C. Temperatura sušenja statistično značilno ne vpliva na okus čipsa, čeprav so višje ocene pri VS pri vseh T. Čips pese 'Forono', konvekcijsko sušen pri 60 °C, je imel pekoč pookus, vakuumsko sušen pri 40 °C je imel slabšo harmonijo okusa z vonjem po zemlji, medtem ko je imel čips, proizveden s konvekcijskim sušenjem pri 40 °C, vonj po kartonu. Krokida in sod. (1997) poročajo, da se pri sušenju zelenjave zmanjša vsebnost lahkihhlapnih snovi, ki oblikujejo specifično aromo živila. Včasih je ta izguba hlapnih snovi neznatna. Zaradi izgube vode pride tudi v živilu do višje koncentracije ostalih snovi na primer sladkorjev, soli, maščob, beljakovin, vitaminov in mineralov, kar posledično pomeni intenzivnejši okus sušene rdeče pese in korenja. Način sušenja statistično značilno vpliva na oceno okusa čipsa korenja 'Jeannete'. Ocena je višja pri VS pri vseh treh temperaturah sušenja. Konvekcijsko sušeni vzorci korenja 'Jeannete' pri 50 in 60 °C so imeli okus po milu, sušeni pri 40 °C pa pekoč pookus. Temperatura sušenja ne vpliva statistično značilno na okus čipsa pri vzorcih, sušenih v konvekcijskem sušilniku, čeprav so višje ocene za okus prejeli čipsi, sušeni pri višjih T. Pri konvekcijsko sušenem čipsu korenja 'Rolanka' so med ocenami okusa razlike glede na način sušenja pri T sušenja 60 °C, kjer je ocena statistično značilno višja pri čipsu, izdelanem z VS. Tudi temperatura sušenja statistično značilno vpliva na okus čipsa pri KS, ocene za okus čipsa so višje pri čipsu, sušenem pri 40 in 60 °C.

Način sušenja statistično značilno vpliva na značilnost arome pri čipsu obeh sort rdeče pese. Ocena značilnosti arome je bila pri obeh sortah pesinega čipsa najvišja pri vzorcih VS pri vseh treh temperaturah. V vakuumskem sušilniku lahko z nižjo temperaturo in podtlakom na račun uparjanja uspešno sušimo živila, ki so termolabilna in na zraku hitro oksidirajo. Konvekcijsko sušen čips pese 'Detroit' pri 50 °C je imel aromo po milu z neprijetno pekočim občutkom v ustih. Sušenje pri višjih temperaturah povzroči Maillardovo reakcijo, kjer poleg melanoidinov nastanejo tudi hlapne snovi, ki jih zaznamo že pri zelo nizkih koncentracijah in pomembno prispevajo k aromi živila (Brennan, 2003). Rezultat Maillardove reakcije je tudi razgradnja AK preko tako im. Streckerjeve degradacije. Pri tej reakciji nastajajo aldehidi, amonijak in CO₂. Aldehidi tudi pripomorejo k razvoju arome (Brennan, 2003). Glavni sladkor v pesi je saharoza, glukoze in fruktoze je malo (Wruss in sod., 2015). Žarka aroma maščob je kompleksna zaznava na račun številnih oksidacijskih produktov MK (Allen in Hamilton, 1994). Med ocenami značilnosti arome korenja so tudi statistično značilne razlike glede načina sušenja. Ocena značilnosti arome je višja pri vakuumsko sušenem čipsu obeh sort korenja. Najbolje ocenjeni vzorci čipsa korenja so sušeni v vakuumskem sušilniku pri vseh treh temperaturah, še posebej pri

temperaturah 40 in 50 °C pri sorti 'Rolanka'. Najbolj blago, harmonično in prijetno aromo je imel čips sorte 'Jeannete', sušen vakuumsko pri 60 °C.

Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na obstojnost arome pesinega čipsa sorte 'Detroit'. Višjo oceno obstojnosti arome imata vakuumsko sušena čipsa pri 40 in 60 °C v primerjavi s KS. Pri pesinem čipsu sorte 'Forono' pa imata statistično značilno višjo oceno čipsa, sušena v vakuumskem sušilniku, pri temperaturah 40 in 50 °C. Pri čipsu pese 'Forono' ni statistično značilnih razlik obstojnosti arome glede na temperaturo sušenja. Vzorci, sušeni v konvekcijskem sušilniku imajo boljšo oceno pri višjih T sušenja. Način sušenja pri čipsu korenja 'Jeannete' statistično značilno vpliva na obstojnost arome. Ocena obstojnosti arome čipsa je višja pri VS pri 40 in 50 °C. Na obstojnost arome statistično značilno vpliva temperatura sušenja, še posebej pri KS, kjer je ocena za obstojnost arome značilno višja pri sušenju pri 60 °C. Pri konvekcijsko sušenem čipsu korenja 'Jeannete' je z višjo temperaturo sušenja dosežena večja obstojnost arome. Pri obeh sortah korenja so najvišjo oceno za obstojnost arome prejeli čipsi, izdelani z VS pri vseh treh temperaturah sušenja.

Pri ocenjevanju teksture čipsa rdeče pese in korenja smo spremljali žvečljivost in topnost izdelka. Ocena za teksturo je višja pri lažji žvečljivosti in hitrejši topnosti čipsa v ustih. Način sušenja pri čipsu rdeče pese 'Detroit' statistično značilno vpliva na oceno teksture čipsa, ki je višja pri vakuumsko sušenem čipsu pri 50 in 60 °C. Pri čipsu rdeče pese 'Detroit' je najbolje ocenjen vakuumsko sušen čips pri 60 °C. Pri vakuumsko sušenem čipsu pese sorte 'Detroit' so glede na temperaturo sušenja statistično značilne razlike med ocenami teksture čipsa, ki so višje pri vakuumsko sušeni pesi, sušeni pri 60 °C. Pri čipsu pese sorte 'Forono' način in temperatura sušenja statistično značilno vplivata na teksturo čipsa, kjer so ocene značilno višje pri vzorcih KS pri 60 °C ter značilno najvišje pri čipsu VS pri 50 °C. Način in temperatura sušenja statistično značilno ne vplivata na oceno teksture čipsa korenja sorte 'Jeannete'. Najvišjo oceno za teksturo je dobil vakuumsko sušen čips pri 60 °C. Pri čipsu korenja 'Rolanka' so med ocenami teksture čipsa statistično značilne razlike v načinu sušenja pri 50 °C, kjer imajo višjo oceno vakuumsko sušeni vzorci. Ocene za teksturo čipsa so višje pri VS, kjer je ocena za teksturo pri čipsu korenja 'Jeannete' najvišja pri 60 °C, ocena za teksturo čipsa 'Rolanka' pa je najvišja pri 50 in 60 °C. Lin in sod. (1998) poročajo, da ima korenje, sušeno vakuumsko z MV, mehkejšo teksturo kot vzorci korenja, posušeni na zraku.

Na podlagi senzoričnega ocenjevanja čipsa rdeče pese in korenja (preglednica 12), smo podali tudi predlog točkovnika za oceno kakovosti čipsa (preglednica 25) glede na doseženo število točk pri senzoričnem ocenjevanju barve, enakomernosti površine, vonja, okusa, značilnosti arome, obstojnosti arome in teksture zelenjavnega čipsa. Najvišjo oceno z 28,5 točkami sta prejela: čips rdeče pese 'Detroit', izdelan z VS pri temperaturi sušenja 60 °C (slika 15) in čips korenja 'Jeannete', izdelan z VS pri temperaturi sušenja 40 °C

(slika 17). Najnižjo senzorično oceno pa sta prejela: čips rdeče pese 'Forono' (17,5 točk), izdelan s KS pri temperaturi sušenja 40 °C (slika 16) in čips korenja 'Jeannete' (19 točk), prav tako izdelan s KS pri temperaturi sušenja 40 °C (slika 17).

Preglednica 25: Ovrednotenje kakovosti čipsa na podlagi senzoričnega ocenjevanja s točkovanjem

Table 25: Evaluation of the quality of vegetable chips on the basis of sensory evaluation with point system

Točke	Kakovost sušenega čipsa (opis)
26-30	odlična kakovost
21-25	dobra kakovost (manjša odstopanja)
16-20	zadovoljiva kakovost (poudarjena odstopanja)
11-15	nezadovoljiva kakovost (resne pomankljivosti)
7-10	nesprejemljiva kakovost (izdelek ni primeren za uživanje)

5.2 SKLEPI

Na osnovi predstavljenih rezultatov analiz trideset različnih vzorcev čipsa rdeče pese in korenja, izdelanih s konvekcijskim in vakuumskim sušilnikom pri različnih temperaturah sušenja (40, 50 in 60 °C), lahko podamo naslednje ugotovitve, ki potrjujejo ali zavračajo postavljene hipoteze.

- Hipotezo, da bo čips rdeče pese vseboval več antioksidantov kot čips korenja, lahko delno potrdimo, kajti AOP čipsa pese je znotraj različnih sort in načina sušenja rdeče pese različen. Večji AOP imajo vakuumsko sušeni vzorci čipsa v primerjavi s konvekcijsko sušenimi. Med vsemi vzorci vakuumsko sušenega čipsa imata največji AOP čipsa rdeče pese 'Detroit' ($1,16 \pm 0,06$ mmol DPPH/100 g) in 'Forono' ($1,11 \pm 0,05$ mmol DPPH/100 g), sledijo vakuumsko sušeni vzorci čipsa korenja sorte 'Rolanka' ($0,64 \pm 0,01$ mmol DPPH/100 g) in 'Jeannete' ($0,48 \pm 0,03$ mmol DPPH/100 g). Najmanjši AOP ($0,20 \pm 0,01$ mmol DPPH/100 g) ima vakuumsko sušen čips rdeče pese 'Tondo di Chioggia'. Z metodo merjenja AOP smo določili višje vrednosti pri vakuumsko sušenem čipsu zaradi manjše oksidacije. Najnižje vrednosti AOP smo določili pri temperaturi sušenja 60 °C, zaradi večje oksidacije na račun višjih temperatur sušenja.
- Sklepali smo, da bo vakuumsko sušeni čips vseboval več antioksidantov (karotenoidov, askorbinske kisline). Hipotezo potrjujejo rezultati analiz vsebnosti askorbinske kisline, ki so večje pri čipsu, izdelanem po vakuumskem postopku sušenja, zaradi manjše oksidacije. Pri vzorcih čipsa, sušenih pri 40 °C je vsebnost askorbinske kisline večja in z naraščanjem temperature pada. Tudi

vsebnosti vseh karotenoidov (luteina, α -karotena, β -karotena) so znatno večje pri vakuumskem sušenju. Glede vpliva temperature sušenja so vsebnosti karotenoidov rahlo večje pri vakuumskem sušenju pri temperaturah 40 ali 50 °C, od tega so vsebnosti α - in β -karotena največje pri 50 °C.

- Na osnovi rezultatov analiz lahko zavrnamo postavljeno hipotezo, da konvekcijski način sušenja vpliva na zmanjšanje vsebnosti α -linolenske kisline. Ugotovili smo, da so vsebnosti nenasičenih MK v čipsu rdeče pese in korenja večinoma večje pri vakuumskem sušenju, zaradi manjše oksidacije, vendar je vsebnost linolenske MK nekoliko večja pri konvekcijskem sušenju ($(41,67 \pm 23,49)$ mg/100 g vzorca) v primerjavi z vakuumskim sušenjem rdeče pese in korenja ($(39,99 \pm 20,49)$ mg/100 g vzorca). Delež linolenske MK (g linolenske MK/100 g skupnih maščob) pa je večji pri vakuumskem sušenju in znaša $6,11 \pm 1,68$ %. Delež linolenske MK je večji pri čipsu rdeče pese sorte 'Detroit' in 'Forono' ter manjši pri obeh vrstah čipsa korenja in čipsu sorte rdeče pese 'Tondo di Chioggia'. Delež nenasičenih MK je pri konvekcijskem in pri vakuumskem sušenju večji v primerjavi z deležem nasičenih MK, predvsem zaradi večjega deleža linolne MK, in je pri analizi vseh vzorcev čipsa skupaj znašal pri konvekcijsko sušenem čipsu $55,14 \pm 13,03$ % skupnih maščob in pri vakuumsko sušenem čipsu $54,99 \pm 12,90$ % skupnih maščob. Pri tem smo ugotovili večje deleže linolne MK pri čipsu korenja v primerjavi s čipsom pese.
- Na podlagi opravljene senzorične analize čipsa potrdimo hipotezo, da način sušenja vpliva na teksturne lastnosti čipsa. Višjo oceno za teksturo imajo vakuumsko sušeni vzorci čipsa rdeče pese in korenja, pri tem načinu sušenja so ocene boljše pri višjih temperaturah (60 °C) sušenja. Trdota čipsa je manjša pri višji temperaturi sušenja zaradi toplotne obremenitve in tako so posledično tudi ocene za teksturo čipsa višje. Instrumentalne analize trdote čipsa kažejo, da je trdota manjša pri vakuumsko sušenih vzorcih. Vakuumsko sušenje v primerjavi s konvekcijskim prispeva tudi k manjši izgubi vode v čipsu, kar je lahko posledica krajših časovnih režimov vakuumskega sušenja. Pri višjih temperaturah odpari več vode v odvisnosti od časa in načina sušenja. Učinek sušenja se povečuje s temperaturo.
- Rezultati senzoričnega ocenjevanja čipsa rdeče pese in korenja potrjujejo hipotezo, da bo imel vakuumsko sušeni čips boljšo senzorično oceno kot čips sušen v konvekcijskem sušilniku pri vseh parametrih senzoričnega ocenjevanja: barvi, enakomernosti površine, vonju, okusu, značilnosti arome, obstojnosti arome in teksturi čipsa.

Ocena barve čipsa rdeče pese je višja pri vakuumsko sušenih vzorcih pri vseh temperaturah sušenja. Najvišjo oceno za barvo čipsa korenja so dobili vzorci, izdelani z VS pri T sušenja 40 in 50 °C. Višje ocene za enakomernost površine čipsa imajo vakuumsko sušeni vzorci pri vseh temperaturah sušenja, še posebej pri 40 °C. Ocena vonja čipsa korenja pa je višja pri vakuumsko sušenih vzorcih, še posebej pri temperaturah sušenja 40 in 50 °C. Ocena okusa čipsa pese je statistično značilno višja pri VS pri 50 in 60 °C, pri čipsu korenja pa je ocena višja pri VS pri vseh treh temperaturah sušenja. Ocena značilnosti in obstojnosti arome je bila pri obeh vrstah čipsa najvišja pri vzorcih VS, sušenih pri vseh treh temperaturah. Ocena za teksturo čipsa je višja pri vakuumsko sušenem čipsu pri 50 in 60 °C.

- Pri instrumentalni analizi barve čipsa (svetlost L^* ter odtenka barve a^* in b^*) smo ugotovili, da so pri višji temperaturi sušenja L^* vrednosti čipsa nižje (temnejši izdelek) zaradi oksidacije živila. Pri vakuumskem sušenju rdeče pese in korenja je vrednost parametra a^* (intenzivnost rdeče barve v pozitivnem območju) višja zaradi zmanjšane oksidacije in tako boljšega ohranjanja antocianinov in karotenoidov. Enako je pri parametru b^* (intenziteta rumene barve v pozitivnem območju), kjer je vrednost b^* višja pri vakuumsko sušenem čipsu.
- Na podlagi rezultatov kemijsko-instrumentalnih, instrumentalnih in senzoričnih analiz lahko sklenemo, da je za izdelavo sušenega zelenjavnega čipsa, čipsa rdeče pese in korenja, najboljši vakuumski način sušenja, ki da nižje vrednosti L^* , višje vrednosti a^* , b^* in AOP ter večje vsebnosti oleinske, linolne MK in manjše vsebnosti palmitinske MK. Večji delež MK pa zavzemajo oleinska, linolenska in stearinska MK. Prav tako so vsebnosti askorbinske kisline in karotenoidov večje pri vakuumsko sušenem čipsu. Trdota je manjša pri čipsu, izdelanem z VS. Na podlagi rezultatov analiz je za izdelavo čipsa rdeče pese in korenja najbolj primerna temperatura sušenja 50 °C, ki omogoča nižje vrednosti L^* , višji AOP, večje vsebnosti oleinske, linolne in linolenske MK ter večje vsebnosti α - in β -karotena. Prav tako omogoča sušenje pri 50 °C večje deleže linolne in linolenske MK. Za izdelavo zelenjavnega čipsa rdeče pese in korenja je najboljši vakuumski način sušenja pri temperaturi 50 °C, vendar je potrebno optimizirati kombinacijo časa in temperature vakuumskega sušenja glede na količino vstopne mase surovine, njenih lastnosti glede vsebnosti vode, velikosti, debeline in vrste izbrane surovine za izdelavo čipsa, z upoštevanjem lastnosti vakuumskega sušilnika (velikost, zmogljivost).

6 POVZETEK (SUMMARY)

6.1 POVZETEK

Namen te magistrske naloge je bila priprava kakovostnega zelenjavnega čipsa rdeče pese in korenja, z uporabo ekološko pridelane surovine in ustrezne živilsko-tehnološke prakse predelave, sušenja živila, da dobimo čips z dobro senzorično kakovostjo ter ohranjenimi hranilnimi in bioaktivnimi snovmi. Ta študija je prispevek k boljši kakovosti čipsa zelenjave s poudarkom na ekološko pridelani zelenjavi primerjalno pri različnih postopkih sušenja (konvekcijsko ali vakuumsko sušenje pri različnih temperaturah). Pomen ekološkega kmetovanja je izvirati iz čimbolj neonesnaženih naravnih virov z zavedanjem onesnaževalcev, kot so ostanki pesticidov, dušikovih spojin, hormonov, mikotoksinov, rastnih regulatorjev, kloriranih bifenilov, aromatskih ogljikovodikov, radioaktivnih izotopov in težkih kovin, ki posledično z vnosom preko uživanja hrane vplivajo na zdravje ljudi.

V raziskavo smo vključili trideset različnih vzorcev čipsa. Osemnajst različnih vzorcev čipsa treh sort ekološko pridelane rdeče pese 'Detroit', 'Tondo di Chioggia' in 'Forono' ter dvanajst različnih vzorcev čipsa korenja dveh sort, 'Jeannete' in 'Rolanka', ekološke pridelave. Vzorci rdeče pese in korenja so bili sušeni s konvekcijskim in vakuumskim sušilnikom pri temperaturah sušenja 40, 50 in 60 °C. Čips rdeče pese in korenja smo ovrednotili na podlagi rezultatov določanja izgube vode med sušenjem, na podlagi rezultatov analiz določanja AOP z radikalom DPPH•, določanja vsebnosti karotenoidov in askorbinske kisline s sistemoma HPLC in HPLC/MS, z analizami priprave metilnih estrov in določanja vsebnosti maščobnih kislin oz. njihovih metilnih estrov s pomočjo plinske kromatografije, instrumentalnih analiz barve in trdote čipsa ter ocenjevanja senzoričnih lastnosti s točkovanjem.

Vakuumsko sušenje, v primerjavi s konvekcijskim, prispeva k manjši izgubi vode v čipsu, kar je povezano s časovnimi režimi sušenja, ki so bili daljši pri konvekcijskem sušenju. Za vsako živilo posebej moramo optimizirati kombinacijo časa s temperaturo sušenja pri posameznih fazah sušenja. Čas sušenja je odvisen ne le od temperature in načina sušenja, ampak tudi od lastnosti živila, ki ga sušimo. Ugotovili smo, da je izguba vode večja pri rdeči pesi, sušeni konvekcijsko in večja pri korenju, sušenem v vakuumskem sušilniku.

Vrednosti AOP so višje pri vakuumsko sušenem čipsu zaradi zmanjšane oksidacije. Čips rdeče pese ima dvakrat višji AOP od čipsa korenja. Izjema je le pesin čips 'Tondo di Chioggia', kjer so vrednosti AOP najnižje, predvidevamo, da je že v svežem vzorcu te sorte pese najmanj antioksidantov. Najnižje vrednosti AOP smo dokazali pri temperaturi sušenja 60 °C, zaradi večje oksidacije na račun višje temperature. Povzamemo lahko, da

ima višji AOP čips rdeče pese in korenja sušen vakuumsko pri 50 °C, kjer je zmanjšana oksidacija antioksidantov na račun vakuumu in nižjih temperatur.

Na podlagi opravljenih analiz MK smo v vzorcih čipsa rdeče pese dokazali prisotnost sledečih nasičenih MK: palmitinske, stearinske, arahidinske in nenasičenih MK: oleinske, linolne in linolenske MK. V čipsu korenja smo določili vse našete razen arahidinske MK. Delež nenasičenih MK je pri konvekcijskem in vakuumskem sušenju večji v primerjavi z deležem nasičenih MK, zaradi večjega deleža linolne MK. Pri tem smo ugotovili nižje deleže nasičenih MK pri čipsu korenja v primerjavi s čipsom pese, kjer so deleži nasičenih MK (palmitinske in stearinske MK) večji. Delež linolenske kisline, večkrat nenasičene MK, je večji pri sušenju v vakuumu, zaradi sušenja brez kisika in posledično manjše oksidacije. Glede večjih vsebnosti in deležev esencialnih in ostalih nenasičenih MK (linolna, linolenska in oleinska kislina) ima najboljšo prehransko vrednost čips rdeče pese 'Detroit' sušen vakuumsko pri temperaturah 40 in 60 °C, zaradi manjše oksidacije nenasičenih MK. Pri rdeči pesi 'Tondo di Chioggia' ima najboljšo prehransko vrednost vakuumsko sušen čips pri temperaturah 50 in 60 °C ter konvekcijsko sušen čips pri 50 °C. Med vzorci čipsa rdeče pese 'Forono' ima najboljšo prehransko vrednost vakuumsko sušen čips pri temperaturah 40 in 60 °C ter konvekcijsko sušen čips pri 50 °C. Med vsemi vzorci čipsa korenja je prehransko najboljši čips korenja sorte 'Rolanka', sušen vakuumsko pri vseh temperaturah sušenja (40, 50 in 60 °C).

Vsebnosti askorbinske kisline so večje pri vzorcih čipsa rdeče pese in korenja, sušenih pri 50 °C, in z višanjem temperature padajo. Vsebnosti askorbinske kisline so večje pri čipsu, izdelanem po vakuumskem postopku.

Pri vzorcih čipsa korenja smo določili znatno večje vsebnosti karotenoidov pri vakuumskem sušenju, zaradi odsotnosti kisika. Vsebnosti karotenoidov, še posebej α - in β -karotena, so večje pri temperaturi sušenja 50 °C, razen pri luteinu, kjer so vsebnosti večje pri 40 °C, zaradi manjše oksidacije pri nižjih temperaturah sušenja. β -karotena v naših vzorcih pesinega čipsa nismo determinirali, saj je bila pri vseh vzorcih čipsa rdeče pese vsebnost karotenoidov pod mejo detekcije.

Nižje vrednosti L^* (temnejši izdelek) smo določili pri vzorcih čipsa, sušenih pri 50 °C, zaradi manjše oksidacije barvil ali dodatno encimskih reakcij porjavenja. Vzrok porjavenja je lahko encimska oksidacija polifenolov in drugih občutljivih sestavin. Do encimskega porjavenja pride, če oksidacijski encimi prej niso bili uničeni. Temperature, pri katerih običajno sušimo živila, včasih niso zadostne, da bi uničile encime. Pri vakuumskem sušenju so vzorci čipsa svetlejši ($L^* = 50,98 \pm 20,07$) v primerjavi s konvekcijsko sušenimi vzorci ($L^* = 55,85 \pm 18,42$). Vakuumsko sušen čips rdeče pese in korenja ima večjo intenziteto rdeče barve (a^* vrednost) zaradi zmanjšane oksidacije in tako boljšega ohranjanja antocianinov in karotenoidov. Pri sušenju korenja je intenzivnost rumene barve

(b* vrednost) višja pri VS. Med karotenoidi so pri čipsu korenja večje vsebnosti β -karotena in α -karotena ter manjše vsebnosti luteina.

Trdota čipsa je manjša pri vakuumskem sušenju - sušenju z odparevanjem, kar je posledica manjše trdnosti strukture pri tem načinu odvzemanja vode iz živila. Enako je trdota vzorcev čipsa rdeče pese in korenja manjša pri višji temperaturi (60 °C), zaradi toplotne obremenitve.

Če povzamemo skupne senzorične ocene (barva, enakomernost površine, vonj, tekstura, okus, značilnost arome, obstojnost arome) sta najvišjo oceno (28,5 točk od možnih 30 točk) prejela čips rdeče pese 'Detroit', izdelan z VS pri temperaturi sušenja 60 °C in čips korenja 'Jeannete', izdelan z VS pri temperaturi sušenja 40 °C. V ta kakovostni razred odlične kvalitete so se razen pri 50 °C vakuumsko sušenem čipsu korenja 'Jeannete', uvrstili vsi ostali vzorci čipsa rdeče pese in korenja, izdelani z VS pri vseh treh temperaturah sušenja. Najboljšo oceno pri posamezni sorti rdeče pese in korenja pa so prejeli: vakuumsko sušen čips pese 'Detroit' pri 60 °C (28,5 točk) (slika 15), vakuumsko sušen čips pese 'Forono' pri 50 °C (28 točk) (slika 16) ter vakuumsko sušena čipsa korenja 'Jeannete' (28,5 točk) (slika 17) in 'Rolanka' pri temperaturi sušenja 40 °C (28 točk) (slika 18). Z najmanjšim številom točk pa sta se v razred zadovoljive kakovosti uvrstila čipsa rdeče pese 'Forono' (17,5 točk) (slika 16), izdelan s KS pri temperaturi sušenja 40 °C in čips korenja 'Jeannete' (19 točk) (slika 17), prav tako izdelan s KS pri temperaturi sušenja 40 °C.

Za izdelavo zelenjavnega čipsa rdeče pese in korenja je najboljši vakuumski način sušenja pri vseh treh temperaturah, še posebej pri temperaturi sušenja 50 °C. Skupni rezultati analiz so pokazali, da vakuumsko sušenje prispeva k manjši izgubi vode ter da ima vakuumsko sušen čips manjšo trdoto. Ugotovili smo, da so vakuumsko sušeni vzorci čipsa intenzivnejše rdeče ali rumene barve odvisno od vrste zelenjave, z višjim AOP, z več stearinske MK, večjim deležem oleinske in linolenske MK ter z večjo vsebnostjo α - in β -karotena. Senzorična ocena pa potrjuje hipotezo, da je vakuumsko sušen čips tudi senzorično bolje ocenjen kot čips, sušen v konvekcijskem sušilniku.

6.2. SUMMARY

The purpose of this master's thesis was the production of high-quality vegetable chips (beetroot and carrots) by using organically produced raw materials and drying method corresponding to proper technological practice of food-processing. In this way chips with highest possible sensory value and preservation of nutritional, bioactive substances is produced. This study will greatly contribute to higher quality of dried vegetable chips, with the emphasis on organically produced raw materials which have undergone different regimes of drying (convection or vacuum drying at different temperatures).

The main purpose of organic farming is to produce the most possible unpolluted natural resources. Namely, contaminants such as pesticide residues, nitrogen compounds, hormones, mycotoxins, plant growth regulators, chlorinated biphenyls, aromatic hydrocarbons, radioactive isotopes and heavy metals, by consumption of food, affect human health.

The study included a total of 30 different samples of chips: 18 different chips samples of organically produced three varieties of beetroot – 'Detroit', 'Tondo di Chioggia', 'Forono' and 12 different chips samples of organically produced two varieties of carrot – 'Jeannete' and 'Rolanka'. Carrot and beetroot samples were dried with a convection dryer and a vacuum dryer at the temperatures of 40, 50 and 60°C. The chips of beetroot and carrot were evaluated on the basis of water loss while drying, on the basis of chemical analyses determining the AOP with radical DPPH•, the content of ascorbic acid and carotenoids on HPLC and HPLC/MS systems, fatty acid composition on gas chromatography, discoloration, the firmness and strength of chips and sensory evaluation with point system.

Vacuum drying compared with the convectional one leads to a reduced loss of water in the chips, which is related to the time periods of drying. They were longer at convection drying. For each sort of a product, the combination of time-temperature drying has to be optimized separately. The drying time does not only depend on the temperature and type of drying, but also on the characteristics of the product which was dried. It was found out that water loss is smaller at the beetroot dried with a vacuum dryer and bigger at carrots dried in a convection dryer.

AOP values were determined higher in vacuum dried chips due to reduced oxidation. At beetroot chips the value of the AOP was twice higher than at carrot chips. The only exception is 'Tondo di Chioggia' beetroot chips where AOP values are the lowest since the fresh sample of this beetroot variety contains the smallest quantity of antioxidants. The minimum value of the AOP was determined at a temperature of 60°C drying due to increased oxidation caused by higher temperatures. We can conclude that carrots and beetroot chips dried under vacuum at 40 to 50°C have higher value of AOP due to reduced oxidation of the antioxidants caused by vacuum and lower temperatures.

On the basis of fatty acids analyses the presence of the following fatty acids was proven in the samples of beetroot chips: palmitic, stearic, arachidonic, oleic, linoleic and linolenic fatty acids. In the samples of carrot chips all the above mentioned fatty acids, except arachidonic, were proven. At convection and vacuum drying as a result of higher proportion of linoleic and linolenic fatty acid the value of unsaturated fatty acids is higher if compared with the value of saturated fatty acids. We determined lower proportions of saturated fatty acids at carrot chips if compared with beetroot chips where the proportions of saturated fatty acids (palmitic and stearic fatty acids) are higher. The proportion of

linolenic acid, polyunsaturated fatty acid, is higher at vacuum drying due to drying without oxygen and consequently lower oxidation. With respect to the higher values and proportions of essential and other unsaturated fatty acids (oleic, linoleic and linolenic) 'Detroit' beetroot chips dried in a vacuum at temperatures of 40 and 60°C have the best nutrition value due to lower oxidation of unsaturated fatty acids. At 'Tondo di Chioggia' beetroot chips vacuum-dried at temperatures 50 and 60°C and convection-dried chips at 50°C have the best nutrition value according to the value and proportion of essential and other unsaturated fatty acids. At 'Forono' samples of beetroot chips the chips vacuum-dried at temperatures 40 and 60°C and convection-dried at 60°C have the highest nutrition value according to the value and proportion of essential and other unsaturated fatty acids. According to the high value and proportions of essential and other unsaturated fatty acids, 'Rolanka' carrot chips, vacuum-dried at any temperature (40, 50, 60°C) is nutritionally the best.

Ascorbic acid content was higher at samples of beetroot and carrot chips which were dried at 50°C and it lowers with the rise of temperature. Due to reduced oxidation ascorbic acid content was higher at chips produced by the vacuum method.

At samples of carrot chips higher values of carotenoids were determined at vacuum drying due to the absence of oxygen. The values of carotenoids, especially α - and β -carotene, are higher at 50°C drying temperature, except at lutein where the values are higher at 40°C drying temperature due to lower oxidation at lower drying temperatures. β -carotene was not determined in our samples of beetroot chips. At all samples of beetroot chips the value of carotenoids was under the level of detection.

In chips samples dried at 50°C L^* values of chips (darker product) are determined lower because of enzymatic browning reaction and lower oxidation of pigments. At vacuum drying all samples of chips are lighter ($L^* = 50,98 \pm 20,07$) in comparison with convection-dried samples ($L^* = 55,85 \pm 18,42$). Vacuum-dried beetroot and carrot chips have higher intensity of red colour (a^* value) due to reduced oxidation and thus better maintenance of anthocyanins and carotenoids. At vacuum drying of carrot and beetroot the intensity of yellow colour (b^* value) is as high as at convection drying. In carrot chips the highest value of β -carotene was proven as well as a high value of α -carotene but the presence of lutein was determined in lower values.

The firmness and strength of chips are lower at a vacuum drying process by evaporation which is the consequence of lower strength at such a process of dewatering foods. The firmness and strength of beetroot and carrot crisp samples is lower at a higher temperature (60°C) due to the thermal load.

When comparing common sensory evaluations (colour, flatness, smell, texture, taste, characteristic aroma, aroma stability) the best grades among all samples of carrot chips (28,5 out of 30 points) were given to vacuum-dried beetroot chips 'Detroit', vacuum-dried at 60°C and carrot chips 'Jeannete' which was dried at 40°C. Also other beetroot and carrot chips samples, vacuum-dried at any of the three temperatures of drying go to the high quality category. The only exception is carrot chips 'Jeannete', vacuum-dried at 50°C. The best sensory evaluation was given to beetroot chips of 'Detroit' variety after vacuum drying at 60°C (28,5 points) (figure 15), to the vacuum-dried chips variety 'Forono' at a temperature of 50°C (28 points; figure 16) as well as to carrot chips of 'Jeannete' (28,5 points) (figure 17) and 'Rolanka' which were both vacuum-dried at 40°C (28 points) (figure 18). Beetroot chips of 'Forono' variety (17,5 points) (figure 16) and carrot chips of 'Jeannete' variety (19 points) (figure 17), both convection dried at 40°C, go to the medium quality category. Of all the chips samples analysed the above mentioned ones were given the lowest results at common sensory evaluation.

Final analysis results showed that when making vegetable beetroot and carrot chips, vacuum drying at any of the three temperatures, especially at 50°C, is the best type of drying. The analysis results proved that the vacuum drying contributes to a reduction in the loss of water and that the vacuum-dried chips have lower hardness. We found out that vacuum-dried samples of beetroot and carrot chips have more intense red or yellow colour (depending on vegetable sample), higher AOP, more stearic fatty acids, a larger proportion of linoleic fatty acids and more α - and β -carotene. Sensory evaluation confirms the hypothesis of the vacuum-dried chips as top rated if compared with the chips dried in a convection dryer.

7 VIRI

- Abram V. 2000. Antioksidativno delovanje flavonoidov. V: Antioksidanti v živilstvu. 20. Bitenčevi dnevi, Portorož, 26. in 27. oktober 2000. Žlender B., Gašperlin L. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 23–32
- Abramovič H. 2011. Antioksidanti in metodologija določanja antioksidativne učinkovitosti. Učbenik za izbirni predmet na interdisciplinarnem doktorskem študijskem programu Bioznanosti. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 112 str.
- Adu B., Otten L. 1996. Diffusion characteristics of white beans during microwave drying. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64: 61–70
- Allen J.C., Hamilton J.R. 1994. Rancidity in foods. London, Chapman&Hall: 54–72
- Amorim-Carrilho K.T., Cepeda A., Fente C., Regal P. 2014. Review of methods for analysis of carotenoids. *Trends in Analytical Chemistry*, 56: 49–73
- AOAC Official Method 966.06. Fat (total, saturated and monosaturated in foods). 1999. V: Official methods of analysis of AOAC International. Vol. 2. Cunniff P. (ed.). 16th ed. Gaithersburg, AOAC International, Chapter 41: 18–19
- Bižal A., Pavko A. 1987. Kemijsko inženirski praktikum. Ljubljana, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za kemijo in kemijsko tehnologijo: 38–49
- Brennan J.G. 2003. Drying. V: Encyclopedia of food sciences and nutrition. Vol. 3. 2nd ed. Caballero B., Trugo L.C., Finglas P.M. (eds.). London, Academic press: 1913–1961
- Brennan J.G. 1993. Drying. V: Encyclopaedia of food sciences: Food technology and nutrition. Vol. 3. Macrae R., Robinson R.K., Sadler M.J. (eds.). London, Academic press: 1457–1497
- Britton G. 1998. Overview of carotenoid biosynthesis. V: Carotenoids. Vol. 3. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. (eds.). Basel, Birkhäuser: 13–147
- Britton G., Khachik F. 2009. Carotenoids in food. V: Carotenoids. Vol. 5. Nutrition and health. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. (eds.). Basel, Birkhauser Verlag: 45–65

- Dastmalchi K., Dorman D., Košar M., Hiltunen R. 2007. Chemical composition and *in vitro* antioxidant evaluation of a water soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract. LWT - Food Science and Technology, 40: 239–248
- Drouzas A.E., Tsami E., Saravacos G.D. 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. Journal of Food Engineering, 39, 2: 117–122
- Earle R.L. 1983. Unit operations in food processing. 2nd ed. Oxford, Pergamon press: 37–69
- Fan L.P., Zhang M., Xiao G.N., Sun J.C., Tao Q. 2005. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. International Journal of Food Science and Technology, 40: 911–919
- Fernando W. J. N., Thangavel T. 1987. Vacuum drying characteristics of coconut. Drying Technology, 5, 3: 363–372
- Golob T., Jamnik M., Bertoneclj J., Doberšek U. 2005. Senzorična analiza: metode in preskuševalci. Acta agriculturae Slovenica, 85-1: 55–66
- Golob T., Bertoneclj J., Korošec M. 2012. Pomen prehranske vlaknine v prehrani človeka. Acta Agriculturae Slovenica, 99-2: 201–211
- Halliwell B. 1991. The biological toxicity of free radicals and other reactive oxygen species. V: Free radicals and food additives. Okezie I.A., Halliwell B. (eds.). London, Taylor and Francis: 37–49
- Hribar J., Simčič M. 2000. Antioksidanti v sadju in vrtninah. V: Antioksidanti v živilstvu. 20. Bitenčevi dnevi, Portorož, 26. in 27. oktober 2000. Žlender B., Gašperlin L. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 151–157
- Huang L., Zhang M. 2012. Trends in development of dried vegetable products as snacks. Drying Technology, 30: 448–461
- Huber M., Rembalkowska E., Srednicka D., Bugel S., van de Vijver L.P.L. 2011. Organic food and impact on human health: Assessing the *status quo* and prospects of research. NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences, 58: 103–109
- Ignatowitz E. 1996. Kemijska tehnika. Ljubljana, Jutro: 456 str.

- Jayaraman K.S., Das Gupta D.K. 1995. Drying of fruits and vegetables. V: Handbook of industrial drying. Vol. 1. 2nd ed. Mujumdar A.S. (ed.). New York, Marcel Dekker: 643–687
- Jordi Oliver J., Palou A. 2000. Chromatographic determination of carotenoids in foods. *Journal of Chromatography*, 881: 543–555
- Kač M., Vidrih R. 2000. Analitika antioksidantov. V: Antioksidanti v živilstvu. 20. Bitenčevi dnevi, Portorož, 26. in 27. oktober 2000. Žlender B., Gašperlin L. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 101–114
- Kalpna R., Mital K., Sumitra C. 2011. Vegetable and fruit peels as a novel source of antioxidants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5: 63–71
- Khachik F. 2009. Analysis of Carotenoids in Nutritional Studies. V: Carotenoids. Vol. 5. Nutrition and health. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. (eds.). Basel, Birkhauser Verlag: 7–16
- Khraisheh M.A.M., McMinn W.A.M., Magee T.R.A. 2004. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International*, 37, 5: 497–503
- Klofutar C., Šmalc A., Rudan-Tasič D. 1998. Laboratorijske vaje iz kemije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 182–282
- Kočevar Glavač N. 2013. Antioksidanti. V: Sodobna fitoterapija: z dokazi podprta uporaba zdravilnih rastlin. Kreft S., Kočevar Glavač N. (ur.). Ljubljana, Slovensko farmacevtsko društvo: 512–537
- Krokida M.K., Maroulis Z.B. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 10, 15: 1145–1155
- Krokida M.K., Maroulis Z.B. 2001. Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 5: 529–538
- Krokida M.K., Zogzas N.P., Maroulis Z.B. 1997. Modelling shrinkage and porosity during vacuum dehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 6: 445–458
- Krokida M.K., Tsami E., Maroulis Z.B. 1998. Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. *Drying Technology*, 16, 4: 667–685

- Kujala T., Loponen J., Pihlaja K. 2001. Betalains and phenolics in red beetroot (*Beta vulgaris*) peel extracts: extraction and characterization. *Zeitschrift für Naturforschung*, 56: 343–348
- Lenart A. 1996. Osmo-convective drying of fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. *Drying Technology*, 14: 2-10
- Lin T.M., Durance T.D., Scaman C.H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31, 2: 111–117
- Liu P., Zhang M., Mujumdar A. S. 2012. Comparison of three microwave-assisted drying methods on the physiochemical, nutritional and sensory qualities of re-structured purple-fleshed sweet potato granules. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 1: 141–147
- Louka N., Allaf K. 2004. Expansion ratio and color improvement of dried vegetables texturized by a new process controlled sudden decompression to the vacuum-Application to potatoes, carrots and onions. *Journal of Food Engineering*, 65: 233–243
- Modic R. 1978. Osnove kemijskega inženirstva: termične in difuzijske operacije. Maribor, DDU Univerzum: 131–148
- Moreira R.G., Da Silva P. F., Gomes C. 2009. The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 92: 297–304
- Mueller L., Boehm V. 2011. Antioxidant activity of β -carotene compounds in different *in vitro* assays. *Molecules*, 16: 1055–1069
- Nakajima J., Tanaka I., Seo S., Yamazaki M., Saito K. 2004. LC/PDA/ESI-MS Profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 16: 241–247
- National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. 2015. Full report (all nutrients): 11080. Beets, raw. Washington, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 4 str.
<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2863?fg=&manu=&lfacet=&format=Full&count=&max=35&offset=&sort=&qlookup=11080> (maj, 2015)

- Patil R.T., Berrios J.D., Tang J., Swanson B. G. 2007. Evaluation of methods for expansion properties of legume extrudates. *Applied Engineering in Agriculture*, 23, 6: 777–783
- Pfeifhofer H.W. 1989. Evidence of chlorophyll b and lack of lutein in *Neottia nidus-avis* plastids. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 184: 55-61
- Pfeifhofer H. W., Willfurth R., Zorn M., Kranner I. 2002. Analysis of chlorophylls, carotenoids and tocopherols in lichens. *Protocols in lichenology: Culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring*. Kranner I., Beckett R.P., Varna A.K. (eds.). Berlin, Springer-Verlag: 363-378
- Pečar S., Mravljak J. 2015. Šumi življenja ali radikali in druge reaktivne snovi v telesu. Ljubljana, Slovensko farmacevtsko društvo: 512–537
- Plestenjak A., Golob T. 2003. Analiza kakovosti živil. 2. izd. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 91–99
- Pokorny J. 2007. Antioxidants in food preservation. V: *Handbook of food preservation*. 2nd ed. Rahman M.S. (ed.). New York, Marcel Dekker: 259–285
- Prabhanjan D.G., Ramaswamy H.S., Raghavan G.S.V. 1995. Microwave assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 25, 2: 283–293
- Puupponen R., Hakkinen S.T., Aarni M., Suortti T., Lampi A., Eurola M., Piironen V., Nuutila A., Oksman-Caldentey K. 2003. Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 1389–1402
- Rakcejeva T., Galoburda R., Cude L., Strautniece E. 2011. Use of dried pumpkins in wheat bread production. *Procedia Food Science*, 1: 441–447
- Raw carrot. 2009. Soborg, National Food Institute – Technical University of Denmark (DTU): 2 str.
http://www.foodcomp.dk/v7/fcdb_details.asp?FoodId=0065 (maj, 2015)
- Referenčne vrednosti za vnos hranil. 2004. 1. izdaja. Ljubljana, Ministrstvo za zdravje Republike Slovenije: 39-42

- Rembialkowska E., 2004. The impact of organic agriculture on food quality. *Agricultura*, 3: 19–26
- Rodriguez Amaya D.B., 2010. Quantitative analysis, *in vitro* assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 726–740
- Rudan-Tasič D. 2000. Vitamin C, vitamin E in koencim Q10. V: *Antioksidanti v živilstvu*. 20. Bitenčevi dnevi, Portorož, 26. in 27. oktober 2000. Žlender B., Gašperlin L. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 39–51
- Rudan-Tasič D., Klofutar C. 2007. *Fizikalnokemijske metode v živilstvu*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 138–162
- Sagar V.R., Suresh Kumar P. 2010. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science Technology*, 47, 1: 15–26
- Saxby M.J. 1993. *Food taints and off-flavours*. London, Blackie academic&Professional: 260 str.
- Shivhare U. S., Orsat V., Vijaya Raghavan G.S. 2009. Vacuum frying technology. V: *Innovation in food engineering: New techniques and products*. Passos M.L., Ribeiro C. P. (eds.). New York, CRC Press: 411–436
- Slavov A., Karagyozev V., Denev P., Kratchanova M., Kratchanov C. 2013. Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments. *Czech Journal of Food Sciences*, 31: 139–147
- Sokhansanj S., Jayas D.S. 1995. Drying of foodstuffs. V: *Handbook of industrial drying*. Vol. 1. 2nd ed. Mujumdar A.S. (ed.). New York, Marcel Dekker: 589–625
- Souci S. W., Fachmann W., Kraut H. 2008. *Food composition and nutrition tables*. 7th ed. London, Taylor and Francis Group: 1364–1364
- Srichamnong W., Szrednicki G. 2015. Internal discoloration of various varieties of Macadamia nuts as influenced by enzymatic browning and Maillard reaction. *Scientia Horticulture*, 192: 180–186
- Stahl W., Sies H. 2003. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24: 345–351

- Storz G., Imlay J.A. 1999. Oxidative stress. *Current Opinion in Microbiology*, 2: 188–194
- Szultka M., Buszewska-Forajta M., Kaliszan R., Buszewski B. 2014. Determination of ascorbic acid and its degradation products by high-permance liquid chromatography-triple quadropole mass spectrometry. *Electrophoresis Journal*, 35: 585–592
- Tarhan S., Telci I., Tuncay T., Polatci H. 2010. Product quality and energy consumption when drying peppermint by rotary drum dryer. *Industrial Crops and Products*, 32: 420–427
- Udomkun P., Nagle M., Mahayothee B., Nohr D., Koza A., Muller J. 2015. Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 2: 914–922
- Uribe E., Marin D., Vega-Galveza A., Quisepe-Fuentes I., Rodriguez A. 2016. Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita* L.) as a source of natural antioxidants. *Food Chemistry*, 190: 559–565
- Vidrih R., Filip S., Hribar J. 2009. Content of higher fatty acids in green vegetables. *Czech Journal of Food Science*, 27, 1: 125–129
- Xu H.B. 1983. Biological Trace Element: Selenium. Wuhan, Press of Engineering College of Central China: 383–384
- Xu Y.Y., Zhang M., Tu D.Y., Sun J.C., Zhou L.Q., Mujumdar A.S. 2005. A two-stage convective air and vacuum freeze-drying technique for bamboo shoots. *International Journal of Food Science and Technology*, 40: 589–595
- Wang S., Tang J., Johnson J. A., Mitcham E., Hansen J. D., Hallman G., Drake S. R., Wang Y. 2003. Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. *Biosystems Engineering*, 85: 201–212
- Wu G. C., Zhang M., Mujumdar A.S., Wang R. 2010. Effect of calcium ion and microwave power on structural and quality changes in drying of apple slices. *Drying Technology*, 28, 4: 517–522

- Wruss J., Waldenberger G., Huemer S., Uygun P., Lanzerstorfer P., Muller U., Hoglinger O., Weghuber J. 2015. Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42: 46–55
- Zakipour E., Hamidi Z. 2011. Vacuum drying characteristics of some vegetables. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 30, 4: 97–105
- Zhang M., Li C.L., Ding X.L., Cao C.W. 2003. Optimization for preservation of selenium in sweet pepper under low-vacuum dehydration. *Drying Technology*, 21, 3: 569–579
- Zhang F., Zhang M., Mujumdar A.S. 2011. Effects of drying methods on drying characteristics and quality of re-structured wild cabbage chips. *Drying Technology*, 29: 682–688

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem odličnemu mentorju prof. dr. Rajku Vidrihu za sprotne preglede naloge, za pomoč pri senzoričnem ocenjevanju čipsa, za nova znanja s področja analitskih metod v živilstvu in za nepozabne mesece raziskovanja v laboratoriju. Brez vaše strokovne pomoči, vzpodbude in opore bi težko vztrajala do konca.

Zahvaljujem se tudi predstojniku prof. dr. Janezu Hribarju, ki je omogočil raziskovalno delo na Katedri za tehnologije, prehrano in vino, Oddelka za živilstvo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani, kjer je vedno vladalo prijetno delovno vzdušje. Zato tudi hvala vsem delavcem Katedre za tehnologije, prehrano in vino in Katedre za tehnologijo mesa in vrednotenje živil, ki so mi bili v času raziskovanja pripravljeni priskočiti na pomoč. Ob tem gre posebna zahvala ge. Saši Piskernik za nesebično strokovno pomoč v laboratoriju in ge. Lini Burkan Makivić za nasvete in oblikovni pregled naloge.

Iskrena hvala predsednici in članicama komisije za natančen pregled, popravke in oceno magistrskega dela.

Hvala doc. dr. Heleni Šircelj s Katedre za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko, Oddelka za agronomijo za pomoč pri analizah določanja karotenoidov, hvala doc. dr. Jasni Bertoncelj in doc. dr. Mojci Korošec s Katedre za tehnologijo mesa in vrednotenje živil, Oddelka za živilstvo za senzorično oceno čipsa in hvala prof. dr. Lei Demšar s Katedre za tehnologijo mesa in vrednotenje živil, Oddelka za živilstvo za pomoč pri statistični obdelavi podatkov raziskovalnega dela.

Hvala dr. Martinu Šali s Kemijskega inštituta Ljubljana, Laboratorija za analizo kemijo, za pomoč pri analizah določanja askorbinske kisline.

Hvala g. Tadeju Gajšku za pomoč pri sušenju in g. Sandiju Janši, direktorju podjetja Hrib d.o.o., ki je omogočil in finančno podprl poskuse vakuumskega sušenja. Enako hvala dr. Andreju Gregoriju za vse uvodne učne ure dela z vakuumskim sušilnikom.

Hvala za posluh do mojega raziskovalnega dela moji šefici, ravnateljici Biotehniškega centra Naklo, ge. Andreji Ahčin in direktorju Biotehniškega centra Naklo dr. Marijanu Pogačniku za moralno in finančno pomoč pri raziskovanju.

Zahvala naši laborantki ge. Ivani Grošelj za pomoč v živilskem laboratoriju Biotehniškega centra Naklo, ge. Poloni Teran za ekološko pridelano rdečo peso in korenje, dr. Nini Modrijan za oblikovni pregled ter ge. Sandri Žvagen za angleški pregled naloge.

Zahvala gre tudi sodelavcem in prijateljem za vsa strokovna in nestrokovna kramljanja in vzpodbudne besede.

Iskrena hvala mojim najbližjim, najboljšemu očetu, sestrama, izrednemu tustu za moralno in finančno podporo in Adrijanu za pomoč v pravih trenutkih. Srčna hvala moji mami in taščici, ki sta vedno z mano in vem, da bi bili ponosni name.

In navsezadnje velika zahvala mojemu Igorju in najinim trem fantom Martinu, Sebastjanu in Arneju za vso vzpodbudo in ker me ves čas podpirate, razumete in napolnujete s srečo in ljubeznijo.

PRILOGE

Priloga A: Korelacijski koeficienti ($P \leq 0,05$) med analiziranimi parametri čipsa

Annex A: Correlation coefficients ($P \leq 0,05$) between analyzed parameters of chips

[illegible]