

Fizikalno-kemijska svojstva kore bundeve sušene hibridnim i vakuum sušenjem

Lučić, Matea

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:700857>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerađivanja 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, prosinac 2023.

Matea Lučić

**FIZIKALNO-KEMIJSKA
SVOJSTVA KORE BUNDEVE
SUŠENE HIBRIDNIM I VAKUUM
SUŠENJEM**

Rad je izrađen u Kabinetu za procese pripreme hrane na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Marije Badanjak Sabolović, te u Laboratoriju za tehničku termodinamiku na Zavodu za procesno inženjerstvo uz pomoć mag. ing. Mirne Tadić.

PROJEKT- Hibridno sušenje i valorizacija biljnog prehrambenog otpada i nusproizvoda, IP-2019-04-9750 (HYDRYBY), Hrvatska zaklada za znanost, prof. dr. sc. Mladen Brnčić



ZAHVALA

Najveće hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i vjerovali u mene tijekom svih ovih godina. Hvala mojim sestrama i Domagoju za svu podršku i ljubav. Volim vas.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Kabinet za procese pripreme hrane

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Nutricionizam

Diplomski sveučilišni studij: Nutricionizam

FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA KORE BUNDEVE SUŠENE HIBRIDNIM I VAKUUM SUŠENJEM

Matea Lučić, univ. bacc. nutr.
0177055237

Sažetak: Cilj rada bio je ispitivanjem fizikalno-kemijskih svojstava utvrditi utjecaj procesa sušenja i optimalne uvjete sušenja kore bundeve. Sušenje je provedeno u vakuum sušari (tlak 10^3 Pa) i konvekcijskoj sušari uz primjenu mikrovalova (protok zraka 1,45 m/s; snaga mikrovalova 600 W/2 minute) (hibridno sušenje) pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C.

Osušenim uzorcima su određena neka fizikalna (boja, nasipna gustoća, veličina čestica, koeficijent rehidracije, kapacitet vezanja vode/ulja) i kemijska svojstva (ukupni fenolni spojeva, antioksidacijska aktivnost). Prema dobivenim rezultatima, najkraće vrijeme sušenja postignuto je vakuum sušenjem pri temperaturi 80 °C. Hibridnim sušenjem u uzorcima se postiže veći udio suhe tvari. Ukupna promjena boje uzoraka je veća pri višim temperaturama kod oba procesa sušenja. Uzorci osušeni hibridnim sušenjem imaju veću nasipnu gustoću, osim vakuum sušenog uzorka pri 70 °C (najveća nasipna gustoća). Bolja rehidracijska svojstva imaju uzorci sušeni hibridnim sušenjem. Kapacitet vezanja vode veći je kod uzoraka sušenih hibridnim sušenjem, a kapacitet vezanja ulja kod uzoraka sušenih vakuum sušenjem. Kapaciteti vezanja vode/ulja uglavnom rastu porastom temperature sušenja. Sadržaj ukupnih fenola je viši u uzorcima sušenim hibridnim, a antioksidacijska aktivnost u uzorcima osušeni vakuum sušenjem.

Ključne riječi: kora bundeve, vakuum sušenje, hibridno sušenje, boja, rehidracija, fenolni spojevi

Rad sadrži: 60 stranica, 15 slika, 20 tablica, 105 literaturnih navoda, 0 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Marija Badanjak Sabolović

Pomoć pri izradi: mag. ing. Mirna Tadić

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

- 1.prof.dr.sc. Mladen Brnčić (predsjednik)
- 2.izv.prof.dr.sc. Marija Badanjak Sabolović (mentor)
- 3.izv.prof.dr.sc. Filip Dujmić (član)*
- 4.izv.prof.dr.sc. Antonela Ninčević Grassino (zamjenski član)

Datum obrane: 19. prosinca 2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Engineering
Section for food preparation processes

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Nutrition

Graduate university study programme: Nutrition

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF PUMPKIN PEEL DRYED BY HYBRID AND VACUUM DRYING

Matea Lučić, univ. bacc. nutr.
0177055237

Abstract: The aim of this work is to determine the influence of drying process and the optimal drying conditions for pumpkin peel by analyzing physical and chemical properties of dried pumpkin peel. Drying was conducted in vacuum dryer (10^3 Pa) and convective air dryer with use of microwaves (power 600 W, 2 minutes) (hybrid drying) at 40, 50, 60, 70 i 80 °C.

In dried pumpkin peel samples some physical (color, bulk density, particle size, rehydration rate, water/oil binding capacity) and chemical properties (phenols content, antioxidant activity) were determined. According to obtained results, the shortest drying time was achieved in vacuum dryer at 80 °C. Dry matter is higher in pumpkin peel after hybrid drying. Total color difference is bigger at higher drying temperature (both drying processes). Hybrid dried samples have higher bulk density; exception is vacuum dried sample at 70 °C (the highest bulk density). Better rehydration ability showed hybrid dried samples. Higher water binding capacity have hybrid dried samples while higher oil binding capacity have vacuum dried samples. Water/oil binding capacity increased with increasing of drying temperature. Hybrid dried samples have higher total phenol content, and vacuum dried samples higher antioxidant activity.

Keywords: *pumpkin peel, vacuum drying, hybrid drying, color, rehydration, phenolic compounds*

Thesis contains: 60 pages, 15 figures, 20 tables, 105 references, 0 supplements

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in: The Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: Marija Badanjak Sabolović, PhD, Associate professor

Technical support and assistance: mag. ing. Mirna Tadić

Reviewers:

1. Mladen Brnčić, PhD, Full professor (president)
2. Marija Badanjak Sabolović, PhD, Associate professor (mentor)
3. Filip Dujmić, PhD, Associate professor (member)
4. Antonela Ninčević Grassino, PhD, Associate professor (substitute)

Thesis defended: December 19th, 2023

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. HOKKAIDO BUNDEVA (<i>Cucurbita maxima</i>).....	3
2.1.1. Podrijetlo i opće karakteristike bundeve.....	3
2.1.2. Kemijski sastav bundeve i utjecaj na zdravlje	5
2.1.3. Mogućnosti iskorištenja nusproizvoda bundeve.....	9
2.2. FIZIKALNA SVOJSTVA NUSPROIZVODA	10
2.3. SUŠENJE.....	13
2.3.1. Sušenje kao metoda konzerviranja.....	13
2.3.2. Mehanizmi sušenja.....	14
2.3.3. Vakuum sušenje	15
2.3.4. Hibridno sušenje primjenom mikrovalova i vrućeg zraka	15
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1. MATERIJAL	17
3.1.1. Udio pojedinih dijelova u korištenim bundevama	17
3.2. KEMIKALIJE	17
3.3. APARATURA	18
3.4. PRIBOR.....	18
3.5. METODE	19
3.5.1. Priprema uzorka	19
3.5.2. Proces sušenja	19
3.5.3. Određivanje suhe tvari	20
3.5.4. Određivanje boje	21
3.5.5. Određivanje nasipne gustoće	22
3.5.6. Određivanje raspodjele veličine čestica.....	22
3.5.7. Određivanje rehidracijskog omjera i koeficijenta rehidracije.....	23
3.5.8. Određivanje kapaciteta vezanja vode i ulja.....	24
3.5.9. Priprema ekstrakta uzoraka za određivanje fenolnih spojeva i antioksidacijske aktivnosti	25
3.5.10. Određivanje ukupnih fenolnih spojeva	25
3.5.11. Određivanje antioksidacijske aktivnosti	26
3.6. STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA.....	27
4. REZULTATI I RASPRAVA	28
4.1. BRZINA SUŠENJA KORE BUNDEVE.....	29
4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA SUHE TVARI	30

4.3.	REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE UZORKA	32
4.4.	REZULTATI ODREĐIVANJA NASIPNE GUSTOĆE	36
4.5.	REZULTATI ODREĐIVANJE VELIČINE ČESTICA.....	37
4.6.	REZULTATI ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA REHIDRATACIJE I REHIDRATACIJSKOG OMJERA	39
4.6.1.	Rezultati određivanja boje uzoraka nakon rehidracije	41
4.7.	REZULTATI ODREĐIVANJA KAPACITETA VEZANJA VODE I ULJA ...	43
4.8.	REZULTATI ODREĐIVANJA UKUPNIH FENOLA.....	45
4.9.	REZULTATI ODREĐIVANJA ANTIOKSIDACIJSKE AKTIVNOSTI	46
5.	ZAKLJUČCI.....	48
6.	LITERATURA.....	49

1. UVOD

Bundeva (*Cucurbita maxima*) je porijeklom iz Latinske Amerike, ali uzgaja se u velikoj mjeri u cijelom svijetu. Pripada obitelji *Cucurbitaceae*, a najznačajnije vrste iz te obitelji su *Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo* i *Cucurbita moschata*. Uvrštavanje bundeve u svakodnevnu prehranu može uveliko doprinijeti poboljšanju zdravlja jer je bundeva odličan izvor vitamina, minerala, antioksidansa i vlakana. Osim velikog udjela karotenoida, bundeva sadrži i niz drugih bioaktivnih spojeva poput flavonoida, polifenola, tanina i tokoferola koji imaju protuupalno, antioksidacijsko i antikancerogeno djelovanje (Kulczynski i Gramza-Michalowska, 2019).

Svjetska proizvodnja bundeve je u stalnom porastu čime raste i količina otpada nastalog od nusproizvoda bundeve. Količina pojedinog nusproizvoda ovisi o vrsti prerade bundeve. Primjerice, Hokkaido bundeva, korištena u ovom istraživanju, uglavnom se uzgaja za proizvodnju ulja od sjemenki, djelomično radi pulpe koja se koristi u prehrani pa tako kao glavni nusproizvod zaostaju značajne količine kore. Zbog dobrog nutritivnog sastava, kao i fizikalnih i kemijskih svojstava raste interes za njenim iskorištenjem (Hosen i sur., 2021).

Kora bundeve je bogat izvor antioksidansa kao što su askorbinska kiselina i tokoferol, a osim svojih antioksidacijskih svojstava, također može djelovati i kao prirodni konzervans zbog visokog sadržaja bioaktivnih spojeva, karotenoida i β -karotena. Nedavna istraživanja su pokazala da ekstrakti kore bundeve mogu inhibirati rast bakterija i gljivica, što ih čini prirodnom alternativom kemijskim konzervansima. Obzirom na kemijski sastav kora sadrži značajnu količinu vlakana, proteina i mineralnih tvari, a manje ugljikohidrata i lipida u usporedbi sa pulpom bundeve (Leichtweis i sur., 2023).

Poželjan kemijski sastav, ali i fizikalna svojstva kore bundeve potiču interes prehrambene industrije za upotrebu kore bundeve u sastavu ekstrudiranih grickalica, žitarica za doručak, kruha i pekarskih proizvoda kao zamjene za pojedino brašno ili u polugotovoj hrani koja se priprema jednostavno u nekoliko koraka dodavanjem vode i kuhanjem (Hussain i sur., 2022).

No zbog visokog udjela vlage kora je podložna kvarenju i zato se primjenjuju metode sušenja kako bi dobiveni osušeni proizvod bio prigodan za skladištenje i daljnju primjenu proizvoda u čijem sastavu je kora bundeve. Za dobivanje praha kore bundeve s poželjnim karakteristikama koji se može dalje primjenjivati u različitim proizvodima istražuju se različite metoda sušenja (Sharma i Bhat, 2021).

Stoga, cilj ovog rada bio je odrediti optimalne uvjete sušenja kore bundeve koristeći dva različita postupka sušenja, hibridnog sušenja (primjena mikrovalova i konvekcijskog sušenja) i

vakuum sušenja (pri tlaku 10^3 Pa) pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C. Optimalni uvjeti sušenja određeni su usporedbom krivulja sušenja te fizikalno-kemijskih svojstava osušene kore bundeve. Boja uzoraka (svježih, suhих, rehidratiranih) određena je kolorimetrom. Osušanim uzorcima kore bundeve određena je nasipna gustoća te veličina čestica, kapacitet vezanja ulja i vode, kao i sposobnost rehidracije osušениh uzoraka. Od kemijskih svojstava je određen ukupni sadržaj fenola te antioksidacijska aktivnost.

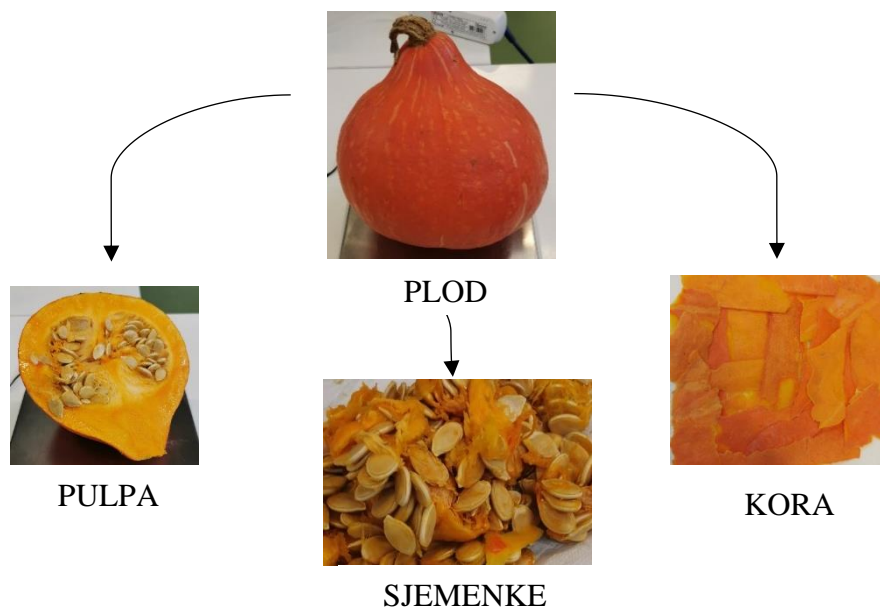
2. TEORIJSKI DIO

2.1. HOKKAIDO BUNDEVA (*Cucurbita maxima*)

2.1.1. Podrijetlo i opće karakteristike bundeve

Bundeva pripada rodu *Cucurbita* i obitelji *Cucurbitaceae*. Na temelju izgleda peteljke, oblika i teksture se dijeli se na 130 rodova i 800 vrsta, a najistaknutije vrste su *Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo* i *Cucurbita moschata* (Perez Gutierrez, 2016).

Bundeva je porijeklom iz Latinske Amerike i rasprostranjena je više od 10000 godina u Sjevernoj Americi i više od 500 godina u Europi. Procjenjuje se da svjetska proizvodnja bundeve iznosi oko 27 milijuna tona godišnje, a glavni je proizvođač Kina s 5,5 milijuna tona. U Europi je proizvodnja bundeve za konzumaciju veća od 4 milijuna tona. Povećana proizvodnja bundeve kao i njezina konzumacija je povezana sa rastućim interesom potrošača za unosom različitih nutrijenata i fitokemikalija putem adekvatne i uravnotežene prehrane što povećava konzumaciju bundeve i njenih prerađevina, ali i količinu nusproizvoda. Prerodom sjemenki bundeve nastaju nusproizvodi kore i pulpe, dok prilikom korištenja bundeve u kulinarstvu kao glavni nusproizvodi nastaju sjemenke i kora. Slika 1 prikazuje sve dijelove bundeve. Primjerice, nakon iskorištenja sjemenki (za dobivanje ulja) *Cucurbita maxima* bundeve nastaje 49 puta više nusproizvoda u odnosu na udio sjemenki. Udio pojedinih dijelova bundeve razlikuje se ovisno o vrsti. Prosječni udio sjemenki je 3,1-4,4 %, kore 2,6-16 % i pulpe 72-76 % (Ninčević Grassino i sur., 2023).



Slika 1. Prikaz ploda, pulpe, sjemenki i kore *Cucurbita maxima*, Hokkaido bundeva (*vlastite fotografije*)

Zbog razlike u veličini, obliku i boji bundeva se smatra najraznolikijim povrćem. Stapka *Cucurbita maxima* je cilindrična, mekana ili spužvasta, a plod je okrugao ili okruglo spljoštenog oblika. Boja ploda varira od sivo-bijele, žute, narančaste ili tamnozeleno, a pulpa je žuta ili narančasta. Pulpa zrele bundeve je mekana i nitasta, a sjemenke svijetlosmeđe do kremasto bijele boje te su spljoštenog ovalnog oblika (Benko, 2019).

Za klijanje sjemena bundeve nužna je temperatura viša od 16°C, a za najbolji prinos idealan temperaturni raspon je od 20 do 35 °C u uvjetima niske vlažnosti zraka (Hussain i sur., 2022). Najbolje ih je uzgajati u dobro dreniranom tlu, odnosno tlu koje odvodi vodu umjerenom brzinom i bez zadržavanja prevelike količine vode predugo, tijekom tople sezone. Masa zrelih bundeva varira od 1 do 10 kilograma. Tijekom skladištenja bundeve su osjetljive na toplinu koja može doprinijeti njihovom kvarenju (Hosen i sur., 2021). Stoga temperaturu prostora treba održavati oko 10 °C, a vlažnost od 60 do 80 %. Plodovi se ne smiju međusobno dodirivati i potrebno je osigurati dobru ventilaciju prostora u kojem se skladište (Vojnović, 2016).

Hokkaido bundeva je vrsta s tankom korom i narančastom pulpom, a potječe sa sjevernog japanskog otoka „Hokkaido“. Hokkaido bundeva je poznata pod mnogim različitim imenima, uključujući i naziv „kesten bundeva“ svog specifičnog orašastog okusa, dok je u Japanu poznatija pod nazivom „uchiki kuri“. Plodovi Hokkaido bundeve, jednogodišnje biljke iz porodice *Cucurbitaceae* su u obliku suze. Neke od najpopularnijih sorti Hokkaido bundeve su:

- Amoro, narančasta kora sa svijetlim prugama; oblik srca; visoki prinosi; rano sazrijevanje
- Blue Ballet, plavo-zelena kora; niži prinos aromatičnih plodova; srednje do kasno sazrijevanje
- Blue Kuri, poznat i kao Blue Hokkaido, deblja plavo-sivo kora; visoki prinosi; različitih veličina; rano sazrijevanje
- Green Hokkaido, tamnozeleno kora; dugi rok trajanja; kasno sazrijevanje
- Red Kuri, poznat i kao Uchiki Kuri, narančasta kora; manji plodovi; srednje kasno sazrijevanje

Plodove je poželjno ostaviti što dulje neubrane kako bi imali najbolje uvjete za potpuno sazrijevanje, ali zbog velike osjetljivosti na mraz, potrebno ih je ubrati prije prvih mrazova. Hokkaido bundeve su spremne za berbu 95 do 120 dana nakon sjetve, a dobar savjet za provjeru zrelosti je tapkanje po plodu. Tihi zvuk znači da je bundeva zrela, kao i drvenasta i suha stabljika, a kora tvrda na dodir. Vrijeme berbe je obično između rujna i studenog, a nakon berbe bundeve je potrebno ostaviti, najmanje 10 dana prije skladištenja, na otvorenom i u potpunosti

na suncu ili ako to nije moguće onda u stakleniku, polutunelu ili hladnom okviru kako bi se stvrdnula i na taj način bila spremna za skladištenje tijekom zime (Drew, 2023).

2.1.2. Kemijski sastav bundeve i utjecaj na zdravlje

Bundeva ima vrlo bogat nutritivni sastav koji se razlikuje ovisno o dijelu bundeve. Osim ploda, i drugi dijelovi biljke izvor su brojnih nutrijenata. Primjerice, svježe klice bundeve su dobar izvor spojeva s antioksidacijskim djelovanjem. Listovi, cvjetovi, sjemenke i pulpa sadrže također spojeve s antioksidacijskim djelovanjem koji imaju pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje zbog mogućnosti inhibicije slobodnih radikala i reaktivnih kisikovih spojeva u organizmu čime se smanjuje rizik od razvoja raka, kardiovaskularnih i neurodegenerativnih bolesti. Od svih dijelova biljke ipak se najčešće u različite svrhe upotrebljava plod, odnosno pulpa bundeve.

Bundeva je bogata ugljikohidratima i aminokiselinama, a osobito su značajne prisutne količine karotenoida, masnih kiselina kao što su oleinska i linolna te mineralnih tvari i vitamina E. Zbog prisutnih minerala, prvenstveno kalcija, kalija i natrija, bundeva je važna u prehrani starijih osoba u riziku od osteoporoze i hipertenzije. Od prisutnih vitamina u bundevi, uz vitamin E visoko su zastupljeni i vitamin C, vitamini B1, B3 i B6. Kora, pulpa i sjemenke su bogate fenolima, flavonoidima, karotenoidima i mineralnim tvarima (Hussain i sur., 2021).

Kako se plodovi bundeve razlikuju po obliku, veličini, boji i masi ovisno o mjestu i uvjetima uzgoja tako se razlikuju i po sastavu. Tablica 1 prikazuje energetska vrijednost kao i udjele hranjivih tvari u pojedinim dijelovima bundeve.

Tablica 1. Energetska vrijednost i hranjive tvari kore, pulpe i sjemenki bundeve (prema Amin i sur., 2019, USDA, Batool i sur., 2022)

HRANJIVA TVAR	KORA (vrijednost/100 g)	PULPA (vrijednost/100 g)	SJEMENKE (vrijednost/100 g)
energija	520,78 kJ	109 kJ	/
voda	89,527 mg	91,6 g	5,24 g
lipidi	1,650 mg	0,1 g	49,05 g
proteini	14,670 mg	1,0 g	30,23 g
pepeo	7,317 mg	0,8 g	4,76 g
vlakna	13,383 mg	0,5 g	6,01 g
ugljikohidrati	12,407 mg	6,5 g	3,45 g
ukupni šećeri	7,633 mg	2,76 g	/

Jezgre **sjemenki** su zelene, slatke, orašastog okusa i teksture maslaca, zbog čega se najčešće konzumiraju kao grickalice, a mogu se dodavati i u slana i u slatka jela te zbog svog visokog sadržaja lipida i proteina, odnosno sastava masnih kiselina i aminokiselina, sjemenke su obećavajuće za komercijalno iskorištavanje. Sjemenke bundeve sadrže velike količine ulja (37-45 %) i stoga najčešće služe za proizvodnju ulja. Sadržaj zasićenih masnih kiselina je 27,73 %, odnosno palmitinske kiseline (16,41 %) i stearinske kiseline (11,14 %), dok je udio nezasićenih masnih kiselina 73,03 % i sastoji se uglavnom od oleinske kiseline (18,14 %) i linolne kiseline (52,56 %) (Devi i sur., 2018). Osim toga, bogat su izvor i esencijalnih aminokiselina, čija prisutnost je vrlo značajna kada se sjemenke dodaju u složena jela jer doprinose i probavljivosti proteina (Achu i sur., 2015). Tablica 2 prikazuje udjele pojedinih aminokiselina u 100 g sjemenki bundeve.

Tablica 2. Udio aminokiselina (mg) u 100 g sjemenki bundeve (prema Apostol i sur., 2018)

AMINOKISELINA	UDIO AMINOKISELINA (mg) u 100 g SJEMENKI BUNDEVE
Valin	5,69
Histidin	2,84
Izoleucin	3,93
Leucin	7,32
Treonin	3,76
Metionin	2,26
Fenilalanin	5,10
Lizin	3,95

Sjemenke bundeve kao i bundevino ulje zbog svog sastava imaju izuzetno povoljno djelovanje na zdravlje ljudi (antioksidativna, antibakterijska i protuupalna djelovanja) čime postaju važne sirovine u prehrambenoj, ali i farmaceutskoj industriji (Amin i sur., 2020).

Pulpa bundeve dobar je izvor dijetalnih vlakana, osobito pektina (otprilike 4,7 g/ 100 g suhe tvari), koji usporava bolesti povezane s prehranom kao što je dijabetes (Bai i sur., 2020). Također, pektini imaju pozitivan utjecaj na rast dobrih bakterija u crijevima kao što su *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus brevis* te usporavaju rast loših bakterija kao što su *Escherichia coli* i *Clostridium perfringens* (Jun i sur., 2006). Pulpa bundeve sadrži značajne količine karotenoida i ugljikohidrata. Sadržaj beta karotena u prahu pulpe bundeve je veći nego u prahu kore i prahu sjemenki (Hussain i sur., 2022). Polisaharidi bundeve

pokazuju antioksidativno djelovanje i mogu se koristiti za razvoj nove funkcionalne hrane i lijekova. Zastupljenost pojedinih karotenoida, fenolnih spojeva, flavonola i tokoferola je prikazana u tablici 3 za nekoliko sorti Hokkaido bundeve.

Tablica 3. Sadržaj karotenoida, fenolnih spojeva i tokoferola u pulpi različitih sorti Hokkaido bundeve (*Cucurbita maxima*) (prema Kulczynski i Gramza-Michalowska, 2019)

		RED KURI	BLUE KURI	GREEN HOKKAIDO
KAROTENOIDI ($\mu\text{g} / \text{g}$)	zeaksantin	91,06 \pm 1,41	44,17 \pm 0,20	103,87 \pm 4,60
	lutein	130,23 \pm 1,30	149,42 \pm 2,77	239,38 \pm 8,48
	β -karoten	40,10 \pm 0,15	56,03 \pm 0,56	89,59 \pm 1,42
FENOLNE KISELINE ($\text{mg} / 100 \text{ g}$)	galna kiselina	8,05 \pm 0,03	8,88 \pm 0,08	6,90 \pm 0,05
	4-hidroksi-benzojeva kiselina	18,01 \pm 0,23	6,05 \pm 0,02	4,95 \pm 0,32
	vanilinska kiselina	6,88 \pm 0,04	7,04 \pm 0,13	6,41 \pm 0,01
	klorogenska kiselina	5,12 \pm 0,03	5,33 \pm 0,01	3,11 \pm 0,01
	kafeinska kiselina	48,92 \pm 0,02	42,38 \pm 0,01	18,97 \pm 0,08
	p-kumarinska kiselina	3,47 \pm 0,01	0,81 \pm 0,04	0,40 \pm 0,02
	ferulinska kiselina	28,90 \pm 0,02	18,96 \pm 0,10	6,87 \pm 0,02
	sinapska kiselina	19,08 \pm 0,02	10,01 \pm 0,02	21,58 \pm 0,02
	FLAVONOLI ($\text{mg} / 100 \text{ g}$)	rutin	8,07 \pm 0,01	12,10 \pm 0,03
ksempferol		28,94 \pm 0,07	15,09 \pm 0,01	6,20 \pm 0,02
izokvercetin		5,69 \pm 0,01	6,04 \pm 0,03	-
astragalin		-	15,35 \pm 0,03	-
miricetin		1,99 \pm 0,02	6,23 \pm 0,01	5,04 \pm 0,04
kvercetin		2,55 \pm 0,02	18,81 \pm 0,07	15,21 \pm 0,02
TOKOFEROLI ($\text{mg} / 100 \text{ g}$)	α -tokoferol	2,82 \pm 0,03	3,47 \pm 0,04	4,07 \pm 0,04
	γ -tokoferol	5,45 \pm 0,03	1,60 \pm 0,02	3,36 \pm 0,16

Kora bundeve smatra se otpadom prehrambene industrije, ali zbog prisutnih većih količina različitih nutrijenata postoji veliki potencijal za njeno iskorištenje. Od svih dijelova bundeve najmanje je istraživana. Neka nedavna istraživanja ukazuju da je kora različitih sorti bundeve bogata biološki aktivnim fitokemikalijama kao što su karotenoidi, fenolni spojevi i aminokiseline, te posjeduje specifične biološke aktivnosti (Gawel-Beben i sur., 2022).

Do sada provedena istraživanja o sastavu kore, pulpe i sjemenki bundeve su pokazala da kora i sjemenke sadrže više hranjivih sastojaka i fitokemikalija nego pulpa (Mishra i Sharma, 2019). Osim toga kora bundeve sadrži značajnu količinu vlakana, proteina i mineralnih tvari kao što su natrij, magnezij, kalij i željezo, a manje ugljikohidrata i lipida u usporedbi sa pulpom bundeve (Dhiman i sur., 2009). Udjeli pojedinih mineralnih tvari u kori bundeve prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Udio mineralnih tvari u kori bundeve (*prema Amin i sur., 2019*)

MINERALNE TVARI	UDIO MINERALNIH TVARI (mg) u 100 g KORE BUNDEVE
Kalcij	1,360
Željezo	4,004
Magnezij	3,353
Fosfor	1,419
Kalij	687,467
Natrij	9,652
Cink	0,150
Bakar	0,025

U tablici 5 prikazan je sastav svježe kore bundeve i nekoliko različitih uzoraka praha osušene kore bundeve i prema podacima se može vidjeti da sastav praha kore bundeve dosta varira vjerojatno zbog razlike u vrsti bundeve ili načinu dobivanja praha.

Tablica 5. Sastav kore bundeve i kore bundeve u prahu (*prema Hussain i sur., 2022*)

	VLAGA (%)	PEPEO (%)	MAST (%)	VLAKNA (%)	PROTEINI (%)
KORA BUNDEVE	75,68	1,12	0,87	2,24	1,65
KORA BUNDEVE U PRAHU	10,31	6,5	0,27	-	1,96
	7,23	6,04	-	13,91	12,3
	9,76	10,65	6,57	29,62	23,95
	5,96	0,41	5,77	-	23,89

Kora bundeve je bogata karotenoidima od čega je β -karoten je najzastupljeniji, a prisutan je u kori u većoj količini nego u drugim dijelovima bundeve. Ovisno o vrsti bundeve vrijednosti prisutnog β -karotena su između 39,48 mg/ kg i 123,19 mg/ kg. Osim β -karotena u kori je prisutan i β -kriptoksantin (Ninčević Grassino i sur., 2023).

U kori bundeve također su prisutni flavonoidi i druge fenolne tvari. Njihov sadržaj razlikuje se ponajprije o sorti bundeve. Gawel-Beben i sur. (2022) proveli su istraživanje s ciljem određivanja fenolnih sastojaka i antioksidacijske aktivnosti kore pet vrsta bundeva sorti *Cucurbita maxima* i *Cucurbita moschata*. Njihovi rezultati pokazali su da se ekstrakti kore bundeve značajno razlikuju u sadržaju fenolnih spojeva i prema antioksidacijskoj aktivnosti ovisno o sorti. Količina fenolnih spojeva u spomenutom istraživanju varirala je od $4,62 \pm 0,082$ - $17,59 \pm 0,124$ mg/GAE u gramu suhe tvari.

Također, kora bundeve bogata je pektinom, važnim strukturnim sastojkom biljnih staničnih

stijenki koji se često koristi u prehrambenoj industriji kao sredstvo za želiranje, zgušnjavanje i stabilizaciju raznih sustava. Sadržaj pektina u kori bundeve je 7 g pektina u 100 g kore što je čini vrlo dobrim izvorom pektina. Ekstrakcija i izolacija pektina inače se često provodi iz otpada prehrambene industrije kao što su pogača jabuka (10-15 % pektina u suhoj tvar), kora citrusa (25-35 % pektina u suhoj tvar) te šećerna repa (10-15 % pektina u suhoj tvari) (Baissise i sur., 2022).

Osim važne uloge pektina u prehrambenoj industriji, vrlo je važan i njegov utjecaj na zdravlje čovjeka. Pektin ima učinak na snižavanje kolesterola u krvi i glukoze te značajan učinak na rast poželjnih crijevnih bakterija.

2.1.3. Mogućnosti iskorištenja nusproizvoda bundeve

Rasipanje hrane je globalni problem koji izaziva sve veću zabrinutost. Procjenjuje se da oko 45% proizvedene hrane se gubi ili baca prije i nakon što stigne do potrošača, podjednako tijekom svih koraka u lancu opskrbe hranom. Glavni oblici otpada od voća i povrća su kora, komina, te mješavina sjemenki i kore i oni čine od 25 do 60 % ukupne mase voća i povrća, no najveći dio otpada na koru (Alabiden Tlais i sur., 2020). Kemijski sastav tih nusproizvoda upućuje na njihovu potencijalnu upotrebu u prehrambenoj industriji. Tako na primjer neke od najvažnijih kultura koje se uzgajaju su ujedno najveći proizvođači nusproizvoda voća i povrća. Na primjer svjetska godišnja proizvodnja jabuka za 2017. godinu je iznosila oko 83,1 milijuna tona, čija prerada stvara veliku količinu nusproizvoda koji se uglavnom sastoje od kore/pulpe (95%), sjemenke (2-4%) i peteljke (1%). Drugi primjer je proizvodnja banana koja se najviše proizvodi i konzumira diljem svijeta, gdje kora kao nusproizvod banane čini 30 do 40 % ukupne mase zrelog ploda. Od ostalih kulture kod kojih je uočena najveća količina kore kao nusproizvoda su nar, mango, avokado, citrusi i dr. Tako preradom bundeve nastaje velika količina poljoprivrednog otpada koja je veliko opterećenje za okoliš. Više je mogućnosti iskorištenja ovog otpada - proizvodnja energije, lijekova, hrane ili proizvoda za njegu kože (Brian, 2008).

Često je karakteristika nusproizvoda od hrane visok sadržaj bioaktivnih spojeva koji pokazuju određena poželjna funkcionalna svojstva te pozitivan utjecaj na zdravlje čovjeka (Alabiden Tlais i sur., 2020). Istraživanje koje su proveli Mishra i Sharma (2019) pokazalo je da kora i sjemenke bundeve sadrže više hranjivih tvari u odnosu na pulpu. Zbog toga se brašna pripremljena od kore bundeve dodaju proizvodima poput kruha, keksa, kolača i žitnih pločica poboljšavajući njihovu nutritivnu vrijednost te fizikalna i senzorska svojstva (George i Saewan,

2020).

Tvari sa antioksidacijskim djelovanjem, prisutne u kori bundeve, mogu zaustaviti ili odgoditi oksidacijske procese pa se dodaju proizvodima s većim udjelom masti čime im se značajno može produžiti rok trajanja. Budući da su istraživanja pokazala potencijalno kancerogeno djelovanje sintetskih antioksidanasa kao što su butil hidroksitoluen (BHT), butilirani hidroksianizol (BHA) i tercijarni butil hidrokinon (TBHQ) koji se obično koriste za konzerviranje masti i ulja, alternativni izvori prirodnih antioksidanasa, kao što je i kora bundeve, postaju zanimljivi za daljna istraživanja (Sathiya Mala i Kurian, 2016).

Brašno kore, dijela pulpe i sjemenki bundeve može pomiješati na primjer sa kukuruznom krupicom u proizvodnji ekstrudiranih grickalica (Hussain i sur., 2022). Također, može se iskoristiti za ishranu stoke jer bioaktivne tvari prisutne u otpadu imaju pozitivan utjecaj na nutritivni sastav mesa, mlijeka i jaja (Valdez-Arjona i Ramírez-Mella, 2019). Upravo visok sadržaj α -tokoferola i β -karotena u kori i pulpi su ključni za kvalitetu mesa (Kim Young i sur., 2012). α -tokoferol odgađa oksidaciju lipida i sprječava gubitak boje mesa te mu produžuje rok trajanja (Decker i Park, 2010). U istraživanju provedenom na mliječnim kravama, uočeno je da uključivanje 12 % -17 % silaže *Cucurbita maxima* u ishranu znatno povećava sadržaj α -tokoferola, β -karotena, luteina i violaksantina u mlijeku (Halik i sur., 2018). Ishrana kokoši nusproizvodima bundeve (kora) stabilizirala je višestruko nezasićene masne kiseline žumanjka zbog više razine antioksidansa što može produžiti rok trajanja jaja i izbjeći užegli miris (Surai i Sparks, 2001).

Organski otpad nastao preradom bundeve mogao bi se iskoristiti za proizvodnju bioplina (Sagagi i sur., 2009), a fitokemikalije izolirane iz otpada bundeve za uvođenje bundeve na tržište farmaceutske industrije (Hussain i sur., 2022).

Novim inovativnim tehnologijama mogu se ekstrahirati i izolirati razni biološki aktivni sastojci bundevinih frakcija te ih nadalje koristiti u razvoju brojnih prehrambenih proizvoda s povećanom nutritivnom vrijednošću.

2.2. FIZIKALNA SVOJSTVA NUSPROIZVODA

Da bi se omogućila daljnja upotreba nusproizvoda u prehrambenoj, farmaceutskoj industriji ili za neke druge svrhe, potrebno je utvrditi kvalitetu nusproizvoda i odrediti niz njihovih fizikalno-kemijskih svojstava kako bi se dobio uvid o mogućim primjenama, uvjetima skladištenja, obrade i slično.

Sušenje je jedan od temeljnih industrijskih procesa kojim se uklanjanjem vode iz namirnica

produljuje rok trajanja i inhibira rast mikroorganizama. Proizvod se ovim postupkom konzervira, a posljedično se tijekom postupka smanjuju masa i volumen proizvoda što utječe i na smanjenje troškova skladištenja i transporta (Hussain i sur., 2022).

Prahovi dobiveni sušenjem su sastavni dio mnogih proizvoda, uključujući instant juhe, ekstrudirane proizvode, dječju hranu, kolače, gotove napitke u prahu, stoga izbor optimalne metode sušenja može doprinijeti dobivanju najkvalitetnijih prahova (Politowicz i sur., 2018). Kvalitetu praha određuju fizikalno kemijska svojstva osušenog uzorka u usporedbi sa svježim, a ta svojstva se procjenjuju nizom metoda koje su navedene dalje u tekstu.

Suha tvar jedan je od najvažnijih pokazatelja kvalitete kemijskog sastava proizvoda i utječe na stabilnost proizvoda. Ovisno o vrsti i kultivaru, količina suhe tvari u proizvodima bundeve varira (Kulaitiene i sur., 2014). Određuje se sušenjem u sušioniku do konstantne mase. Prilikom proizvodnje prahova, suha tvar, odnosno sadržaj vlage, utječe i na druga svojstva praha kao što je nasipna gustoća i topljivost.

Boja je psihofizičko svojstvo pa boju istog uzorka različiti promatrači različito percipiraju. Kako je promjena boje ključna u procesima proizvodnje, u fazi razvoja i istraživanja, kontroli kvalitete i kontroli kvalitete proizvodnje, potrebno je eliminirati utjecaj promatrača. Stoga se kolorimetrija kao znanost bavi matematičkim opisom boje na osnovu mjerenja s mjernim uređajima. Kolorimetri omogućuju vizualno uspoređivanje jakosti boje uzorka poznate i nepoznate koncentracije (Marušić, 2019).

CIE Lab sustav boja se još zove i $L^*a^*b^*$ sustav boja, a definirala ga je Međunarodna komisija za osvjetljenje (CIE) 1976. godine. Ovaj sustav opisuje boju pomoću tri vrijednosti, odnosno pomoću tri parametra. Parametar L^* odnosi se na perceptivnu svjetlinu, dok su parametri boje a^* i b^* mjera za četiri jedinstvene boje ljudskog vida - crvenu, zelenu, plavu i žutu. Parametar L^* predstavlja svjetlinu uzorka (od crne do bijele) na ljestvici od 0 do 100, gdje negativan L^* pokazatelj da je ispitivani uzorak tamniji od standarda, a pozitivan L^* pokazatelj da je svjetliji od standarda. Negativan parametar boje a^* je pokazatelj da je ispitivani uzorak zeleniji od standarda, dok je pozitivan parametar a^* pokazatelj da je uzorak crveniji od standarda. Negativan parametra boje b^* govori da je ispitivani uzorak plaviji od standarda, a pozitivan b^* je pokazatelj da je uzorak žući od standarda.

Nasipna gustoća ovisi o veličini, obliku i površinskim svojstvima čestica, a računa se kao omjer mase i volumena koji zauzme suhi materijal u graduiranom cilindru. Nasipna gustoća uvijek je povezana s još jednim važnim fizikalnim svojstvom-veličinom čestica. Manje čestice materijala (glatke i ujednačene površine) zbog veće kontaktne površine s okolinom (manje praznog prostora između čestica) imaju veću nasipnu gustoću. Prema tome, manja nasipna

gustoća materijala će imati veći volumen pakiranja za istu masu materijala (Roongruangsri i Bronlund, 2016). Na nasipnu gustoću utječe i sadržaj vlage. Kod većeg sadržaja vlage u materijalu dolazi do međusobnog ljepljivosti čestica i stvaranja slobodnog prostora među česticama čime se povećava nasipni volumen.

Veličina čestica je jedno od najvažnijih fizikalnih svojstava prahova jer utječe na način rukovanja, transporta i skladištenja proizvoda. No najveći utjecaj veličine čestica je na stabilnost funkcionalnih komponenti koje su osjetljive na uvjete okoliša (Shi i sur., 2013). Manja veličina čestica znači veću površinu izloženosti vanjskim utjecajima i samim time povećanu razgradnju osjetljivih spojeva (Ferrari i sur., 2013).

Rehidracija sušenog materijala ukazuje na oštećenja materijala uzrokovanog sušenjem ili tretmanom koji prethodi sušenju. Rehidracija osušenih biljnih uzoraka se sastoji od tri faze, a to su upijanje vode u osušeni materijal, bubrenje i ispiranje otopljenih tvari. Ovo svojstvo je izuzetno važno jer se većina dehidriranih proizvoda rehidratira tijekom upotrebe (Krokida i Marinos-Kouris, 2003).

Kapacitet vezanja vode je važno fizikalno i funkcionalno svojstvo sušenog materijala. Može imati jako velik utjecaj na svojstva hrane tijekom proizvodnje, obrade i skladištenja (Appiah i sur., 2011). Vezanje vode jedno je od osnovnih svojstava praha bundeve koje može povećati mogućnosti njegovog korištenja kao zgušnjivača tekuće ili polutekuće hrane kao što su umaci i juhe. Bundeve sadrži visok udjel netopivih vlakana kao što su celuloza, hemiceluloza, pektin i lignin koja imaju dobru sposobnost apsorpcije vode. Stoga će korištenje bundevinog praha poboljšati stabilnost prehrambenog proizvoda, upravo zbog specifičnog kemijskog sastava, gdje zbog prisutnosti hidrofilnog pektina dolazi do upijanja vode i bubrenja. Sadržaj pektina bundeve veći je nego u žitarica i mahunarki i samim time je i njihov kapacitet vezanja vode veći (Păucean i Man, 2014).

Zajedno sa kapacitetom vezanje vode, **kapacitet vezanja ulja** praha bundeve smatra se kritičnim parametrom u kontroli kvalitete proizvoda. Upravo zadovoljavajući kapacitet vezanja vode i ulja praha bundeve ga čini prikladnim alternativnim emulgatorom (Roongruangsri i Bronlund, 2016). Nyam i sur. (2013) su dokazali da je visoki postotak netopivih vlakana u prahu kore, u usporedbi s prahom pulpe bundeve, razlog za njegov veći kapacitet vezanja ulja.

2.3. SUŠENJE

2.3.1. Sušenje kao metoda konzerviranja

Sušenjem se produljuje rok trajanja proizvoda te im se smanjuju volumen i masa. Postupak podrazumijeva uklanjanje vode iz hrane čime se smanjuje rast mikroorganizama kao i aktivnost enzima te se sušenje danas smatra jednim od najvažnijih tehnoloških postupaka. Sušenjem se gubi dio vode iz čvrste tvari i tako dolazi do smanjenja vlažnosti na površini, a radi nastale razlike u koncentraciji, voda difundira iz unutrašnjosti prema površini. Brzina hlapljenja vode s površine ovisi o brzini gibanja zraka oko materijala, kao i o vrsti veze između materijala i vode. Upravo zato je važno dobro poznavati kemijski sastav i fizikalnu strukturu namirnice koja se suši. Voda u hrani može biti prisutna u obliku slobodne i vezane vode. Slobodna voda je vezana slabim vezama na određene sastojke hrane i to bi bila voda koja se nalazi u gelovima, voda u kojoj su druge tvari otopljene, suspendirane, disperzirane molekularno, koloidno ili kao emulzija ili slobodna voda može biti prisutna na površini hrane i nije direktno dio proizvoda jer dolazi izvana. Vezana voda je ona koja je čvrsto vezana na određene sastojke hrane, odnosno može biti vezana vodikovim vezama na polarne sastojke hrane kao što su proteini i ugljikohidrati, može biti kemijski vezana voda na solima, kao hidrat te voda koja se nalazi u kapilarnim prostorima.

Sušenje obuhvaća istovremeni prijenos mase i energije (topline), a brzina sušenja nije u svim fazama procesa sušenja jednaka. Postupkom sušenja treba upravljati na način da se osigura konstantna difuzija vode iz unutrašnjosti prema površini. U slučaju neujednačene difuzije dolazi do stvaranja korice na površini materijala što otežava daljnje sušenje, a konačni proizvod neće biti u potpunosti osušen i kao takav će imati narušena senzorska i fizikalno-kemijska svojstva. Također može doći i do bržeg mikrobiološkog kvarenja. U svrhu sprečavanja mikrobiološkog kvarenjem predlaže se površinska vlažnost uzorka <10 % (Zambrano i sur., 2019).

Sušenje koje se primjenjuje u prehrambenoj industriji se provodi u kontroliranim uvjetima, ali i dalje uzrokuje strukturne i kemijske promjene koje utječu na kvalitetu gotovog proizvoda. Tijekom sušenja može doći do gubitka sastojaka visoke vrijednosti i zato je jako važno odrediti optimalne uvjete sušenja. Ključno je u što kraćem vremenu ukloniti vodu, a prilikom tog procesa svesti na minimum negativan utjecaj temperature sušenja na okus, boju i teksturu namirnice (Režek Jambrak i sur., 2010).

2.3.2. Mehanizmi sušenja

Obzirom na način prijenosa energije odnosno topline razlikuje se konvekcijsko sušenje plinovitim medijem (najčešće se radi o zraku) koji je u izravnom kontaktu s materijalom, zatim kondukcijsko sušenje pri kojem je materijal u kontaktu sa zagrijanom čvrstom površinom te zračenje koje podrazumijeva sušenje toplinom koja nastaje unutar materijala koji je izložen zračenju (Seader i Henley, 2006).

Konvekcijsko sušenje se najčešće upotrebljava zbog povoljne cijene i jednostavne izvedbe. Strujanjem vrućeg zraka prilikom konvekcijog sušenja, namirnica se zagrijava unutar komore za sušenje, a voda se uklanja u obliku vodene pare. Prilikom dugotrajnog izlaganja namirnice vrućem zraku, dolazi do oksidacije pojedinih sastojaka što rezultira promjenom boje, teksture, oblika i arome namirnice. No, kako bi se poboljšala kvaliteta osušenog proizvoda, konvekcijsko sušenje se kombinira s drugim metodama kao što je na primjer vakuum sušenje (Radojčin i sur., 2021). Najpoznatije metode sušenja u vakuumu su konvencionalno vakuum sušenje, mikrovalno vakuum sušenje te sušenje zamrzavanjem u vakuumu (Marelja i sur., 2020).

Kondukcijsko sušenje doprinosi boljoj kvaliteti okusa, teksture i izgleda namirnice kao i boje namirnice. Kod sušenja kondukcijom vlažni uzorak se stavlja na termo policu te se dovodi direktno u kontakt s ogrjevnom površinom te se na taj način pospješuje uklanjanje vlage iz obrađivanog materijala. Ovakvim sušenjem dolazi do fizikalno-kemijskih promjena uzrokovanih izmjenom topline, ali i kemijskim reakcijama. Glavni cilj kondukcijskog sušenja je dobivanje proizvoda bolje kvalitete i bolje probavljivosti (Matin, 2012).

Sušenje **zračenjem**, na primjer infracrvenim zračenjem djeluje na principu prijenosa elektromagnetske energije koja prodire kroz hranu i pretvara se u toplinu. Zbog nehomogenosti namirnice dolazi do različite apsorpcije zračenja te sušenje može biti kompleksno i nejednako, zato je bitno da namirnica koja se suši bude u što tanjem sloju pa se takvo sušenje češće koristi kod filmova, boja, premaza, papira, a u manjoj mjeri kod prehrambenih proizvoda (Dujmić, 2013).

Često se s ciljem kraćeg vremena sušenja i manje potrošnje energije, a uz zadržavanje visoke kvalitete sušenog materijala može se koristiti i hibridno sušenje. Hibridno sušenje je kombinirani postupak sušenja u kojem se iskorištava sinergijski učinak višerazličitih postupaka sušenja.

2.3.3. Vakuum sušenje

Vakuum sušenje se odvija pri sniženom tlaku i sniženoj temperaturi vrelišta vode čime se postiže očuvanje toplinski osjetljivih nutritivnih sastojaka hrane, kao i senzorskih svojstava, posebno boje. Sušenje pri tlaku nižem od atmosferskog tlaka ima višestruke prednosti prilikom sušenja toplinski osjetljivih uzoraka. Sušenjem takvih uzoraka pri atmosferskom tlaku i višim temperaturama, toplinski nestabilne tvari bi se razgradile, a ako bi se proces odvijao pri nižim temperaturama sušenje bi trajalo dulje (Marelja i sur., 2020). Prilikom vakuum sušenja smanjena je i koncentracija kisika što osigurava bolju oksidacijsku stabilnost uzorka koji se suši. Također, uzorci osušeni u vakuumu brže se i bolje rehidriraju zbog poroznije strukture. Nedostaci vakuum sušenja su relativno visoki troškovi radi kompleksnosti uređaja koji se koriste. Nužno je održavanje niskog tlaka u vakuum komori za što su dodatno potrebne vakuum pumpe. Prijenos topline u vakuum sušari se provodi najčešće radijacijom topline infracrvenim grijačima i kondukcijom gdje se toplina prenosi preko zagrijane plohe i sušenje je ograničeno površinom te plohe, a rjeđe konvekcijom gdje se uzorak zagrijava strujanjem vrućeg zraka ili inertnog plina (Arevalo-Pinedo i sur., 2006).

2.3.4. Hibridno sušenje primjenom mikrovalova i vrućeg zraka

Sušenje vrućim zrakom je izrazito učinkovita metoda očuvanja lako kvarljivih proizvoda, osobito onih sa velikim udjelom vode. Strujanjem vrućeg zraka proizvod prolazi nekoliko faza promjene sadržaja vode, odnosno slijede razdoblje zagrijavanja, razdoblje konstantne brzine sušenja i jedno ili više razdoblja pada brzine sušenja. Takvo sušenje isključivo protokom suhog zraka traje dugo i ima nisku energetska učinkovitost, najviše izraženu tijekom razdoblja pada brzine sušenja jer dolazi do brzog smanjenja površinske vlažnosti uzorka te skupljanja uzorka, a to rezultira smanjenim prijenosom vlage i ponekada i smanjenim prijenosom topline. Osim toga dugotrajno sušenje vrućim zrakom može dovesti do pada u kvaliteti svojstava kao što su boja i okus, a gube se i određene hranjive tvari. Jako skupljanje također smanjuje nasipnu gustoću i kapacitet rehidratacije.

Primjenom mikrovalova u kombinaciji sa vrućim zrakom potrebno je kraće vrijeme sušenja i poboljšana je kvaliteta osušenog proizvoda. Trenutne primjene ovakvog kombiniranog sušenja ograničene su na manji broj kategorija voća i povrća zbog visokih početnih troškova i zahtjevnije opreme u usporedbi s klasičnim konvekcijskim sušenjem. Samo sušenje mikrovalovima pokazalo je nedostatke kao što su neravnomjerno zagrijavanje, narušavanje teksture i ograničeno prodiranje samih mikrovalova u proizvod. Kombinacijom konvekcijskog

sušenja s mikrovalovima navedeni nedostaci mogu prevladati (Zhang i sur., 2006).

Mikrovalovi su u izravnoj interakciji s polarnim molekulama vode radi stvaranja topline i na taj način mikrovalovima potpomognuto sušenje smanjuju vrijeme sušenja (Schiffmann, 1992) te hibridno mikrovalno konvekcijsko sušenje može poboljšati kvalitetu proizvoda (Feng i Tang, 1998). Postoje tri metode u kojima se mikrovalovi mogu kombinirati sa sušenjem vrućim zrakom, a to su primjenom mikrovalova na početku procesa dehidracije, primjenom mikrovalova kada brzina sušenja krene padati i primjenom mikrovalova u razdoblju ili razdobljima padajuće stope ili pri niskom sadržaju vlage kako bi se završno sušenje olakšalo (Feng i sur., 2001).

Kao i kod drugih metoda kombiniranog sušenja, vrlo su važni redoslijed kombinacije, vrste te točka konverzije kombiniranog procesa koji je povezan s mikrovalovima, a različita fizikalna i kemijska svojstva različitog voća i povrća su razlog eksperimentalnom određivanju optimalnih kombinacija redoslijeda, vrste i točke pretvorbe (sadržaj vlage ili vrijeme sušenja) iz jedne metode sušenja u drugu (Zhang i sur., 2006).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJAL

Za potrebe ovog istraživanja korištena je Hokkaido bundeva (*Cucurbita maxima*) nabavljena izravno od proizvođača (Exotic king, Šulog d.o.o., Donja Bistra). Do upotrebe bundeva je skladištena u hladnoj i tamnoj prostoriji.

3.1.1. Udio pojedinih dijelova u korištenim bundevama

Prosječna masa bundeve korištene u ovom istraživanju je $2262,61 \text{ g} \pm 418,06 \text{ g}$, masa pulpe $1800,21 \text{ g} \pm 450,95 \text{ g}$, sjemenke $350,05 \text{ g} \pm 72,46 \text{ g}$ i kore $112,35 \text{ g} \pm 9,44 \text{ g}$. Tablica 6 prikazuje mase Hokkaido bundeva koje su se koristile u ovom istraživanju, kao i pojedinačne mase pojedinih frakcija bundeve (sjemenki, kore i pulpe). Prosjek njihovih masenih udjela je za pulpu 79,56 %, sjemenke 15,47 % i koru 4,97 %.

Tablica 6. Mase cijelih i pojedinačnih dijelova bundeva korištenih u istraživanju (g)

MASA BUNDEVE (g)	PULPA (g)	SJEMENKE (g)	KORA (g)
1954,35	1534,78	306,67	112,90
1855,71	1329,95	416,41	109,35
1937,11	1454,81	382,29	100,01
1946,01	1336,21	509,14	100,66
1789,26	1342,67	343,54	103,05
2535,92	2064,64	355,61	115,67
2764,77	2325,09	321,84	117,84
2929,18	2510,02	304,71	114,45
2590,08	2148,53	311,15	130,4
2323,67	1955,39	249,15	119,13

3.2. KEMIKALIJE

Za provođenje analiza u ovom radu korištene su slijedeće kemikalije:

- Etanol 96 % (Kemika, Zagreb, Hrvatska)
- Metanol (Kemika, Zagreb, Hrvatska)
- Folin-Ciocalteu reagens (Supelco, Njemačka)
- Na_2CO_3 (Kemika, Zagreb, Hrvatska)
- DPPH (Sigma-Aldrich, SAD)

3.3. APARATURA

Niže navedeni uređaji korišteni su pri izradi diplomskog rada:

- Hibridna konvekcijska sušara s mikrovalovima (Estherm, Hrvatska)
- Kondukcijska vakuum sušara VO200 PM200 (Mettler GmbH + Co. KG, Njemačka)
- Analitička vaga (Kern, ABS)
- Tehnička vaga (Sartorius Croatia, Libra Elektronik)
- Sušionik (Instrumentaria, Zagreb, Hrvatska)
- Ultrazvučna vodena kupelj (Elmasonic P 300 H, Elma-Hans Schmidbauer GmbH & Co., Njemačka)
- Kolorimetar (Lovibond LC 100 Spectrocolorimeter & SV 100 Kit, Ujedinjeno Kraljevstvo)
- Vorteks (Metron, Zagreb, Hrvatska)
- Uređaj za centrifugiranje (Domel, Centric 250)
- Uređaj za mjerenje raspodjele veličine čestica (Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer, Malvern instruments, Worcestershire, Ujedinjeno Kraljevstvo)

3.4. PRIBOR

Za provođenje analiza navedenih u radu korišten je i slijedeći pribor:

- Aluminijske posudice
- Automatske pipete
- Eksikator sa silika gelom
- Erlenmayerove tikvice
- Falcon kivete
- Filter papir
- Menzure
- Pinceta
- Staklene čaše, lijevci, štapić
- Sito
- Odmjerna tikvica
- Epruvete

3.5. METODE

3.5.1. Priprema uzorka

Na dan provođenja sušenja, bundeva je oprana vodom i obrisana ubrusom. Nakon vaganja se razdvajaju sjemenke, pulpa i kora i svi dijelovi su zasebno ponovno izvagani. Kora bundeve se zatim guli (debljina kore otprilike 0,2 cm) i dodatno usitnjava uz pomoć sjeckalice. Potom slijedi sušenje kore bundeve u konvekcijskoj sušari s mikrovalovima te u vakuum sušari uz određene parametre temperature, protoka zraka i vakuuma.

3.5.2. Proces sušenja

Usitnjena kora bundeve suši se u konvekcijskoj sušari s mikrovalovima (hibridno sušenje) prikazanoj na slici 2. Sušenje se provodi tako da se na početku sušenja uzorak obradi mikrovalovima snage 600 W u trajanju od 2 minute, a zatim slijedi proces sušenja vrućim zrakom. Sušenja se provode pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C uz protok zraka 1,45 m/s cijelo vrijeme sušenja. U određenim vremenskim intervalima na vagi se očitava i bilježi pad mase, a uzorak se suši dok se masa uzorka ne ustali. Početna masa uzorka za sušenje je uvijek ista (100 g).



Slika 2. Hibridna konvekcijska sušara s mikrovalovima (Estherm, Hrvatska) (*vlastita fotografija*)

Uzorak usitnjene kore bundeve sušen je i u kondukcijskoj vakuum sušari VO200 PM200 (Memmert GmbH + Co. KG, Njemačka) prikazanoj na slici 3. Jednake početne mase uzorka

kore bundeve (100 g) jednakomjerno se rasporede na tri police od nehrđajućeg čelika i aluminija. Sušenja se provode pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C i tlaku 10³ Pa. Pad mase uzoraka se prati u određenim vremenskim intervalima, a kraj sušenja je kada se masa uzorka ustali.



Slika 3. Kondukcijska vakuum sušara VO200 PM200 (Mettler GmbH + Co. KG, Njemačka) (vlastita fotografija)

3.5.3. Određivanje suhe tvari

Udio suhe tvari u svježem i sušenim uzorcima kore bundeve određen je po standardnoj metodi za određivanje suhe tvari (AOAC, 1995) koja se temelji na sušenju do konstantne mase pri 105 °C. Određivanje se provodi tako što se na analitičkoj vagi s točnošću +/- 0,0002 g izmjeri masa prazne aluminijske posudice s poklopcem, a nakon toga posudice s 2 ± 0,5 g uzorka te se zabilježi točna masa posudice i uzorka. Tako pripremljene posudice s uzorkom stavljaju se u laboratorijski sušionik, zagrijan na 105 °C i suše oko 2 sata. Nakon toga, posudice se stavljaju u eksikator i nakon što se ohlade, izvažu. Posudice se zatim ponovno stavljaju u sušionik te se postupak ponavlja sve dok razlika između dva uzastopna vaganja nije manja od 0,001 g.

Ukupna suha tvar se računa pomoću sljedeće formule:

$$W_T(\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad [1]$$

W_T – udio ukupne suhe tvari (g na 100 g)

m_0 - masa posudice s poklopcem (g)

m_1 – masa iste posudice i poklopca s ispitivanim uzorkom prije sušenja (g)

m_2 – masa iste posudice i poklopca s ostatkom nakon sušenja (g)

3.5.4. Određivanje boje

Boja uzoraka je određena uz pomoć kolorimetra (Lovibond LC 100 Spectrocolorimeter & SV 100 Kit). Nakon pripreme svježeg uzorka kore, odnosno guljenja, određena je boja homogene smjese na pet različitih mjesta raspoređenog uzorka na ravnoj podlozi u uvjetima jednakog osvjetljenja pri svakom mjerenju. Isti postupak je ponovljen i sa uzorkom nakon procesa sušenja. Kolorimetrom su izmjerene vrijednosti parametara boje L^* , a^* , b^* . Promjene parametara boje uzoraka nakon sušenja računaju se u odnosu na svježi uzorak kore bundeve pri čemu su korištene slijedeće formule:

$$\Delta L = L (\text{uzorak}) - L (\text{standard})$$

$$\Delta a = a (\text{uzorak}) - a (\text{standard})$$

$$\Delta b = b (\text{uzorak}) - b (\text{standard})$$

Ukupna promjena boje (ΔE) u odnosu na kontrolni (svježi) uzorak računa se prema Euklidovoj udaljenosti između boja izražene kao L^* , a^* i b^* . Ukupna promjena boje računa se prema formuli:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad [2]$$

Ovisno o parametru ΔE (tablica 7) može se zaključiti koliko se neki uzorak razlikuje u boji od standardnog (referentnog uzorka) što je u ovom radu svježa kora bundeve.

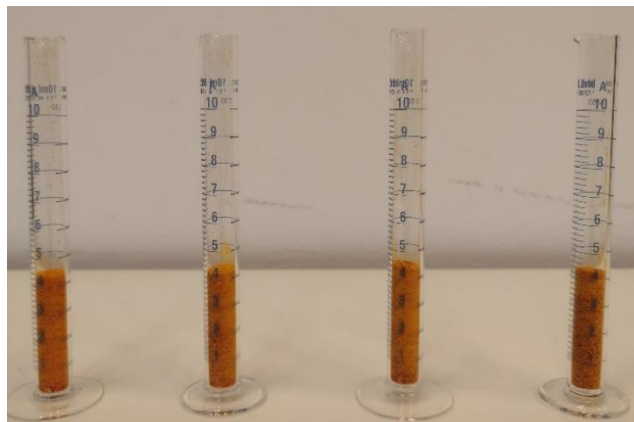
Tablica 7. Značenje razlike između ΔE vrijednosti i referentne vrijednosti (prema Xiao, 2008)

UKUPNA PROMJENA BOJE (ΔE)	ZNAČENJE
0 – 0,5	Razlike u tragovima
0,5- 1,5	Mala razlika
1,5- 3,0	Primjetna razlika
3,0- 6,0	Značajna razlika
6,0- 12,0	Velika razlika
>12,0	Vrlo velika razlika

3.5.5. Određivanje nasipne gustoće

Nasipna gustoća se određuje metodom koju su opisali Beristain i sur. (2001). Uzorak osušene kore bundeve (2 g) usitnjen u električnom mlincu (Corona KM65) se usipa u menzuri volumena 10 mL. Menzura se lagano protrese kako bi se dobila što preciznija mjera volumena uzorka, što je prikazano na slici 4. Iz omjera mase odvagane uzorka (m) i očitane volumena (V) koji je uzorak zauzeo izračuna se nasipna gustoće uzorka (ρ) (Beristain i sur., 2001).

$$\rho_{uzorka}(g/ml) = \frac{m_{uzorka}(g)}{V_{uzorka}(ml)} \quad [3]$$



Slika 4. Primjer određivanja nasipne gustoće uzoraka osušenih vakuum sušenjem pri temperaturama 40, 50, 60 i 80 °C (s lijeva na desno) i tlaku 10³ Pa (*vlastita fotografija*)

3.5.6. Određivanje raspodjele veličine čestica

Za određivanje raspodjele veličine čestica korišten je uređaj Malvern Mastersizer 2000 (Malvern instruments, Worcestreshire, UK). Osušeni uzorci kore bundeve su samljeveni u mlincu i zatim prosijani sitom, veličine pora 800 μ m. Raspodjela veličina čestica određila se uzorcima osušenim primjenom vakuum sušenja i hibridnog sušenja pri temperaturama 40 °C i 80 °C. Tako prosijani uzorci se uvode u uređaj, koji radi na principu raspršivanja laserske svjetlosti. Čestice raspršuju svjetlost u obrnuto proporcionalnom kutu u odnosu na njihovu veličinu i uz pomoć Scirocco 2000 određuje se veličina čestica suhog uzorka. Unutar uređaja se nalazi niz detektora na koje pada svjetlost iz različitog kuta i različitim intenzitetom. Tijekom svakog mjerenja bilježi se oko 2000 snimaka koji se softverski obrađuju na računalu.

3.5.7. Određivanje rehidrationskog omjera i koeficijenta rehidracije

Za određivanje rehidrationskog omjera koriste se 3 g suhog uzorka kore. U čašu od 250 mL ulije se 150 mL destilirane vode i zagrijava do vrenja. Zatim se ubaci uzorak te se zagrijava na 100 °C točno 3 minute uz lagano miješanje staklenim štapićem. Nakon 3 minute, slijedi filtracija uzorka preko filter papira prethodno zasićenog destiliranom vodom i izvaganog, proces je prikazan na slici 5. Po završetku filtracije važe se uzorak zajedno sa filter papirom. Oduzimanjem mase filter papira od konačne mase, dobije se masa rehidratiranog uzorka. Odnosno oduzimanjem početne mase uzorka od mase rehidratiranog uzorka dobije se masa vezane vode i izračuna se koeficijent rehidracije (KR) po formuli.

$$KR = \frac{m_r}{m_p} \quad [4]$$

Gdje je m_r razlika mase uzorka zajedno s filter papirom i mase filter papira, a m_p masa ekvivalenta mase svježeg uzorka u odnosu na masu korištenog suhog uzorka.

Osim koeficijenta rehidracije računa se i rehidrationski omjer (RO) prema formuli 5:

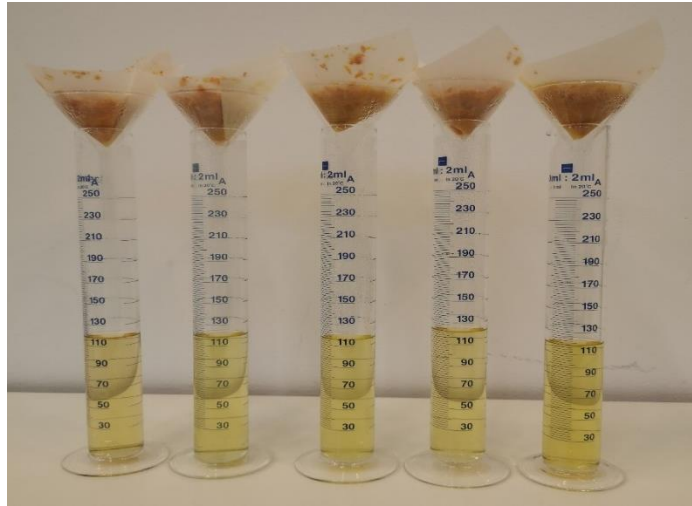
$$RO = \frac{m_r}{m_d} \quad [5]$$

gdje je:

RO - rehidrationski omjer

m_r - masa rehidratiranog uzorka

m_d - odnosno masa korištenog suhog uzorka.

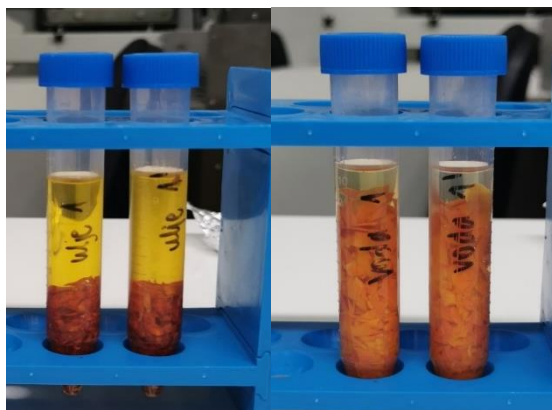


Slika 5. Rehidracija uzoraka osušenih hibridnim sušenjem pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C (s lijeva na desno) (*vlastita fotografija*)

3.5.8. Određivanje kapaciteta vezanja vode i ulja

Kapacitet zadržavanja vode i ulja određen je prema modificiranoj metodi koju su opisali Elkhalfa i sur. (2005). Prema navedenoj metodi određuje se količina vode, odnosno ulja koja se veže za vlakna ispitivane namirnice nakon centrifugiranja.

U prethodno izvagane kivete s čepom stavi se 1 g uzorka i 10 mL destilirane vode odnosno ulja (suncokretovo ulje). Sadržaj kiveta se izmiješa korištenjem vortexa (Metron, Zagreb, Hrvatska). Kivete stoje 15 minuta na sobnoj temperaturi, a potom slijedi centrifugiranje pri 4000 okretaja 15 minuta. Centrifugiranjem se odvoji dio vode odnosno ulja koji uzorak nije vezao. Slika 6 prikazuje uzorke nakon centrifugiranja. Višak vode odnosno ulja se ukloni dekantiranjem te se centrifugiranje uzorka ponovi. Nakon dekantiranja preostale vode odnosno ulja, uzorak se izvaže. Iz razlike masa nakon vezanja vode/ulja i početne mase uzorka dobije se masa vezane vode odnosno ulja (Elkhalfa i sur., 2005).



Slika 6. Određivanje kapaciteta vezanja vode i ulja uzoraka dobivenih vakuum sušenjem pri 80 °C i 10³ Pa (*vlastita fotografija*)

3.5.9. Priprema ekstrakta uzoraka za određivanje fenolnih spojeva i antioksidacijske aktivnosti

Kako bi se odredili ukupni fenolni spojevi u svježoj i sušenim uzorcima kore bundeve te odredila antioksidacijska aktivnost DPPH metodom u istim uzorcima, bilo je potrebno pripremiti ekstrakte svježe i osušene kore bundeve. Ekstrakt je pripremljen tako što je u Erlenmayerovu tikvicu s brušenim grlom od 100 mL dodano 5 g prethodno ustitnjenog uzorka kore bundeve, 40 mL 50 %-tnog etanola te se sadržaj lagano promiješa nakon čega se provodi ekstrakcija u ultrazvučnoj kupelji (Elmasonic P 300 H, Elma-Hans Schmidbauer GmbH & Co., Njemačka) pri temperaturi 50 °C u trajanju od 30 minuta na (frekvenciji 37 kHz, snaga 100 %). Ekstrahirani uzorci se filtriraju, a zatim se filtrat centrifugira na 4000 okretaja u trajanju 15 minuta kako bi se dobilo što čistiji ekstrakt. Ekstrakt se prelije u odmjernu tikvicu volumena 50 mL te nadopuni do oznake 50 %-tnim etanolom.

3.5.10. Određivanje ukupnih fenolnih spojeva

Za određivanje ukupnih fenolnih spojeva koristila se spektrometrijska metoda koju su opisali Ough i Amerine (1988), s manjim modifikacijama. U metodi se koristi Folin-Ciocalteu reagens (žute boje) koji je smjesa fosforwolframove i fosfomolibdenske kiseline, a pri oksidaciji fenolnih tvari u blago alkalnim uvjetima ove kiseline se reduciraju u wolframov oksid i molbidenov oksid koji su plavo obojeni. Redukcija ovih kiselina odnosno tvorba relativno stabilnog plavo obojenog kompleksa bit će intenzivnija u prisutnosti većeg broj hidroksilnih skupina ili oksidirajućih grupa u fenolnim spojevima. Mjeri se nastali intenzitet obojenja pri valnoj duljini 765 nm.

Postupak: U odmjernu tikvicu od 50 mL otpipetira se 0,5 mL ekstrakta, 2,5 mL F.C. reagensa i 7,5 mL Na₂CO₃ te se nadopuni do oznake sa destiliranom vodom i ostavi stajati 2 sata nakon čega se smjesi mjeri apsorbanacija pri 765 nm. Vrijednost apsorbanacije ubacuje se u jednadžbu baždarnog pravca te se dobije koncentracija galne kiseline u mg/L, koja se zatim preračunava u masu galne kiseline (GAE) po gramu suhe tvari uzorka (Ough i Amerine, 1998).

Izrada baždarnog dijagrama:

Za pripremu baždarnog dijagrama potrebno je odvagati 500 mg galne kiseline te ju otopiti u 96% etanolu, nakon čega se tikvica od 100 mL nadopuni do oznake. Od pripremljene otopine galne kiseline rade se razrjeđenja u odmjernim tikvicama od 100 mL te se dodaje 0, 1, 2, 3, 4, 5 i 10 mL alikvota standarda. Tikvice se nadopune do oznake destiliranom vodom. Koncentracije galne kiseline iznose 0, 50, 100, 150, 250 i 500 mg/L. Postupak određivanja apsorbanacije isti je kao što je prethodno opisano.

Iz izmjerenih vrijednosti apsorbanacija izrađen je baždarni pravac pomoću programa Microsoft Excel pri čemu su na apscisi nanosene koncentracije galne kiseline (mg/ L), a na ordinati izmjerene vrijednosti apsorbanacije pri 765 nm.

Jednadžba pravca iz kojeg se izračuna koncentracija ukupnih fenola glasi:

$$y = 0,0012x + 0,0097, R^2 = 0,9993 \quad [6]$$

gdje je:

y – apsorbanacija pri 765 nm,

x – koncentracija galne kiseline (mg/L)

3.5.11. Određivanje antioksidacijske aktivnosti

Antioksidacijska aktivnost svježeg i sušenih uzoraka određena je korištenjem stabilnog 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal prema metodi koji su opisali Brand Williams i sur., (1995). DPPH je stabilan slobodni radikal zahvaljujući svojstvu delokalizacije slobodnog elektrona, zbog kojeg molekula ne dimerizira. DPPH radikal zbog nesparenog elektrona postiže apsorpcijski maksimum u vidljivom dijelu spektra pri 517 nm i ljubičaste je boje. Zbog sparivanja nesparenog elektrona DPPH radikala s vodikom antioksidansa dolazi do promjene ljubičaste boje u žutu, stvarajući reducirani oblik DPPH-H. Promjena boje je u stehiometrijskom odnosu s brojem sparenih elektrona.

Postupak određivanja:

Pripremljena je 0,5 mM otopina radikala (DPPH) dodavanjem 0,01 g DPPH u 50 mL metanola koja se do upotrebe čuva na tamnom mjestu. Za svaki uzorak se radi jedna paralela i kontrolni uzorak. U epruvetu se otpipetiraju 2 mL ekstrakta, 2 mL metanola i 1 mL 0,5 mM otopine DPPH. Isti postupak se ponovi i sa paralelom. Dok se kontrolna otopina pripremi u epruveti tako da se otpipetiraju 4 ml metanola i 1 ml 0,5 mM otopine DPPH. Smjesa u epruvetama se izmiješa pomoću votrexa i zatim stoje u mraku 20 minuta nakon čega se mjeri apsorbancija pri 517 nm. Obzirom na dobivene vrijednosti apsorbancije računa se antioksidacijska aktivnost po formuli:

$$S(\%) = 100 - \left(\frac{A_x}{A_0} \times 100 \right) \quad [7]$$

gdje je:

S(%) - antioksidacijska aktivnost

A_x - apsorbancija uzorka

A₀ - apsorbancija kontrolnog uzorka

3.6. STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA

Statistička obrada podataka ovog istraživanja je provedena korištenjem programa Microsoft Excel (2016) i ANOVA analize, odnosno analize varijance s jednim promjenjivim faktorom. Značajnost utjecaja analiziranih faktora na promatranu slučajnu varijablu provela se empirijskim *F*-omjerom odnosno *F*-testom. Ukoliko je $F < F_{krit}$ znači da nema statistički značajne razlike između rezultata. Osim toga izračunata je *p*-vrijednost kao empirijska razina značajnosti te ukoliko je *p* vrijednost < 0,05 razlika je značajna i nulta hipoteza se treba odbaciti, a ukoliko je *p* vrijednost > 0,05 znači da ne postoji statistički značajna razlika između rezultata i hipoteza se ne odbacuje.

Također korištenjem Microsoft Excel (2016) dio rezultata prikazan je kao srednja vrijednost ± standardna devijacija (sd).

4. REZULTATI I RASPRAVA

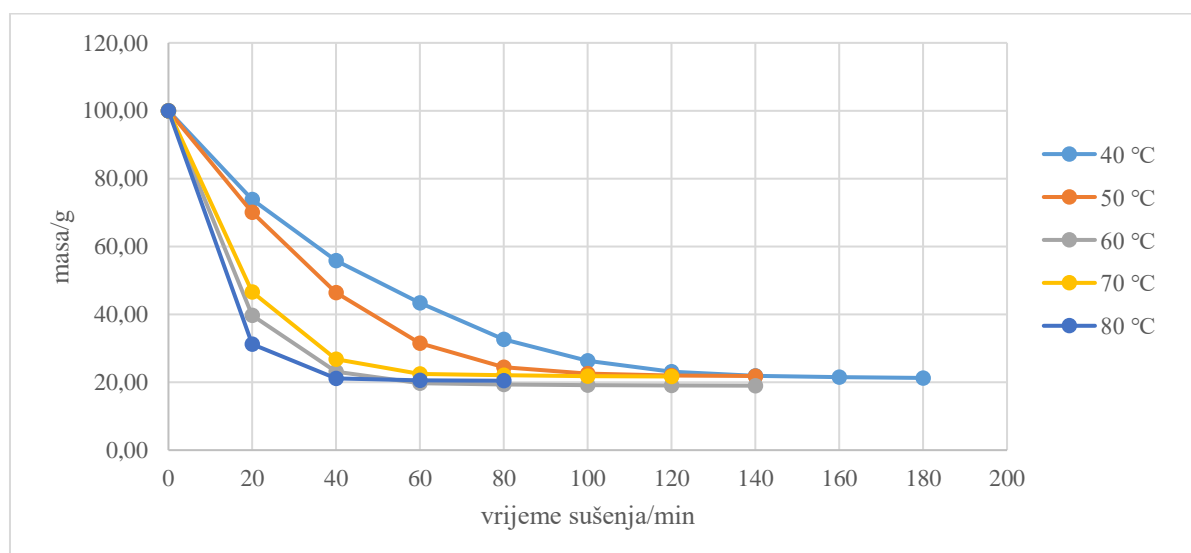
Visoka nutritivna vrijednost bundeve te niski troškovi uzgoja su razlozi zbog kojih je bundeva odličan izbor za preradu u prehrambenoj industriji. S obzirom na visoku podložnost kvarenju primjenjuje se proces sušenja u svrhu produljenja roka trajanja, povećanja upotrebe u prehrambenim proizvodima, smanjenja volumena proizvoda i samim time smanjenja troškova skladištenja (Khatib i Muhieddine, 2020). Pravilnim izborom metode sušenja s optimalnim parametrima nastoji se dobiti proizvod najpoželjnijih fizikalno-kemijskih karakteristika. U ovom radu koristila su se dva postupka sušenja, hibridno sušenje (mikrovalovi snage 600 W u trajanju od 2 minute, konvekcijsko sušenje uz protok zraka 1,45 m/s) te vakuum sušenje (tlak 10^3 Pa) pri temperaturama 40, 50, 60, 70, 80 °C, a osušeni uzorci su prikazani na slikama 9 i 10. Promjena mase kore bundeve tijekom sušenja prikazana je na krivuljama sušenja na slici 7 i 8. U svim uzorcima (suhim i svježim) određena je suha tvar, a rezultati su prikazani u tablici 8. Mjerena je i promjena boje sušenih uzoraka i rehidratiranih uzoraka u odnosu na svježi uzorak, a rezultati su prikazani tablicama 9 i 11 te 16 i 17. Osim promjene boje, sušenim uzorcima su određena i druga fizikalna svojstva - nasipna gustoće (rezultati prikazani na slici 11), veličina čestica (tablica 13), sposobnost rehidratacije (rezultati su prikazani djelomično grafički na slici 12 i u tablici 15), svojstva vezanja vode i ulja (slika 13 i 14). Navedena fizikalna svojstva su važna za daljnje procese upotrebe i skladištenja proizvoda. Što se tiče kemijskog sastava, određen je sadržaj ukupnih fenola u svježem i osušnim uzorcima (tablica 20) i antioksidacijska aktivnosti upotrebom DPPH metoda (slika 15).

4.1. BRZINA SUŠENJA KORE BUNDEVE

Kora bundeve sušena je u vakuum sušari i konvekcijskoj sušari uz primjenu mikrovalova pri 5 različitih temperatura (40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C i 80 °C) i uz već prethodno navedene uvjete za pojedina sušenja. Uzorci su sušeni do postizanja konstantne mase.

Na slici 7 prikazana je krivulja sušenja, odnosno promjene mase kore bundeve tijekom vremena sušenja pri navedenim temperaturama.

Vakuum sušenje se odvija pri sniženom tlaku i sniženoj temperaturi vrelišta vode i tako pridonosi očuvanju toplinski osjetljivih nutritivnih sastojaka i senzorskih svojstava hrane. Potrebno je kraće vrijeme sušenja pa stoga ni sušenje pri višoj temperaturi nema utjecaj na uzorak, kao što bi na primjer imalo sušenje pri atmosferskom tlaku (Marelja i sur., 2020).

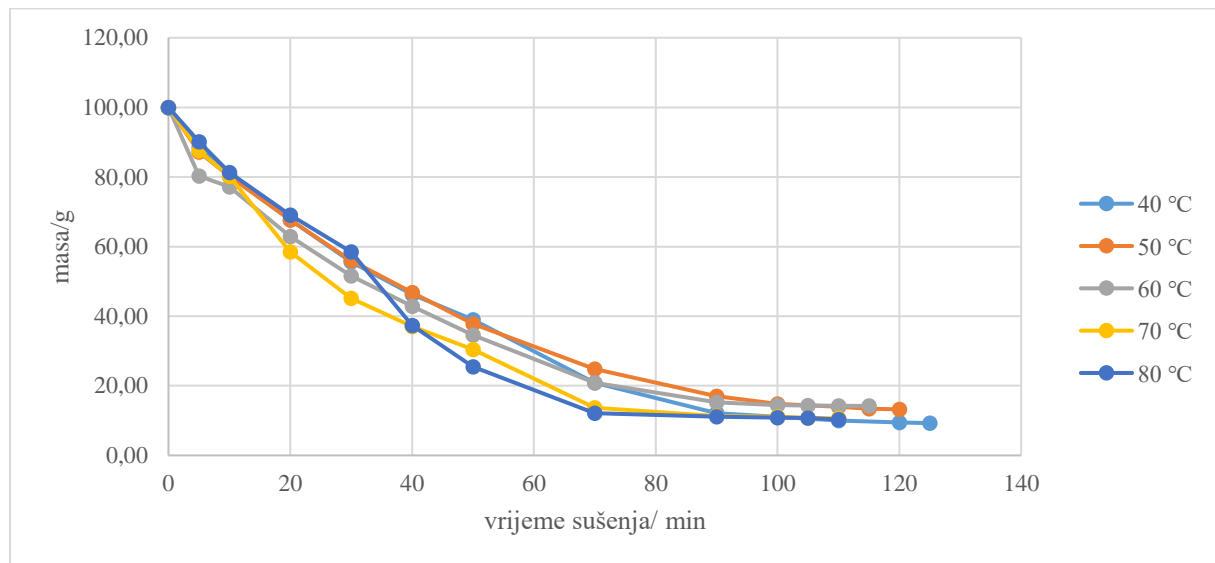


Slika 7. Promjena mase o vremenu sušenja pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C (vakuum sušenje)

Iz prikazanih rezultata može se uočiti da porastom temperature kod vakuum sušenja skraćuje se vrijeme potrebno da se postigne konstantna masa uzorka. Ti su rezultati u skladu s istraživanjem koje su proveli Magangana i sur. (2020) i Suri i sur. (2022). Sušenje pri 80 °C i tlaku od 10^3 Pa trajalo samo 80 minuta, a sušenje pri 40 °C je trajalo 180 minuta. Statističkom obradom podataka dobivena je p -vrijednost $0,9720 > 0,05$, koja pokazuje da nema statistički značajne razlike između rezultata uzoraka osušenih pri različitim temperaturama.

Hibridno sušenje kao kombinacija mikrovalova i sušenja vrućim zrakom svakako doprinosi kraćem vremenu sušenja uzorka, a kraće vrijeme sušenja je povezano sa očuvanjem svih poželjnih svojstava dobivenog uzorka (Zhang i sur., 2006), u skladu s tim su i rezultati dobiveni

u ovom radu, a prikazani su na slici 8.



Slika 8. Promjena mase o vremenu sušenja pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C (hibridno sušenje)

Slika 8 prikazuje krivulju sušenja odnosno promjene mase kore bundeve tijekom vremena sušenja pri navedenim temperaturama.

Primjenom hibridnog sušenja, odnosno konvekcijskog sušenja pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C s prethodnom obradom mikrovalovima snage 600 W tijekom 2 minute dobiven je znatno manji postotak mase u usporedbi s vakuum sušenjem. Najduže vrijeme sušenja je 125 minuta za uzorak sušen pri 40 °C, dok je najkraće vrijeme sušenja za uzorke sušene pri 70 i 80 °C bilo 110 minuta. Statističkom analizom utvrđeno je da nema statistički značajne razlike između uzoraka osušenih pri različitim temperaturama s obzirom na p -vrijednost $0,9986 > 0,05$. Masa dobivenog osušenog uzorka u odnosu na 100 g početnog svježeg uzorka u ovom je istraživanju veća kod primjene vakuum sušenja u odnosu na sušenje vrućim zrakom uz primjenu mikrovalova. Takve rezultate potvrđuju i rezultati istraživanja Tang Nguyen i Doung Le (2018). U njihovom istraživanju mase uzoraka osušenih vakuum sušenjem su skoro 50 % veće u odnosu na masu uzoraka osušenih vrućim zrakom.

4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA SUHE TVARI

Kao što je već spomenuto jedan od najboljih pokazatelja kvalitete kemijskog sastava uzorka je udio suhe tvari. Udio suhe tvari u svježoj kori bundeve je 13,11 %, odnosno vlage je 86,89 %.

Kod uzoraka osušenih u vakuum sušari pri sniženom tlaku (10^3 Pa) i temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C vrijednosti udjela suhe tvari su u rasponu od 91,39 % do 94,90 %. Najveći udio vlage je ostao u uzorku osušenom pri 40 °C i to je 8,61 %, dok je najmanji kod uzorka osušenog pri najvišoj temperaturi i iznosi 5,10 %. Uočava se trend opadanja sadržaja vlage u uzorcima s povećanjem temperature sušenja i kraćim vremenom sušenja. Takve rezultate potvrđuje i istraživanje Keong Lau i sur. (2018), koji su istraživali utjecaj različitih metoda sušenja na koru mrkve te su dobili isti trend u sadržaju vlage uzoraka nakon vakuum sušenja pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C i tlaku 600 mbar. Osim toga, u navedenom istraživanju, usporedbom i drugih svojstava nakon sušenja kore mrkve zaključuju da je temperatura od 60 °C optimalna za dehidraciju kore i dobivanje poželjnih fizikalno-kemijska svojstava uz najkraće vrijeme sušenja.

Također u rezultatima prikazanim u tablici 8 primjećuje se da je udio vlage u uzorku osušenom pri 60 °C znatno manji u usporedbi s drugim uzorcima, jedini manji sadržaj vlage je imao uzorak osušen pri 80 °C.

Tablica 8. Udio suhe tvari i vlage u svježoj i osušenoj kori bundeve vakuum i hibridnim sušenjem

KORA BUNDEVE	SVJEŽI UZORAK	Suha tvar (%)	13,11				
		Vlaga (%)	86,89				
	temperatura sušenja		40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
	VAKUUM SUŠENJE	Suha tvar (%)	91,39	92,77	94,45	93,64	94,9
		Vlaga (%)	8,61	7,23	5,55	6,36	5,1
	HIBRIDNO SUŠENJE	Suha tvar (%)	95,99	92,93	94,45	95,25	96,29
		Vlaga (%)	4,01	7,07	5,55	4,75	3,71

U uzorcima sušenim hibridnim načinom sušenja pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C udio suhe tvari u rasponu je od 92,93 do 96,29 %. Odnosno ako se uspoređuju udjeli vlage u uzorcima nakon sušenja do konstante mase, primjećuje se da je udio vlage, kod uzoraka osušenih primjenom hibridnog sušenja najmanji pri najvišim temperaturama sušenja kao i pri najdužem vremenu sušenja što je vidljivo iz tablice 8.

To potvrđuje i istraživanje Ma i sur. (2021) koji su istraživali učinak sušenja vrućim zrakom pri temperaturama 55, 65 i 75 °C na koru jabuke i sadržaj vlage u osušanim uzorcima.

Manjem udjelu vlage u uzorcima osušenim hibridnim sušenjem je svakako doprinijelo izlaganje mikrovalovima, osobito na početku procesa sušenja, kada je utjecaj mikrovalova puno veći nego ako se primjenjuju u sredini sušenja ili na kraju što je pokazalo i istraživanje Talens i sur. (2016). Talens i sur. (2016) su istraživali utjecaj hibridnog sušenja na koru naranče, primjenom mikrovalova različite snage i sušenja vrućim zrakom pri različitim temperaturama te različitim kombinacijama izmjene sušenja vrućim zrakom kao i primjene mikrovalova.

4.3. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE UZORKA

Boja hrane je prvi i vrlo često najznačajniji čimbenik prihvatljivosti nekog prehrambenog proizvoda kod potrošača i stoga praćenjem promjene boje tijekom pripreme, prerade i skladištenja prati se jedno od najvažnijih fizikalnih svojstava u prehrambenoj industriji. Tablica 9 prikazuje promjene parametara (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) boje osušenih uzoraka primjenom vakuum sušenja u odnosu na svježi uzorak kao i ukupnu promjenu boje sušenih uzoraka u odnosu na svježi uzorak (ΔE).

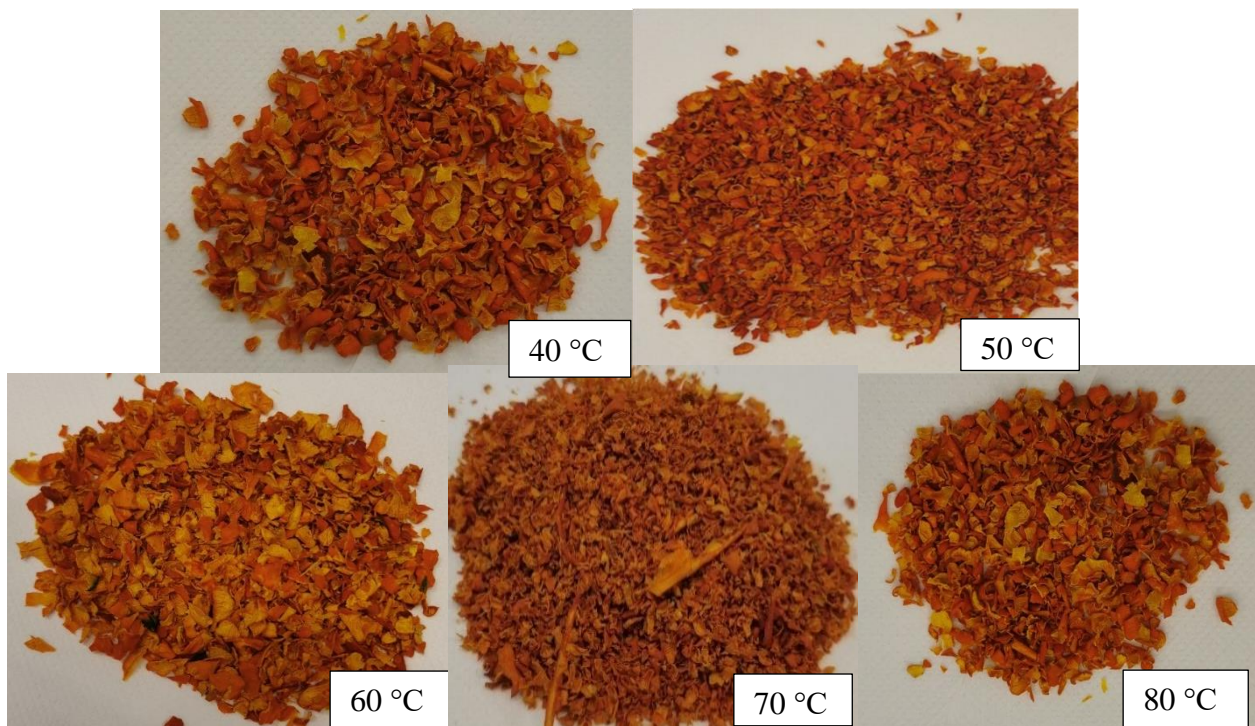
Tablica 9. Promjena parametara boje (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) i ukupna promjena boje (ΔE) kore bundeve nakon vakuum sušenja

PROCES SUŠENJA		ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
VAKUUM SUŠENJE	40 °C	-6,4	-8,4	8,5	13,6
	50 °C	-9,5	-8,2	4,9	13,5
	60 °C	-4,7	-10,8	7,1	13,7
	70 °C	-7,5	-12,4	0,5	14,5
	80 °C	-7,5	-9,8	11,2	16,7

Primjenom vakuum sušenja dobivene su vrijednosti promjene boje uzorka ΔE u rasponu od 13,5 do 16,7. Prema Xiao (2008) to je značajna promjena boje kod svih sušenih uzoraka u odnosu na svježi uzorak. Najmanja promjena boje suhog uzorka u odnosu na boju svježeg uzorka uočena je pri temperaturi sušenja 50 °C, a zatim pri temperaturi 40 °C i 60 °C dok je najveća promjena boje uzorka pri temperaturi sušenja 80 °C i uvjetima tlaka 10^3 Pa. Istraživanje Chuyen i sur. (2016) u kojem je provedeno sušenje Gac voća iz porodice *Cucurbitaceae* primjenom vakuum sušenja pri temperaturama 50, 60, 70 i 80 °C i tlaku 200 mbar je također pokazalo najveću promjenu boje kod uzoraka osušenih pri 70 i 80 °C. Sve vrijednosti ΔL^* u uzorcima kore bundeve sušene vakuum sušenjem su negativne što znači da su uzorci tamniji u odnosu na uzorke svježe kore. Dobivene ΔL^* vrijednosti su u rasponu od -4,7 do -9,5.

Najtamniji uzorak je dobiven sušenjem pri 50 °C, dok je najmanja promjena ΔL^* zabilježena sušenjem pri 60 °C. Isto tako sve dobivene vrijednosti Δa^* su negativne, odnosno pokazuju da je u osušanim uzorcima udio zelene boje veći nego u standardnom uzorku, odnosno svježoj kori. Vrijednosti Δb^* su u rasponu od 0,5 do 11,2 što bi značilo da je u uzorku sušenom pri temperaturi 70 °C najmanji udio žute boje u odnosu na standard. Uzorak sušen pri 80 °C ima najvećim udio žute boje u odnosu na standard.

Negativne vrijednosti ΔL^* nastale su kao rezultat brzih neenzimskim reakcija posmeđivanja i brze toplinske degradacije tvari u materijalu pri navedenim temperaturama. Slika 9 prikazuje osušene uzorke kore bundeve primjenom vakuum sušenja.



Slika 9. Kora bundeve sušena vakuum sušenjem pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C i tlaku 10^3 Pa

Usporedbom rezultata dobivenih za boju za uzorke osušene pri različitim temperaturama, točnije usporedbom njihovih aritmetičkih sredina i F -testa, dobivene su vrijednost za $F < F_{krit}$ i time je utvrđeno da razlika rezultata između uzoraka osušenih vakuum sušenjem pri različitim temperaturama nije statistički značajna, a osim toga tu tvrdnju potvrđuje i p -vrijednost $> 0,05$, što prikazuju vrijednosti u tablici 10.

Tablica 10. Rezultati statističke obrade rezultata dobivenih određivanjem boje kore bundeve osušene vakuum sušenjem

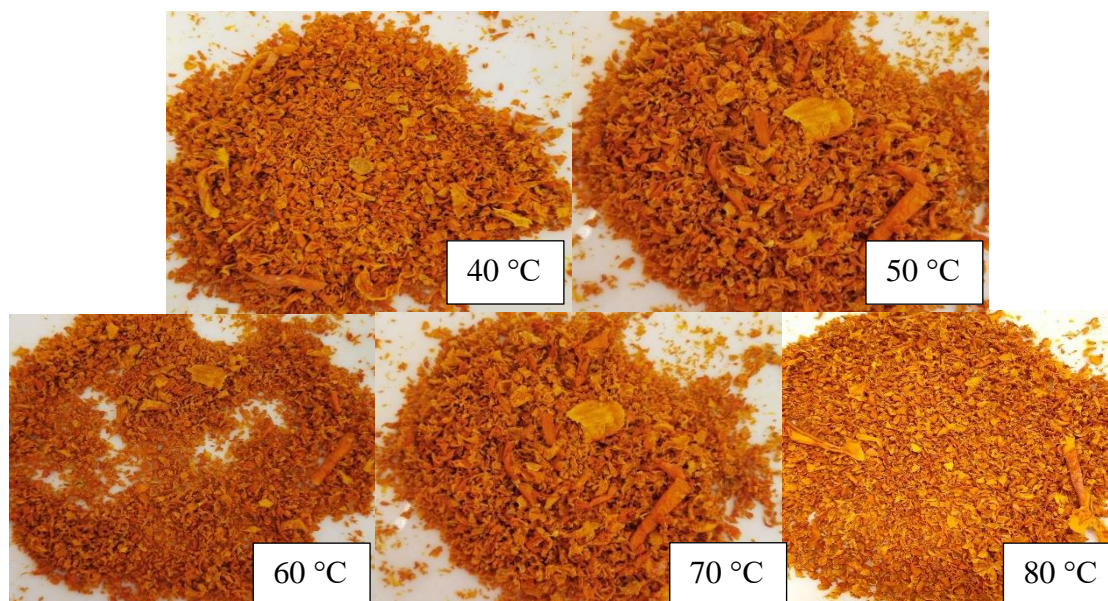
ANOVA ANALIZA			
<i>F</i> -test	<i>F</i> vrijednost	<i>F</i> _{krit} vrijednost	usporedba
	0,067	3,055	$F < F_{krit}$
<i>p</i> -vrijednost	0,991		$p > 0,05$

Tablica 11 prikazuje promjene parametara boje (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) kore bundeve osušene konvekcijskim sušenjem s primjenom mikrovalova (hibridnog sušenja) u odnosu na svježi uzorak, kao i ukupnu promjenu boje sušenih uzoraka u odnosu na svježi uzorak (ΔE).

Tablica 11. Promjena parametara boje (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) i ukupna promjena boje (ΔE) kore bundeve nakon hibridnog sušenja

PROCES SUŠENJA		ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
HIBRIDNO SUŠENJE	40 °C	-6,0	-9,5	5,0	12,3
	50 °C	-9,8	-8,3	-0,8	12,8
	60 °C	-8,4	-9,9	2,2	13,2
	70 °C	-10,2	-9,2	-0,9	13,8
	80 °C	-11,1	-12,9	0,6	17,0

Hibridnim sušenjem dobivene su slične vrijednosti, osobito za vrijednosti ΔL^* i Δa^* , čije negativne vrijednosti pokazuju ponovno da su svi dobiveni osušeni uzorci tamniji i zeleniji u odnosu na standard. Promjena boje u odnosu na svježi uzorak kore bundeve značajna je kod svih osušenih uzoraka. Ukupna promjena boje uzoraka varira od 12,3 do 17,0. Najveća promjena boje tijekom hibridnog sušenja uočena kod sušenja pri 80°C, a najmanja promjena je pri 40 °C . To potvrđuju i rezultati istraživanja Ma i sur. (2021) u kojem je sušenjem vrućim zrakom kore jabuke pri temperaturama 55, 65 i 75 °C, najveća promjena boje uočena isto pri najvišoj temperaturi. Osim ukupne promjene boje uzorka i rezultati promjene ΔL^* , Δa^* i Δb^* prate trend uzrokovan promjenom temperature sušenja koji je dobiven i u ovom istraživanju. Dobivene vrijednosti Δb^* od -0,9 do 5,0 pokazuju da je najveća promjena boje, odnosno uzorka žućeg od standarda dobivena sušenjem pri 40 °C. Slika 10 prikazuje hibridno osušene uzorke.



Slika 10. Kora bundeve sušena hibridnim sušenjem vrućim zrakom pri temperaturama 40, 50, 60, 70 i 80 °C

Kod hibridno osušenih uzoraka primjenom statističke analize aritmetičkih sredina rezultata uzoraka osušenih pri različitim temperaturama, vrijednosti F -testa pokazuju da je $F < F_{\text{krit}}$ odnosno da nema statistički značajne razlike, kao i p -vrijednost $> 0,05$ (tablica 12).

Tablica 12. Rezultati statističke obrade rezultata dobivenih određivanjem boje kore bundeve osušene hibridnim sušenjem

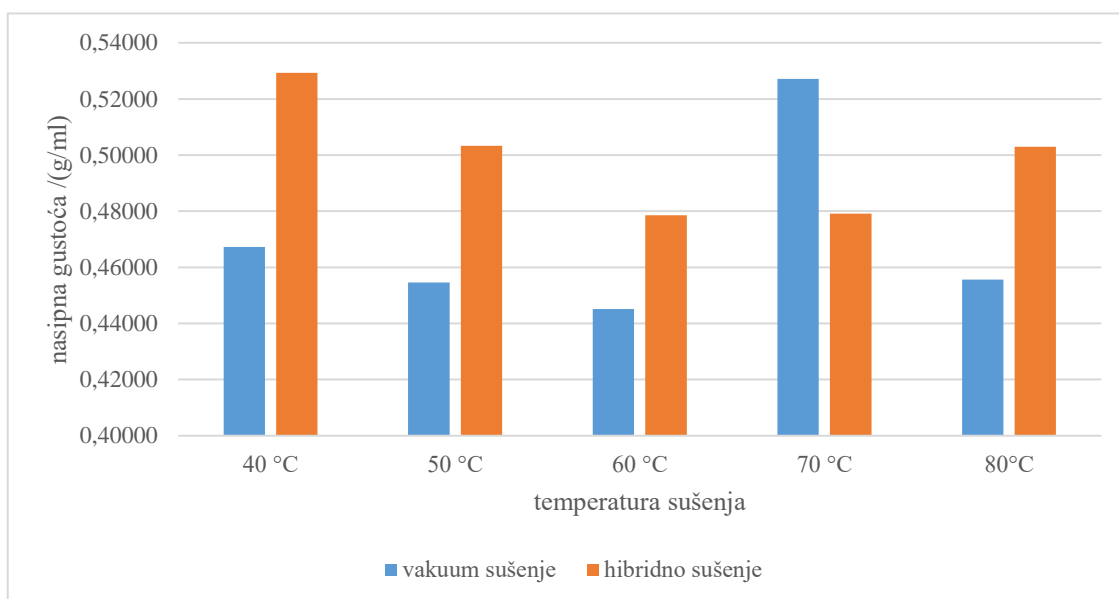
ANOVA ANALIZA			
F -test	F vrijednost	F_{krit} vrijednost	usporedba
	0,026	3,056	$F < F_{\text{krit}}$
p -vrijednost	0,998		$p > 0,05$

Usporedbom rezultata dobivenih vakuum sušenjem i hibridnim sušenjem može se primijetiti da je najtamniji uzorak dobiven sušenjem pri najvišoj temperaturi odnosno temperaturi 80 °C, a takav rezultat se primjećuje usporedbom uzoraka osušenih vakuum sušenjem i sušenjem vrućim zrakom pri najvišoj temperaturi i u već spomenutom istraživanju Chuyen i sur. (2016). Osim toga, za vrijednosti Δa^* i Δb^* primijećeni su značajni utjecaji najniže i najviše temperature. Kod najniže temperature promjene su uzrokovane trajanjem sušenja, a kod najviše temperature promjene su uzrokovane visokom temperaturom u kraćem vremenskom periodu, odnosno pri tim temperaturama je utjecaj na sadržaj karotenoida u kori najveći.

4.4. REZULTATI ODREĐIVANJA NASIPNE GUSTOĆE

Prema rezultatima prikazanim na slici 11, kod uzoraka sušenih u vakuum sušari najmanju nasipnu gustoća ima uzorak sušen pri 60 °C, a najveću uzorak sušen pri 70 °C.

Također, porastom temperature kod vakuum sušenja može se uočiti smanjenje nasipne gustoće do temperature sušenja 60 °C. Takvi rezultati u skladu su s rezultatima koji su u svom istraživanju dobili Farahmandfar i sur. (2020) sušenjem kore naranče vakuum sušenjem pri temperaturama 45 °C i 60 °C i tlaku 0,8 mbar. U navedenom istraživanju, porastom temperature sušenja nasipna gustoća osušenog materijala se također smanjila.



Slika 11. Rezultati nasipne gustoće(g/ml) kore bundeve osušene vakuum i hibridnim sušenjem

Kod uzoraka sušenih hibridnim sušenjem nasipna gustoća najveća je kod uzorka sušenog pri 40 °C, a najmanja kod uzorka sušenog pri 60 °C, kao što je vidljivo na grafičkom prikazu na slici 11. Kao i kod vakuum sušenja, porastom temperature sušenja može se uočiti smanjenje nasipne gustoće do temperature sušenja 60 °C nakon čega opet dolazi do porasta nasipne gustoće kod uzoraka sušenih pri 70 i 80 °C.

Charoenvai i sur. (2013) su kod hibridnog sušenja kore voća (mikrovalovi i sušenje vrućim zrakom) pri temperaturama 40, 50 i 60 °C potvrdili također trend opadanja nasipne gustoće uzorka s povećanjem temperature sušenja.

Usporedbom vakuum i hibridnog sušenja uočava se najniža nasipna gustoća uzoraka osušenih pri 60 °C, što bi ujedno značilo da je za to fizikalno svojstvo ta temperatura idealna, jer prema

istraživanju Durance i Wang (2006) niža nasipna gustoća osušenog uzorka povećava njegovu privlačnost kod potrošača.

4.5. REZULTATI ODREĐIVANJE VELIČINE ČESTICA

Veličina čestica je svojstvo povezano sa nasipnom gustoćom. S obzirom na to da male čestice ispunjavaju šupljine između velikih čestica, nasipna gustoća ovisi o veličini i rasponu veličina čestica. Znači što je veći udio manjih čestica, to je nasipna gustoća uzorka veća. Dok na veličinu čestica utjecaj ima udio suhe tvari odnosno vlage u uzorku. Veći sadržaj vlage u uzorku dovodi do povećane ljepljivosti uzorka, a uslijed lijepljenja čestica jedne za drugu nastaje više slobodnog prostora među njima i to rezultira također većom nasipnom gustoćom.

Rezultati određivanja veličine čestica prikazani su u tablici 13 za uzorke osušene pri najnižoj i najvišoj temperaturi, odnosno 40 °C i 80 °C. Rezultati su prikazani kao d [0,1], d [0,5], d [0,9] i predstavljaju najveći promjer od 10 %, 50 % odnosno 90 % čestica, a D[4,3] predstavlja volumenski ponderiranu srednju veličinu čestica. Površina je prikazana kao srednja vrijednost površine svih čestica promatranog uzorka.

Tablica 13. Rezultati određivanja veličine čestica kore bundeve osušene pri 40 i 80 °C

	TEMPERATURA SUŠENJA	d [0,1] (µm)	d [0,5] (µm)	d [0,9] (µm)	D [4,3] (µm)	Površina (m ² /g)
HIBRIDNO SUŠENJE	40 °C	88,136 ± 1,760	323,353 ± 3,358	669,830 ± 16,457	356,315 ± 6,525	0,052 ± 0,001
	80 °C	72,762 ± 0,955	296,751 ± 1,647	620,086 ± 4,656	326,578 ± 1,968	0,062 ± 0,001
VAKUUM SUŠENJE	40 °C	114,240 ± 2,043	406,900 ± 8,635	815,787 ± 14,077	443,076 ± 8,516	0,038 ± 0,001
	80 °C	72,773 ± 2,418	324,638 ± 0,417	659,446 ± 2,266	352,846 ± 1,286	0,061 ± 0,001

Usporedbom dobivenih rezultata u ovom istraživanju sa rezultatima istraživanja koje su proveli Lima i sur. (2019) u kojem su sušili koru bundeve (*Cucurbita moschata* Duch) vrućim zrakom pri temperaturi 40 °C, dobivena vrijednost za d [0,1] je 624,05 ±5,35 μm, d [0,5] je 742,33 ± 2,77 μm te d [0,9] je 987,93 ± 7,53 μm. Uočavamo isti trend porasta vrijednosti, iako su same vrijednosti nešto više radi većih pora sita kojim je uzorak prosijan. Keen i sur. (2016) u svom istraživanju provode sušenje kore bundeve pri 80 °C, ali s prethodnim tretmanom uzorka sa Ca(OH)₂ te također dobivaju uzorke manje veličine čestica, točnije dobivene veličine čestica su u rasponu od 112,05 do 256,46 μm.

Usporedbom rezultata D[4,3] prilikom obje metode sušenja, čestice osušene pri nižoj temperaturi su veće. S obzirom na to očekivala bi se i manja nasipna gustoća uzorka osušenih pri 40 °C u odnosu na uzorke osušene pri 80 °C. No ipak je važno uzeti u obzir i udio vlage zaostale u uzorku nakon sušenja koja je svakako veća kod uzorka sušenih pri nižoj temperaturi.

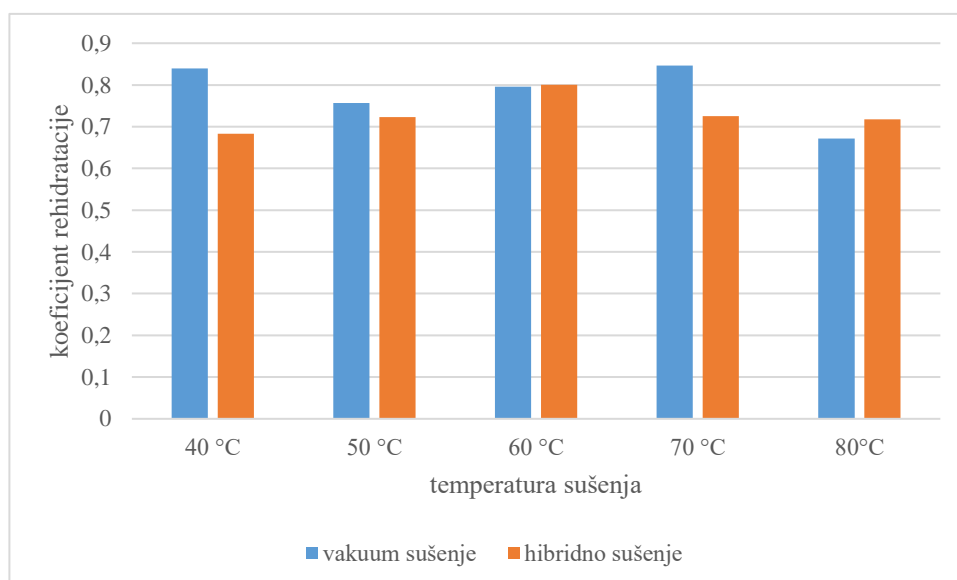
Tablica 14. Rezultati statističke obrade rezultata dobivenih određivanjem veličine čestica kore bundeve osušene vakuum i hibridnim sušenjem

ANOVA ANALIZA			
<i>F</i> -test	<i>F</i> vrijednost	<i>F</i> _{krit} vrijednost	usporedba
	5,261	18,513	$F < F_{krit}$
<i>p</i> -vrijednost	0,149		$p > 0,05$

Statističkom obradom podataka usporedila se srednja vrijednost površine veličine čestica uzorka osušenih pri istim temperaturama, ali različitim metodama sušenja i rezultati su prikazani u tablici 14. Statističkom analizom uspoređen je uzorak sušen pri 40 °C vakuum i hibridnim sušenjem, kao i uzorci sušeni pri najvišoj temperaturi sušenja, odnosno 80 °C. Rezultati pokazuju vrijednost $F < F_{krit}$ što ukazuje da razlika između rezultata nije statistički značajna, kao i p -vrijednost $> 0,05$, odnosno nema statistički značajne razlike između rezultata sušenja pri istoj temperaturi, ali različitim metodama sušenja.

4.6. REZULTATI ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA REHIDRATACIJE I REHIDRATACIJSKOG OMJERA

Sušenjem uzorka fizikalno-kemijska svojstva vlakana mogu se promijeniti što može značajno utjecati na sposobnost rehidracije uzorka prilikom daljnje upotrebe (Garcia Herrera i sur., 2010). Koeficijent rehidracije pokazuje sposobnost rehidracije osušenih uzoraka u usporedbi sa svježim uzorkom i što je njegova vrijednost bliže 1, to je rehidracijska sposobnost tog uzorka veća. Usporedba koeficijenta rehidracije za uzorke osušene vakuum sušenjem te hibridnim sušenjem su prikazani na slici 12.



Slika 12. Usporedba koeficijenta rehidracije kore bundeve osušene vakuum i hibridnim sušenjem

Vrijednost koeficijenta rehidracije kod uzoraka sušenih vakuum sušenjem je u rasponu od 0,6714 do 0,8466. Najveći koeficijent rehidracije ima uzorak osušen pri 70 °C, a najmanji koeficijent rehidracije ima uzorak osušen pri 80 °C i tlaku 10^3 Pa. Ozkan-Karabacak i sur. (2020) su ispitali sposobnost rehidracije uzoraka osušenih vakuum sušenjem pri 60, 70 i 80 °C i tlakovima 150 mbar i 300 mbar te zaključili da je pri višim temperaturama sušenja i nižim tlakovima koeficijent rehidracije uzorka veći.

Koeficijent rehidracije za sušene uzorke kore bundeve dobivene hibridnim sušenjem je u rasponu od 0,6831 do 0,8005. Najveći koeficijent rehidracije ima uzorak sušen pri 60 °C, a

najmanji uzorak osušen pri 40 °C. Na svojstvo rehidracije značan utjecaj ima temperatura sušenja. Na to ukazuju i rezultati istraživanja koje su proveli Sufer i Koray Palazoglu (2019) koji su ispitali svojstvo rehidracije uzoraka kore nara osušenih vrućim zrakom pri temperaturama 55, 65 i 75 °C. Rezultati navedenog istraživanja su pokazali da uzorci osušeni pri višim temperaturama imaju veći koeficijent rehidracije. Osim sušenja vrućim zrakom i upotreba mikrovalova ima znatan utjecaj na koeficijent rehidracije uzorka. Tako je istraživanje Bilbao-Sainz i sur. (2005) pokazalo da su uzorci tretirani mikrovalovima veće snage apsorbirali više vode od uzoraka tretiranih nižim snagama mikrovalova, odnosno pokazali su veći koeficijent rehidracije.

Rehidrationski omjer uspoređuje uzorke nakon rehidracije sa osušenim uzorcima i što je njegova vrijednost manja, znači da je sposobnost suhog uzorka da se rehidratira slabija, uglavnom jer je struktura u većoj mjeri narušena (Jayaraman i sur., 1990). Tablica 15 prikazuje rezultate za rehidrationske omjere sušenih uzoraka kore bundeve vakuum i hibridnim sušenjem.

Tablica 15. Rezultati rehidrationskih omjera kore bundeve osušene vakuum i hibridnim sušenjem

REHIDRATIONSKI OMJER					
TEMPERATURA SUŠENJA	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
VAKUUM SUŠENJE	3,98	3,87	4,22	3,89	4,34
HIBRIDNO SUŠENJE	7,44	6,18	6,25	6,22	6,08

Kod vakuum sušenja najveći rehidrationski omjer ima uzorak osušen pri 80 °C, a najmanji uzorak osušen pri 50 °C. Dugotrajno sušenje pri nižim temperaturama i samim time narušavanja strukture uzorka može biti razlogom manjeg rehidrationskog omjera. To potvrđuju rezultati istraživanja Wang i sur. (2018) koji su također uočili veći rehidrationski omjer pri višim temperaturama kod vakuum sušenja. Takvu pojavu objašnjavaju Krokida i Maroulis (2001) i Vega-Galvez i sur. (2008) utjecajem visoke temperature na širenje tkiva uzorka i strukturna oštećenja samog uzorka.

Kod hibridnog sušenja najveći rehidrationski omjer ima uzorak osušen pri 40 °C, a najmanji uzorak osušen pri 80 °C. Smanjenje rehidrationskog omjera pri višoj temperaturi sušenja može se objasniti narušenom strukturom uzorka. Takve rezultate potvrđuje i istraživanje Benseddik i sur. (2019).

Znatno većem rehidrationskom omjeru kod uzoraka osušenih hibridnim sušenjem u odnosu na rehidrationski omjer uzoraka osušenih vakuum sušenjem, svakako je doprinijela primjena mikrovalova prije sušenja vrućim zrakom. Takve rezultate potvrđuje i istraživanje Shu i sur. (2020) i brojnih drugih.

4.6.1. Rezultati određivanja boje uzoraka nakon rehidracije

Boja sušenih uzoraka kore bundeve nakon rehidracije je uspoređena sa standardom, odnosno bojom uzorka svježije kore. Rezultati su prikazani u tablicama 16 i 17.

Tablica 16. Promjena parametara boje (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) i ukupna promjena boje (ΔE) vakuum sušene kore bundeve nakon rehidracije

REHIDRATACIJA	TEMP °C	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
VAKUUM SUŠENJE	40 °C	-0,8	-8,4	12,6	15,1
	50 °C	-1,0	-11,2	8,7	14,2
	60 °C	-1,1	-9,5	11,8	15,2
	70 °C	-5,9	-11,4	9,7	16,1
	80 °C	1,0	-11,2	12,6	16,9

Kod uzoraka dobivenih vakuum sušenjem, ukupna promjena boje varira u rasponu od 14,2 do 16,9, gdje je najveća promjena uočena u uzorku osušenom pri temperaturi 80 °C i tlaku 10^3 Pa. Vrijednosti ΔL^* su u rasponu od -0,8 do -5,9, što pokazuje da su i nakon rehidracije ti uzorci tamniji od standarda, ali u manjoj mjeri. Također i vrijednosti Δa^* su negativne te i dalje je najveća promjena zabilježena kod uzorka osušenog pri 70 °C, kao i kod istog uzorka prije rehidracije. S obzirom na Δb^* , promjena boje rehidratiranog uzorka u najvećoj mjeri žuća od standarda ponovno kod uzorka osušenog pri 80 °C, ali zajedno s njim jednaku promjenu pokazuje i rehidratirani uzorak osušen pri 40 °C.

Tablica 17. Promjena parametara boje (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) i ukupna promjena boje (ΔE) hibridno sušene kore bundeve nakon rehidracije

REHIDRATACIJA	TEMP °C	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
HIBRIDNO SUŠENJE	40 °C	-5,4	-13,1	10,3	17,6
	50 °C	-2,5	-10,0	11,8	15,7
	60 °C	-2,9	-10,5	12,0	16,2
	70 °C	-4,2	-9,4	14,9	18,1
	80 °C	-6,0	-10,3	13,0	17,7

Kod uzoraka dobivenih hibridnim sušenjem nakon rehidratacije ukupna promjena boje je u rasponu od 15,7 do 18,1 i to je malo veća promjena u usporedbi sa promjenom boje osušenih uzoraka prije rehidratacije i koji su prikazani u tablici 12. Vrijednosti ΔL^* su u rasponu od 2,5 do 6,0 i ponovno kao i kod uzoraka osušenih upotrebom vakuum sušenja dobivamo uzorke znatno manje tamne u odnosu na standard nakon što su rehidratirani. Vrijednosti Δa^* ukazuju na najzeleniji uzorak u odnosu na standard pri temperaturi 40 °C, a Δb^* pokazuje nekoliko puta žuću boju rehidratiranih uzoraka u usporedbi s uzorcima prije rehidratacije. Najveća promjena je uočena kod uzorka osušenog pri 70 °C.

Tablica 18. Rezultati statističke obrade rezultata dobivenih određivanjem boje vakuum sušene kore bundeve nakon rehidratacije

ANOVA ANALIZA			
<i>F</i> -test	<i>F</i> vrijednost	<i>F</i> _{krit} vrijednost	usporedba
	0,018	3,056	$F < F_{krit}$
<i>p</i> -vrijednost	0,999		$p > 0,05$

Statističkom analizom rezultata boje rehidratiranih uzoraka osušenih pri različitim temperaturama utvrđeno je da nema statistički značajne razlike niti kod uzoraka osušenih vakuum sušenjem niti hibridnim sušenjem. S obzirom na vrijednosti $F < F_{krit}$ i *p*-vrijednost $> 0,05$, što je utvrđeno prema rezultatima u tablicama 18 i 19.

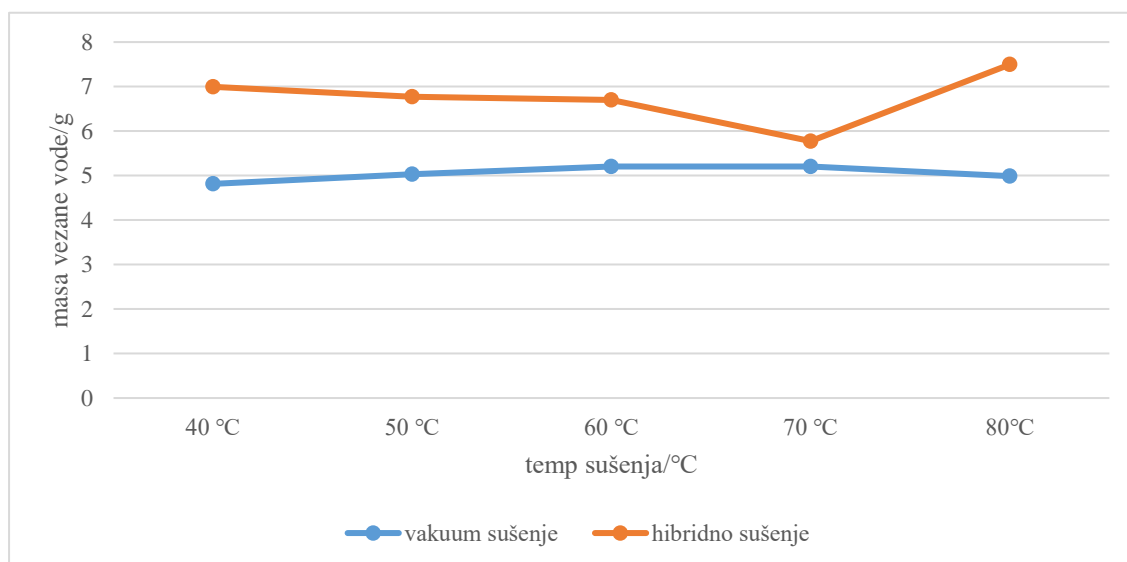
Tablica 19. Rezultati statističke obrade rezultata dobivenih određivanjem boje hibridno sušene kore bundeve nakon rehidratacije

ANOVA ANALIZA			
<i>F</i> -test	<i>F</i> vrijednost	<i>F</i> _{krit} vrijednost	usporedba
	0,041	3,056	$F < F_{krit}$
<i>p</i> -vrijednost	0,996		$p > 0,05$

4.7. REZULTATI ODREĐIVANJA KAPACITETA VEZANJA VODE I ULJA

Određivanje kapaciteta vezanja vode uzorka ovisi o hidratacijskim svojstvima dijetalnih vlakana tog uzorka i njihovoj sposobnosti zadržavanja vode. Dijetalna vlakna sa snažnim hidratacijskim svojstvima imaju utjecaj na zdravlje čovjeka, na način da povećavaju masu stolice i potencijalno mogu usporiti apsorpciju hranjivih tvari iz crijeva (Gallaher i Schneen, 2001). Dijetalna vlakna također mogu povećati viskoznost kada se koriste u sastavima hrane, a procesi kao što su mljevenje, sušenje i zagrijavanje mogu imati utjecaja na fizikalna svojstva vlakana (Guillon i Champ, 2000).

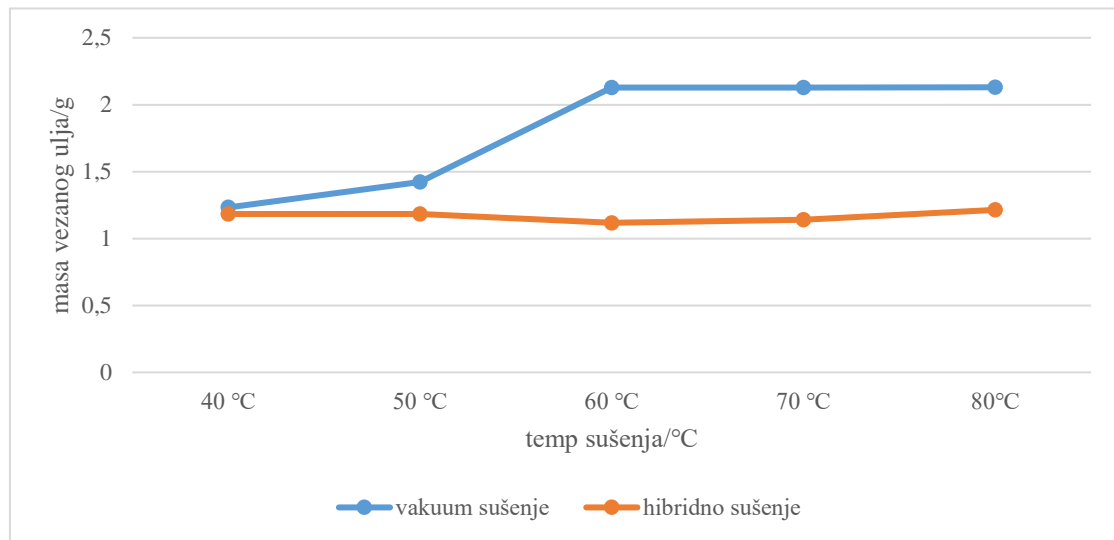
Kod uzoraka osušenih vakuum sušenjem masa vezane vode je u rasponu od 4,8133 g do 5,2033 g. Najmanji kapacitet vezanja vode je kod uzorka osušenog pri 40 °C, a najveći i jednak za uzorke osušene pri 60 °C i 70 °C. Rezultati su prikazani na slici 13.



Slika 13. Masa vezane vode (g) u kori bundeve osušene vakuum i hibridnim sušenjem

Kod uzoraka osušenih hibridnim sušenjem masa vezane vode je u rasponu od 5,7739 g do 7,4953 g. Najveći kapacitet vezanja vode ima uzorak osušen pri 80 °C. To djelomično potvrđuju i rezultati istraživanja Ghanem Romdhane i sur. (2015) koji su ispitivali vrijednosti kapaciteta vezanja vode i ulja kore limuna nakon sušenja vrućim zrakom pri temperaturama 40 °C, 50 °C i 60 °C. Rezultati tog istraživanja pokazuju manji kapacitet vezanja vode nakon sušenja pri nižoj temperaturi i povećanje kapaciteta vezanja vode povećanjem temperature sušenja odnosno skraćivanjem vremena sušenja.

Kod kapaciteta vezanja ulja, Femenia i sur. (1997) te Lopez i sur. (1996) smatraju da sposobnost vezanja ulja nekog uzorka ovisi o svojstvima površine, općenito gustoći uzorka, debljini i hidrofobnoj prirodi vlakana tog uzorka. Svojstvo vezanja ulja može biti poželjno pri zadržavanju okusa, a osim toga sastojci sa visokim kapacitetom vezanja ulja mogu doprinijeti stabilnosti prehrambenih proizvoda sa visokim udjelom masti i emulzijama (Thebaudin i sur., 1997).



Slika 14. Masa vezanog ulja (g) u kori bundeve osušene vakuom i hibridnim sušenjem

Kod uzoraka kore bundeve osušenih primjenom vakuom sušenja masa vezanog ulja je u rasponu od 1,4217 g do 2,1300 g, a najveće je pri temperaturi sušenja 80 °C (slika 14). Najmanja sposobnost vezanja ulja je uočena kod uzorka osušenog pri 40 °C. Ako se uspoređuju uzorci osušeni vakuom i hibridnim sušenjem može se primjetiti da je masa vezanog ulja kod uzoraka osušenih vakuom sušenjem dvostruko veća u odnosu da uzorke dobivene hibridnih sušenjem, osim kod onih osušenih pri 40 i 50 °C.

Usporedbom uzoraka, osušenih hibridnim sušenjem pri različitim temperaturama, rezultati pokazuju sposobnost vezanja ulja mase od 1,1176 g do 1,21415 g , a najveće je kod uzorka osušenog pri 80 °C. Najmanju sposobnost vezanja ulja ima uzorak osušenog pri 60 °C hibridnim sušenjem. U već spomenutom istraživanju Ghanem Romdhane i sur. (2015) povećanjem temperature raste i kapacitet vezanja ulja.

4.8. REZULTATI ODREĐIVANJA UKUPNIH FENOLA

Maseni udio ukupnih fenolnih spojeva u uzorcima je izražen kao vrijednost galne kiseline (mg) prisutne u suhoj tvari (g), a rezultati su prikazani u tablici 20.

Kod svježeg uzorka kore bundeve, udio fenolnih spojeva je $4,21 \pm 0,001$ mg GAE/ g s.t.(u gramu suhe tvari) što je u skladu s rezultatima istraživanja drugih autora. Hagos i sur. (2023) su za različite sorte bundeve dobili vrijednosti ukupnih fenolnih spojeva u ekstraktima svježe kore u rasponu od $3,54 \pm 1,4$ mg GAE/g s.t. do $3,85 \pm 2,1$ mg GAE/g s.t.

Tablica 20. Sadržaj ukupnih fenola (mg GAE/g s.t.) u svježem, vakuum i hibridno sušenim uzorcima kore bundeve

	UKUPNI FENOLI (mg GAE/ g s.t.)				
SVJEŽI UZORAK	4,21				
	UKUPNI FENOLI (mg GAE/ g s.t.)				
Temperatura sušenja	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
VAKUUM SUŠENJE	1,98	1,72	2,13	3,01	2,47
HIBRIDNO SUŠENJE	2,51	2,36	2,28	2,28	3,73

Kod uzoraka osušenih vakuum sušenjem udio fenolnih spojeva je u rasponu od $1,72 \pm 0,007$ mg GAE/ g s.t. do $3,01 \pm 0,035$ mg GAE/ g s.t.. Najveći udio je u uzorku osušenom pri 70 °C, dok je najmanji udio u uzorku osušenom pri 50 °C. To potvrđuju i rezultati istraživanja Farahmandfara i sur. (2019) koji su također dokazali da prilikom sušenja kore naranče u vakuumu pri temperaturama 45 °C i 60 °C, razine fenolnih spojeva u osušenim uzorcima su veće pri višim temperaturama.

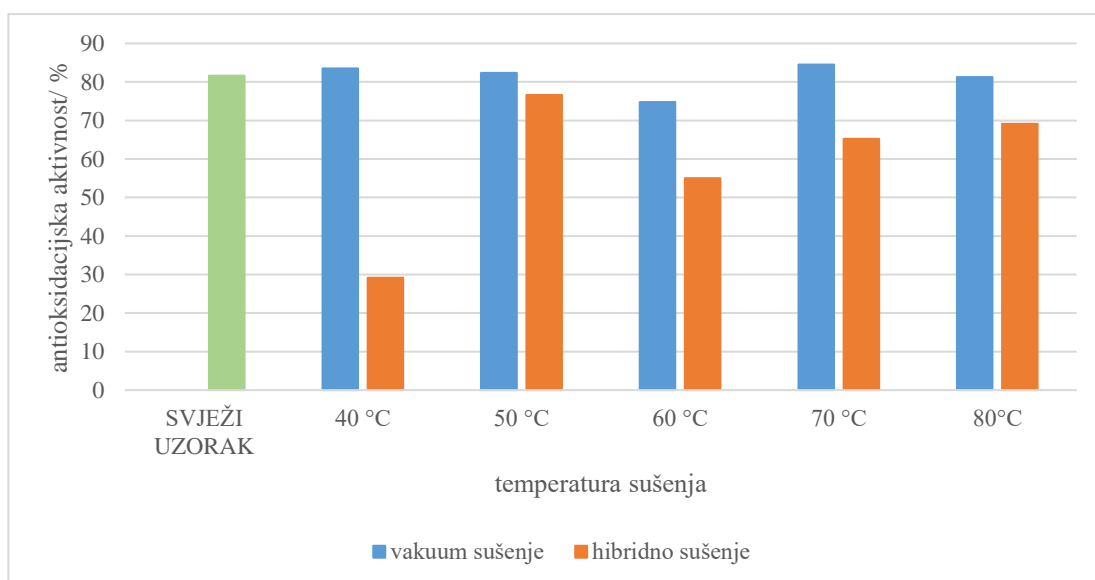
Maseni udio fenolnih spojeva za uzorke dobivene hibridnim sušenjem je u rasponu od $2,28 \pm 0,016$ mg GAE/ g s.t. do $3,73 \pm 0,020$ mg GAE/ g s.t. Udio fenolnih spojeva u ovim uzorcima viši je nego kod uzoraka kore bundeve sušene vakuum sušenjem. Najveći udio je dobiven u uzorku osušenom pri 80 °C, a najniži u uzorcima osušenim pri 60 °C i 70 °C. U istraživanju koje su proveli Hussain i sur. (2021), koji su također ispitivali svojstva kore bundeve i sušili je vrućim zrakom pri 60 °C, udio ukupnih fenolnih spojeva bio je $0,934 \pm 0,69$ mg GAE/g s.t. Zatim Mala i Kurian (2016) su sušenjem kore bundeve vrućim zrakom pri temperaturi 55 ± 5 °C dobili $5,19 \pm 0,05$ mg GAE/ g s.t., dok su Jarungjitaree i Naradisorn (2018) dobili različite vrijednosti ukupnog udjela fenolnih spojeva ovisno o otapalu i koncentraciji otapala koje se koristilo za pripremu ekstrakta. Upotrebom 95 %-tnog metanola kao ekstrakcijskog otapala

dobiveni udio fenolnih spojeva je $1,44 \pm 1,20$ mg GAE/g s.t., 70 %-tnog metanola $1,55 \pm 0,87$ mg GAE/g s.t., a 50 %-tnog metanola $2,02 \pm 0,24$ mg GAE/g s.t.

Izlaganjem biljnih tkiva visokim temperaturama sušenja dolazi do razgradnje staničnih stijenki čime se povećava i ekstrakcija prisutnih spojeva (Hossain i sur., 2010) što može biti razlog većeg udjela fenolnih spojeva pri višoj temperaturi sušenja. Osim toga pri višim temperaturama kraće je i vrijeme sušenja te su uzorci kraći vremenski period izloženi destruktivnim učincima visokih temperatura sušenja (Chua i sur., 2019).

4.9. REZULTATI ODREĐIVANJA ANTIOKSIDACIJSKE AKTIVNOSTI

U nekim slučajevima antioksidacijska aktivnost osušene bundeve se ne razlikuje u velikoj mjeri od antioksidacijske aktivnosti svježe bundeve. Razlog tomu mogu biti fenolni spojevi, najčešće su to hidroksibenzojeve i derivati hidroksicimetne kiseline, koji su kovalentno vezani za netopljive polimere i na taj način se njihova prirodna antioksidacijska aktivnost smanjuje. No, pri temperaturama sušenja te veze pucaju i spomenute kiseline se oslobađaju i tako se zadržava antioksidacijska aktivnost osušenog proizvoda (Henriques i sur., 2012). Rezultati antioksidacijske aktivnosti uzoraka osušenih vakuum i hibridnim sušenjem određene korištenjem stabilnog 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikala prikazani su na slici 15.



Slika 15. Rezultati određivanja antioksidacijske aktivnosti (%) u kori bundeve osušene vakuum i hibridnim sušenjem

Kod uzoraka kore bundeve osušenih vakuum sušenjem dobiveni su rezultati antioksidacijske aktivnosti veće od početne antioksidacijske aktivnosti svježeg uzorka kore, što je vidljivo i na grafičkom prikazu na slici 16. Najveću antioksidacijsku aktivnost ima uzorak osušen pri 70 °C, a najmanju antioksidacijsku aktivnost ima uzorak osušen pri 60 °C. Rezultati istraživanja Gomez-Mejia i sur. (2023) za sušenu kore klementine u vakuumu pri temperaturama 40 i 60 °C pokazali su da je antioksidacijska aktivnost uzorka osušenog pri 40 °C veća od onog osušenog pri 60 °C, što nije u skladu s rezultatima dobivenim u ovom istraživanju. Razlog može biti prisutnost različitih fenolnih spojeva, koji pokazuju i različitu stabilnost pri različitim temperaturama. Niža temperatura može biti poželjnija za sušenje uzoraka budući da se veća antioksidacijska aktivnost može opisati kao posljedica otpuštanja niza flavonoida pri nižim temperaturama kao što je opisano u istraživanju Papoutsis i sur. (2017). U skladu s tim, kriterij odabira metode sušenja trebao bi se zasnivati na činjenici koje se bioaktivne komponente žele u najvećoj mjeri zadržati.

Kod uzoraka kore bundeve osušenih hibridnim sušenjem najveću antioksidacijsku aktivnost ima uzorak osušen pri 50 °C, a najnižu uzorak osušen pri 40 °C. U svim osušenim uzorcima kore bundeve hibridnim sušenjem, antioksidacijska aktivnost manja je nego u svježoj kori bundeve za razliku od uzoraka sušenih vakuum sušenjem od kojih većina ima veću antioksidacijsku aktivnost od svježe kore.

Garau i sur. (2007) ispitivali su sušenje nusproizvoda citrusa (kore) vrućim zrakom pri temperaturama od 30 do 90 °C te su prema dobivenim rezultatima zaključili da je antioksidacijska aktivnost najniža kod najviših temperatura sušenja (80 i 90 °C) te kod temperatura pri kojima je sušenje najduže trajalo (40 i 50 °C). Prema njihovim rezultatima temperatura sušenja 60 °C se pokazala idealnom. Osim navedenog istraživanja, M'Hiri i sur. (2015) su konvekcijskim sušenjem kore naranče pri temperaturama 40, 60 i 80 °C najveću antioksidacijsku aktivnost utvrdili kod uzorka osušenog pri 80 °C što su objasnili znatno kraćim vremenom sušenja. Sušenje je trajalo 75 minuta pri 80 °C, 120 minuta pri 60 °C i 240 minuta pri 40 °C. U skladu s tim su i rezultati ovog provedenog istraživanja za antioksidacijsku aktivnost osušene kore bundeve koja je veća kod uzorka osušenog pri 80 °C u odnosu na one sušene pri temperaturama 60 i 40 °C. Optimalnom temperaturom za očuvanje antioksidacijske aktivnosti sušenih uzoraka konvekcijskim sušenjem uz primjenu mikrovalova mogla bi se smatrati temperatura sušenja od 50 °C.

5. ZAKLJUČCI

1. Najbrže osušen uzorak kore bundeve je dobiven vakuum sušenjem pri 80 °C.
2. U uzorcima kore bundeve sušenim hibridnim sušenjem određen je veći udio suhe tvari (izuzetak je uzorak osušenog pri 60 °C koji ima jednak udio suhe tvari kod oba sušenja).
3. Najveća promjena boje uočena je kod uzoraka sušenih pri najvišoj temperaturi te najdužem vremenu sušenja.
4. Nasipna gustoća najveća je kod uzorka sušenog hibridnim sušenjem pri 40 °C, a najmanja kod uzorka sušenog vakuum sušenjem pri 60 °C.
5. Veličina čestica je veća je kod uzoraka osušenih pri nižim temperaturama u oba procesa sušenja, što se smatra poželjnijim svojstvom, jer znači i manju nasipnu gustoću.
6. Kod rehidratiranih uzoraka promjena boje je najveća pri najvišim temperaturama i najdužem vremenu sušenju kod oba procesa sušenja.
7. Rehidrationska svojstva bolja su kod uzoraka sušenih hibridnim sušenjem. Uzorak kore bundeve osušen pri 60 °C sa obje metode sušenja pokazuje najbolju sposobnost rehidratacije.
8. Kapacitet vezanja vode veći je kod uzoraka sušenih hibridnim sušenjem, a kapacitet vezanja ulja kod uzoraka sušenih vakuum sušenjem. Porastom temperature sušenja kod oba sušenja kapaciteti vezanja vode i ulja uglavnom rastu.
9. Najveći sadržaj fenolnih spojeva određen je u uzorku sušenom pri temperaturi 70 °C kod vakuum sušenja i temperaturi 80 °C kod hibridnog sušenja.
10. Antioksidacijska aktivnost sušenih uzoraka kore bundeva viša je u uzorcima sušenim vakuum u odnosu na uzorke osušene hibridnim sušenjem.

6. LITERATURA

Achu MB, Fokou E, Kansci G, Fotso M (2015) Chemical evaluation of protein quality and phenolic compound levels of some *Cucurbitaceae* oilseeds from Cameroon. *African J Biotechnol*, **12**.

Alabiden Tlais AZ, Fiorino GM, Polo A, Filannino P, Di Cagno R (2020) High-value compounds in fruit, vegetables and cereal byproducts: An overview of potential sustainable reuse and exploitation. *Mol*, **25**, 2987.

Amin MZ, Islam T, Uddin MR, Uddin MJ, Rahman MM, Abdus Satter M (2019) Comparative study on nutrient contents in the different parts of indigenous and hybrid varieties of pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon*, **5**.

Amin MZ, Rity TI, Uddin MR, Rahman M, Uddin MJ (2020) A comparative assessment of anti-inflammatory, anti-oxidant and anti-bacterial activities of hybrid and indigenous varieties of pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.) seed oil. *Biocat Agri Biotechnol*, <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101767>

Antolovich M, Prenzler PD, Patsalides E, McDonald S, Robards K (2001) Methods for testing antioxidant activity, doi:10.1039/B009171P

AOAC (1995) Official methods of analysis (16th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists

Appiah F, Asibuo J, Patrick K (2011) Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) varieties in Ghana. *Afr J Food Sci*, **5**, 100-104.

Apostol L, Berca L, Mosoiu C, Bader M, Bungau S, Oprea OB, Cioca G (2018) Partially defatted pumpkin (*Cucurbita maxima*) seeds- a rich source of nutrients for user n food products. *National research&development institute for food bioresources*, Bucharest, Romania.

Arevalo-Pinedo A i Murr FEX (2006) Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage. *J Food Eng*, **76**, 562-567.

Bai Y, Zhang M, Atluri SC, Chen J, Gilbert RG (2020) Relations between digestibility and structures of pumpkin starches and pectins. *Food Hydrocol*, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105894>

Baississe S, Seloua D, Djamel F, Samir M (2022) Structure of pumpkin pectin and its effect on its technological properties. *Appl Rheol*, **32**, 34-55.

Batool M, Nawaz Ranjha MMA, Roobab U, Manzoor MF, Farooq U, Nadeem HR, Nadeem M, Kanwal R, Abdelgawad H, Al Jaouni SK, Selim S, Ibrahim SA (2022) Nutritional Value, Phytochemical Potential and Therapeutic Benefits of Pumpkin (*Cucurbita* sp.). *Plants*, **11**: 1394.

Benko B (2019) Uvjeti uzgoja i sortiment tikvenjača . *Glasilo biljne zaštite* **3**.

Benseddik A, Azzi A, Zioune MN, Khanniche R, Besombes C (2019) Empirical and diffusion models of rehydration process of differently dried pumpkin slices. *J Saudi Soc Agric Sci*, **18**, 401-410.

Beristain CI, Garcia HS, Vernon-Carter EJ (2001) Spray dried Encapsulation of Cardamom (*Elettaria cardamomum*) Essential Oil with Mesquite (*Prosopis juliflora*) Gum. *Food Sci Technol* **34**, 398-401.

Bilbao-Sainz C, Andres A, Fito P (2005) Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. *J Food Eng*, **68**, 369-376.

Brand Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a Free-Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT* **28**, 25-30.

Brian H (2008) Utilization of squash waste, Massey University, Palmerston North, New Zeland

Charoenvai SD, Yingyuen W, Jewyee A, Rattanadecho P, Vongpradubchai S (2013) Analysis of energy in a drying process of particleboard using a combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt system (CMCB). *Sci Technol Asia*, **18**, 1-15.

Chua LYW, Chnong CH, Chua BL, Figiel A (2019) Influence of drying methods on the antibacterial, antioxidant and essential oil volatile composition of herbs: a review. *Food Bioproc Technol*, **12**, 450-476.

Chuyen HV, Roach PD, Golding JB, Parks SE, Nguyen MH (2016) Effects of four different drying methods on the carotenoid composition and antioxidant capacity of dried Gac peel. *J Sci Food Agric*, **97**, 1656-1662.

Comert ED i Gokmen V (2018) Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Res Int*, **205**, 76-93.

Decker EA, Park Y (2010) Healthier meat products as functional foods. *Meat Sci*. **86**, 49–55.

Devi NM, Prasad RV, Sagarika N (2018) A review on health benefits and nutritional composition of pumpkin seeds. *Int Jour Chem Stud*, **6**: 1154-1157.

Dhiman AK, Sharma KD, Attri S (2009) Functional constituents and processing of pumpkin: A review. *J Food Sci Technol*, **46**, 411.

Drew (2023) Hokkaido pumpkin: planting, harvesting and uses. *Plantura Magazine*, <https://plantura.garden/uk/vegetables/squash/hokkaido-pumpkin>

Dujmić F, Brnčić M, Karlović S, Bosiljkov T, Ježek D, Tripalo B, Mofardin I (2013) Ultrasound-assisted infrared drying of pear slices: textural issues. *J Food Process Eng*, **36**, 397-406.

Durance TD, Wang JH (2006) Energy consumption, density and rehydration rate of vacuum microwave and hot-air convection dehydrated tomatoes. *J Food Sci*, **67**, 2212-2216.

Elkhalifa AEO, Schiffler B, Bernhardt R (2005) Effect of fermentation on the functional

properties of sorghum flour. *Food chem* **92**, 1-5.

Farahmandfar R, Tirgarian B, Dehghan B, Nemati A (2020) Comparison of different drying methods on bitter orange (*Citrus aurantium L.*) peel waste: changes in physical (density and color) and essential oil (yield, composition, antioxidant and antibacterial) properties of powders. *J Food Measur Char*, **14**, 862-875.

Farahmandfar R, Tirgarian B, Dehghan B, Nemati A (2019) Changes in chemical composition and biological activity of essential oil from Thomson navel orange (*Citrus sinensis L. Osbeck*) peel under freezing, convective, vacuum and microwave drying methods. *Food Sci Nutr*, **8**, 124-138.

Ferrari CC, Marconi Germer SP, Alvim ID, Aguirre JM (2013) Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. *Dry Technol*, **30**, 154-163.

Feng H i Tang J (1998) Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *J Food Sci*, **63**, 679-683.

Feng H, Tang J, Cavalieri RP, Plumb OA (2001) Heat and mass transport in microwave drying porous materials in a spouted bed. *Fluid Mech Tran Phen*, **47**, 1499-1512.

Femenia A, Lefebvre C, Thebaudin Y, Robertson J, Bourgeois C (1997) Physical and sensory properties of model food supplemented with cauliflower fiber. *J Food Sci*, **62**, 635-639.

Gallaher DD i Schneen BO (2001) Effect of dietary fiber on protein digestability and utilization. *CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition*, **4**, 133-160.

Garau MC, Simal S, Rossello C, Femenia A (2007) Effect o fair-drying temperature on physicochemical properties of dietary fiber and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium v. Canoneta*) by-products. *Food Chem*, **104**, 1014-1024.

Garcia Herrera P, Sanchezmata MC, Camara M (2010) Nutritional characterization of tomato fiber as a useful ingredient for food industry. *Inn Food Sci Emerg Technol*, **11**, 707-711.

Gawel-Beben K, Czech K, Strzepek-Gomolka M, Czop M, Szczpanik M, Lichtarska A, Kukula-Koch W (2022) Assessment of *Cucurbita spp.* peel extracts as potential sources of active substances for skin care and dermatology. *Mol*, **27**, 7618.

George SS i Saewan SA (2020) Preparation of Pumpkin Pulp and Peel Flour and Study Their Impact in the Bicsuit Industry. *J Biol, Agric Health*, **10**, 2224-3208.

Gomez-Mejia E, Sacristan I, Rosales-Conrado N, Leon-Gonzalez ME, Madrid Y (2023) Effect of storage and drying treatments on antioxidant activity and phenolic composition of lemon and clementine peel extracts. *Mol*, **28**, 1624.

Guillon F i Champ M (2000) Structural and physical properties of dietary fibres and consequences of processing on human physiology. *Food Res Int*, **33**, 233-245.

Ghanem Romdhane N, Bonazzi C, Kechaou N, Mihoubi NB (2015) Effect of air-drying temperature on kinetics of quality attributes of lemon (*Citrus limon cv. Lunari*) peels. *Dry Technol Int J*, **33**, 1581-1589.

Halik G, Lozicki A, Wilczak J, Arkuszewska E, Makarski M (2018) Pumpkin (*Cucurbita Maxima D.*) Silage as a Feed That Improves Nutritional Properties of Cow's Milk. *J Agric Sci Tehnol*. **20**, 1383-1394.

Hagos M, Chandravanshi BS, Redi-Abshiro M, Yaya EE (2023) Determination of total phenolic, total flavonoid, ascorbic acid contents and antioxidant activity of pumpkin flesh, peel and seeds. *Bull Chem Soc Ethip*. **37**, 1093-1108.

Henriques F, Guine E, Joao Barroca M (2012) Chemical properties of pumpkin dried by different methods. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, **7**, 98-105.

Hosen M, Rafii MY, Mazlan N, Jusoh M, Oladosu Y, Chowdhury FN, Muhammad I, Khan MH (2021) Pumpkin (*Cucurbita spp.*): A Crop to Mitigate Food and Nutritional Challenges. *Hortic*, **7**, 352.

Hussain A, Kausar T, Sehar S, Sarwar A, Ashraf AH, Jamil MA, Noreen S, Rafique A, Iftikhar K, Quddoos MY, Aslam J, Majeed MA (2022) A comprehensive review of functional ingredients, especially bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds and their health benefits. *Food Chem Ad*, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100067>

Hussain A, Kausar T, Din A, Murtaza MA, Jalim MA, Noreen S, Rehman H, Shabbir H, Ramzan MA (2021) Determination of total phenolic, flavonoid, carotenoid and mineral content in peel, flesh and seeds of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *J Food Proces Preserv*, <https://doi.org/10.1111/jfpp.15542>

Jarungyitaree P i Naradisorn M (2018) Evaluation of antioxidant and antifungal activities of pumpkin by-product and its application in banana. *J Food Agric Technol*, **4**, 129-133.

Jayaraman KS, Das Gupta DK, Babu Rao N (1990) Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *Int J Food Sci Technol*, **25**, 47-60.

Jun HI, Lee CH, Song GS, Kim YS (2006) Characterization of the pectin polysaccharides from pumpkin peel. *LWT- Food Sci Technol*, **39**, 554-561.

Keen JLH, Taip FS, Ibrahim MN, Aziz NA, Shishir MRI (2016) Effect of pre-treatment on the physical properties of pumpkin powder. *Austral J Bas Appl Sci*, **10**, 146-151.

Keong Lau W, Van Chuyen H, Vuong QV (2018) Physical properties, carotenoids and antioxidant capacity of carrot (*Daucus carota L.*) peel as influenced by different drying treatments. *De Gruyter*, <https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0042>

Khatib S, Muhieddine M (2020) Nutritional profile and medicinal properties of pumpkin fruit

pulp. *H Ben Food*, DOI: 10.5772/intechopen.89274

Kim Young M, Kim Jin E, Kim YN, Choi C, Lee BH (2012) Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts. *Nutri Res Pract*, **6**, 21-27.

Krokida MK i Marinos-Kouris D (2003) Rehydration kinetics of dehydrated products. *J Food Eng*, **57**, 1-7.

Krokida MK i Maroulis ZB (2001) The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *Int J Food Sci Technol*, **36**, 53-59.

Kulczynski B, Gamza-Michalowska A (2019) The Profile of Carotenoids and Other Bioactive Molecules in Various Pumpkin Fruits (*Cucurbita Maxima Duchesne*) Cultivars. *Mol* **24**, 2-17.

Kulaitiene J, Cerniauskiene J, Danilcenko H, Jariene E, Jukneviene E (2014) Pumpkin Fruit Flour as a Source for Food Enrichment in Dietary Fiber. *Not bot horti agro cluj- napoca*, **42**.

Leichtweis MG, Molina AK, Petropoulos SA, Carochi M, Pires TCSP, Calhelha R, Oliveira MBPP, Pereira C, Barros L (2023) Valorization of Pumpkin Peel as a Source of Bioactive Compounds: Optimization of Heat- and Ultrasound-Assisted Extraction. *Mol*, **28**: 3168.

Lima PM, Rubio FTV, Silva MP, Pinho LS, Kasemodel MGC, Favaro-Trindade CS, Dacanal GC (2019) Nutritional Value and Modeling of Carotenoids Extraction from Pumpkin (*Cucurbita Moschata*) Peel Flour By-Product. *Int J Food Eng* <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0381>

Lima PM, Fernanda TVR, Silva MP, Pinho LS, Kasemodel MGC, Favaro-Trindade CS, Dacanal GC (2019) Nutritional value and modeling of carotenoids extraction from pumpkin (*Cucurbita Moschata*) peel flour by-product. *De Gruyter*, <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0381>

Lopez G, Ros G, Rincon F, Periago MJ, Martinez MC, Ortuno J (1996) Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke. *J Agric Food Chem*, **44**, 2773-2778.

Ma Q, Bi J, Yi J, Wu X, Li X, Zhao Y (2021) Stability of phenolic compounds and drying characteristics of apple peel as affected by three drying treatments. *Food Sci Human Wellness*, **10**, 174-182.

Magangana TP, Makunga NP, Fawole OA, Opara UL (2020) Processing factors affecting the phytochemical and nutritional properties of pomegranate (*Punica granatum L.*): A review. *Mol*, **25**, 4690.

Mala KS i Kurian AE (2016) Nutritional composition and antioxidant activity of pumpkin wastes. *Int J Pharm, Chem Biol Sci*, **6**, 336-344.

Marelja M, Dujmić F, Ježek D, Škegro M, Bosiljkov T, Karlović S, Lasić M, Brnčić M (2020) Vakuom sušenje u prehrambenoj industriji. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, **15**, 94-101.

Marušić K (2019) Mjerenje boje kolorimetrom - Institut Ruđer Bošković, <https://www.irb.hr/Zavodi/Zavod-za-kemiju-materijala/Laboratorij-za-radijacijsku-kemiju-i-dozimetriju/Usluge/Mjerenje-boje-kolorimetrom>, pristupljeno 05. rujna 2023.

Matin A (2012) Qualitative changes of hazelnuts in process of conductive drying. *Doctoral thesis, University of Zagreb, Faculty of agriculture*.

M'Hiri N, Ioannou I, Ghoul M, Mihoubi Boudhrioua N (2015) Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *J New Sci*, **52**.

Mishra S i Sharma K (2019) Development of pumpkin peel cookies and its nutritional

composition. *J Pharmacog Phytochem*, **8**, 370-372.

Ninčević Grassino A, Rimac Brnčić S, Badanjak Sabolović M, Šic Žlabur J, Marović R, Brnčić M (2023) Sadržaj karotenoida i profili proizvoda i nusproizvoda od bundeve. *Mol* **28**, 858.

Nyam KL, Lau M, Tan CP (2013) Fibre from pumpkin (*Cucurbita Pepo L.*) seeds and rinds: Physico-chemical properties, antioxidant capacity and application as bakery product ingredients. *Mal J Nutr*, **19**, 99-109.

Ough CS i Amerine MA (1998) Phenolic compounds. Methods for analysis of musts and wines, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA

Ozkan-Karabacak A, Acoglu B, Omeroglu PY, Copur OU (2020) Microwave pre-treatment for vacuum drying of orange slices: Drying characteristics, rehydration capacity and quality properties. *J Food Process Eng*, DOI: 10.1111/jfpe.13511

Papoutsis K, Pristijono P, Golding JB, Stathopoulos CE, Bowyer MC, Scarlett CJ, Vuong QV (2017) Effect of vacuum-drying, hot air-drying and freeze-drying on polyphenols and antioxidant capacity of lemon (*Citrus limon*) pomace aqueous extracts. *Intl J Food Sci Technol*, **52**, 880-887.

Perez Gutierrez, RM (2016) Review of *Cucurbita pepo* (pumpkin) its phytochemistry and pharmacology. *Med Chem*, **6**, 12-21.

Politowicz J, Lech K, Sanchez-Rodriguez L (2018) Volatile composition and sensory profile of oyster mushroom as affected by drying method. *Dry technol*, **36**, 685-696.

Radojčin M, Pavkov I, Brusać Kovačević D, Putnik P, Wiktor A, Stamenković Z, Gere A (2021) Effect of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on

the quality of dried fruit: a review. *Processes*, **9**.

Režek Jambrak A, Lelas V, Herceg Z, Badanjak M, Werner Z (2010) Primjena učtrazvuka visoke snage u sušenju voća i povrća. *Kem Ind*, **59**, 167-177.

Roongruangsri W i Bronlund JE (2016) Effect of air-drying temperature on physico-chemical, powder properties and sorption characteristics of pumpkin powders. *Int Food Res J*, **23**, 962-972.

Sagagi B, Garba B, Usman N (2009) Studies on biogas production from fruits and vegetable waste. *Bay J Pur Appl Sci*, **2**.

Sathiya Mala K i Kurian AE (2016) Nutritional composition and antioxidant activity of pumpkin wastes. *Int J pharm, chem biol sci*, **6**(3), 336-344.

Schiffmann RF (1992) Microwave processing in the US food industry: Dielectric and ohmic sterilization. *Food Technol*, **46**, 50-52.

Seader JD i Henley EJ (2006) Separation process principles. **2**, John Wiley & Sons. Inc.

Sharma M i Bhat R (2021) Extraction of carotenoids from pumpkin peel and pulp: Comparison between innovative green extraction technologies (ultrasonic and microwave-assisted extractions using corn oil). *Foods*, **10**, 787.

Shi Q, Fang Z, Bhandari B (2013) Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material. *An Int J*, **31**, 1681-1692.

Shu B, Wu G, Wang Z, Wang J, Huand F, Dong L, Zhang R, Wang Y, Su D (2020) The effect of microwave vacuum drying process on citrus: drying kinetics, physicochemical composition

and antioxidant activity of dried citrus (*Citrus reticulata* Blanco) peel. *J Food Measur Char*, **14**, 2443-2452.

Sufer O i Koray Palazoglu T (2019) A study on hot-air drying of pomegranate. *J Thermal Analysis Calorimetry*, **137**, 1981-1990.

Surai P, Sparks NH (2001) Designer eggs: From improvement of egg composition to functional food. *Trends Food Sci Technol*. **12**, 7-16.

Suri S, Singh A, Nema PK, Malakar S, Arora VK (2022) Sweet lime (*Citrus limetta*) peel waste drying approaches and effect on quality attributes, phytochemical and functional properties. *Food Bioscience*, **48**.

Talens C, Castro-Giraldez M, Fito PJ (2016) A thermodynamic model for hot air microwave drying of orange peel. *J Food Eng*, **175**, 33-42.

Tang Nguyen V i Duong Le M (2018) Influence of various drying conditions on phytochemical compounds and antioxidant activity of carrot peel. *Beverages*, **4**, 80.

Thebaudin JY, Lefebvre AC, Harrington M, Bourgeois CM (1997) Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends Food Sci Technol*, **8**, 41-48.

USDA, Pumpkin, Raw. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168448/nutrients>

Valdez-Arjona LP i Ramirez-Mella M (2019) Pumpkin waste as livestock feed: Impact on nutrition and animal health and on quality of meat, milk and eggs. *Animals*, **9**, 769.

Vega-Galvez A, Lemus-Mondaca R, Bilbao-Sainz C, Fito P, Andres A (2008) Effect of air drying temperatures on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *J Food Eng*, **85**, 42-50.

Vojnović R (2016) Kako brati i čuvati kraljicu jeseni- bundevu? *Agroklub*, <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/kako-brati-i-cuvati-kraljicu-jeseni-bundevu/26868/>

What is CIELAB color space, *HunterLab*, <https://www.hunterlab.com/blog/what-is-cielab-color-space/>

Wang J, Law CL, Nema PK, Zhao JH, Liu ZL, Deng LZ, Xiao HW (2018) Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *J Food Eng*, **224**, 129-138.

Young Kim M, Jin Kim E, Kim YN, Choi, C, Lee BH (2012) Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) Species and Parts. *Nutr Res Pract*. **6**, 21–27

Yu X, Guo L, Jiang G, Song Y, Muminov MA (2018) Advances of organic products over conventional productions with respect to nutritional quality and food security. *Act Ecol Sin*, **38**, 53-60.

Zambrano MV, Dutta B, Mercer DG, MacLean HL, Touchie MF (2019) Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. *Trend Food Sci Technol*, **88**, 484-496.

Zhang M, Tang J, Mujumdar AS, Wang S (2006) Trend sin microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trend Food Sci Technol*, **17**, 524-534.

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja (Matea Lučić) izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Vlastoručni potpis