

# Vakuum sušenje kore avokada: utjecaj uvjeta sušenja na fizikalno-kemijska svojstva

---

**Muratagić, Ejla**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:159:663621>

*Rights / Prava:* [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-04**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

# DIPLOMSKI RAD

Zagreb, ožujak 2024.

Ejla Muratagić

**VAKUUM SUŠENJE KORE  
AVOKADA: UTJECAJ UVJETA  
SUŠENJA NA FIZIKALNO-  
KEMIJSKA SVOJSTVA**

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

Ovaj rad izrađen je u okviru projekta „Hibridno sušenje i valorizacija biljnog prehrambenog otpada i nusproizvoda HYDRYBY“ (IP-2019-04-9750), voditelja projekta prof. dr. sc. Mladena Brnčića, a financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost.



## ZAHVALA

*Zahvaljujem se mentorici izv. prof. dr. sc. Mariji Badanjak Sabolović na pristupačnosti, stručnim savjetima, pomoći i podršci tijekom izrade ovog diplomskog rada. Veliko hvala i komentorici dr. sc. Maji Ivanić te Mirni Tadić, mag. ing. na pomoći, savjetima i druženju tijekom izrade eksperimentalnog dijela.*

*Hvala mojim prijateljima na nezaboravnim trenucima i podršci tijekom studiranja, bez vas bi put bio puno teži.*

*Najviše hvala cijeloj mojoj obitelji na bezuvjetnoj ljubavi i podršci. Nema riječi koje mogu dovoljno opisati zahvalnost koju osjećam prema svakome od vas. Moja postignuća su i vaša postignuća, hvala vam što ste uvijek bili tu za mene, pružali mi snagu i vjerovali u moje snove.*

# 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

## VAKUUM SUŠENJE KORE AVOKADA: UTJECAJ UVJETA SUŠENJA NA FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA

*Ejla Muratagić*, univ. bacc. nutr.  
0058211501

**Sažetak:** Povećana potrošnja industrijski prerađenih proizvoda od avokada rezultira proizvodnjom velike količine nusproizvoda (kora, sjemenka). Kora avokada bogat je izvor fitokemikalija, minerala i pigmentata, a zbog visokog sadržaja vlage brzo se kvari. Sušenje predstavlja važan korak u valorizaciji ovog industrijskog nusproizvoda. Cilj ovog rada bio je ispitati učinak kondukcijskog vakuum sušenja pri različitim temperaturama (40, 60 i 80 °C) i tlakovima (10, 40 i 70 kPa) na fizikalna (boja, tekstura, nasipna gustoća) i kemijska (sadržaj ukupnih fenola, pigmentata i mineralnih elemenata) svojstva kore avokada sorte Hass. Prema dobivenim rezultatima, viša temperatura i tlak sušenja skraćuju vrijeme sušenja (80 °C i tlak 10 kPa). Sušenjem ne dolazi do značajne promjene boje, teksturnih svojstava i nasipne gustoće. Kora avokada sušena pri niskoj temperaturi i tlaku može biti dobar izvor fenola i pigmentata, iako se njihova koncentracija značajno smanjuje u odnosu na svježu koru avokada. Sušena kora avokada dobar je izvor mikroelemenata (Cu, Fe, Mn, Zn) i makroelemenata (Ca, K, Mg i Na) čija se koncentracija sušenjem značajno ne mijenja. Dobiveni rezultati ukazuju da se uz pravilan izbor uvjeta, vakuum sušenje može smatrati dobrom metodom za valorizaciju kore avokada, nusproizvoda industrije prerade avokada.

**Ključne riječi:** *kora avokada sorte Hass, boja i tekstura, ukupni fenoli, pigmenti, mineralni sastav*

**Rad sadrži:** 62 stranice, 23 slike, 16 tablica, 66 literaturnih navoda, 00 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

**Komentor:** dr. sc. Maja Ivanić, znan. sur., IRB

**Pomoć pri izradi:** Mirna Tadić, mag. ing.

**Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:**

1. izv. prof. dr. sc. Sven Karlović (predsjednik)
2. izv. prof. dr. sc. Marija Badanjak Sabolović (mentor)
3. dr. sc. Željka Fiket, v. znan. sur., IRB (član)
4. prof. dr. sc. Suzana Rimac Brnčić (član)

**Datum obrane:** 22. ožujka 2024.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb  
Faculty of Food Technology and Biotechnology  
Department of Process Engineering  
Section for Food Preparation Processes

**Scientific area:** Biotechnical Sciences  
**Scientific field:** Nutrition

**Graduate university study programme:** Nutrition

### VACUUM DRYING OF AVOCADO PEEL: EFFECT OF DRYING CONDITIONS ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

*Ejla Muratagić, univ. bacc. nutr.  
0058211501*

**Abstract:** Increased consumption of industrially processed avocado products results in the production of a large quantity of by-products (peel, seed). Avocado peel is a rich source of phytochemicals, minerals, and pigments, but due to its high moisture content, it deteriorates rapidly. Drying is an important step in the valorization of this industrial by-product. The aim of this study was to investigate the effect of conduction vacuum drying at different temperatures (40, 60, and 80 °C) and pressures (10, 40, and 70 kPa) on the physical (color, texture, bulk density) and chemical (total phenolic content, pigments, and mineral elements) properties of Hass avocado peel. According to the results obtained, higher drying temperature and pressure shorten the drying time (80 °C and 10 kPa pressure). Drying does not significantly change the color, texture properties, and bulk density. Avocado peel dried at low temperature and pressure can be a good source of phenols and pigments, although their concentration significantly decreases compared to fresh avocado peel. Dried avocado peel is a good source of microelements (Zn, Cu, Fe, Mn) and macroelements (Ca, K, Mg, and Na) whose concentration does not significantly change during drying. The obtained results indicate that with the proper selection of drying conditions, vacuum drying can be considered a good method for valorizing avocado peel, a by-product of the avocado processing industry.

**Keywords:** *Hass avocado peel, colour and texture properties, total phenols, pigments, mineral composition*

**Thesis contains:** 62 pages, 23 figures, 16 tables, 66 references, 00 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

**Co-mentor:** Maja Ivanić, PhD, Research Associate, RBI

**Technical support and assistance:** Mirna Tadić, mag. ing.

#### Reviewers:

1. Sven Karlović, PhD, Associate professor (president)
2. Marija Badanjak Sabolović, PhD, Associate professor (mentor)
3. Željka Fiket, PhD, Senior Research Associate, RBI (member)
4. Suzana Rimac Brnčić, PhD, Full professor (substitute)

**Thesis defended:** March 22<sup>nd</sup> 2024



## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	2
<b>2.1. AVOKADO (<i>Persea americana</i> Mill.)</b> .....	2
2.1.1. Podrijetlo i opće karakteristike avokada .....	2
2.1.2. Povoljan utjecaj konzumacije avokada na ljudsko zdravlje .....	3
2.1.3. Specifičnosti Hass sorte avokada.....	4
2.1.4. Industrijska proizvodnja i prerada avokada .....	6
2.1.5. Učinak prerade avokada na okoliš .....	6
2.1.6. Karakteristike kore avokada .....	7
<b>2.2. SUŠENJE</b> .....	10
2.2.1. Mehanizam sušenja.....	10
2.2.2. Promjene tijekom sušenja .....	12
2.2.3. Metode i uređaji za sušenje.....	13
<b>2.3. VAKUUM SUŠENJE</b> .....	14
2.3.1. Prednosti sušenja u vakuumu.....	15
2.3.2. Nedostaci sušenja u vakuumu.....	15
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	16
<b>3.1. MATERIJALI</b> .....	16
3.1.1. Aparatura i pribor.....	16
3.1.2. Kemikalije.....	17
<b>3.2. METODE</b> .....	18
3.2.1. Priprema uzorka .....	18
3.2.3. Analiza fizikalnih svojstava .....	19
3.2.3.1. <i>Određivanje udjela suhe tvari</i> .....	19
3.2.3.2. <i>Određivanje boje</i> .....	20
3.2.3.3. <i>Analiza teksturnih svojstava</i> .....	22
3.2.3.4. <i>Određivanje nasipne gustoće</i> .....	23
3.2.4. Analiza kemijskih svojstava .....	24
3.2.4.1. <i>Priprema ekstrakta</i> .....	24
3.2.4.2. <i>Određivanje antioksidacijske aktivnosti DPPH metodom</i> .....	24
3.2.4.3. <i>Postupak određivanja ukupnih fenola</i> .....	25
3.2.4.4. <i>Određivanje ukupnih klorofila</i> .....	26
3.2.4.5. <i>Određivanje mineralnih elemenata ICP-QQQ metodom</i> .....	28
3.2.5. Statistička obrada .....	29

<b>4. REZULTATI I RASPRAVA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1. REZULTATI SUŠENJA UZORAKA .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. REZULTATI ANALIZE FIZIKALNIH SVOJTAVA .....</b>	<b>33</b>
4.2.1. Rezultati određivanja udjela suhe tvari.....	33
4.2.2. Rezultati određivanja boje .....	33
4.2.3. Rezultati određivanja svojstava teksture.....	37
4.2.4. Rezultati određivanja nasipne gustoće.....	40
<b>4.3. REZULTATI ANALIZE KEMIJSKIH SVOJTAVA .....</b>	<b>41</b>
4.3.1. Rezultati određivanja antioksidacijske aktivnosti.....	41
4.3.2. Rezultati određivanja ukupnih fenola .....	43
4.3.3. Rezultati određivanja pigmenata.....	45
4.3.4. Rezultati određivanja mineralnih elemenata.....	50
<b>5. ZAKLJUČCI .....</b>	<b>55</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>56</b>

# 1. UVOD

Trećina hrane predviđene za ljudsku potrošnju izgubi se ili baci, pri čemu oko 39 % tih gubitaka nastaje tijekom proizvodnje i obrade prehrambenih proizvoda. Cilj globalne inicijative za borbu protiv gladi je povećanje proizvodnje hrane smanjenjem otpada, kako u zemljama u razvoju, tako i u razvijenim zemljama. Trenutno se provode brojna istraživanja s ciljem identificiranja potencijala različitog biljnog materijala koji zaostaje kao otpad nakon proizvodnje hrane te proučavanjem njegove prehrambene vrijednosti. Povećana potražnja za avokadom, a time i njegova proizvodnja i potrošnja, stvaraju velike količine nusproizvoda poput sjemenki, kore i odmašćene pulpe, koje čine otprilike 30 % težine voća, a obično se odbacuju. Raznolikost fitokemikalija u avokadu i njegovim nusproizvodima čini ih iznimnim izvorom bioaktivnih spojeva koji se mogu iskoristiti za proizvodnju funkcionalnih namirnica te pronaći primjenu u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Osmišljavanje i uvođenje različitih metoda za preradu i upotrebu otpada od avokada može imati značajnu ulogu u očuvanju okoliša zbog smanjenja količine tog otpada. S obzirom na činjenicu da su nejestivi dijelovi avokada značajan izvor bioaktivnih spojeva, korištenje ovog otpada moglo bi biti ekonomično i ekološki isplativo rješenje za prehrambenu industriju. Visok sadržaj vlage (~ 75 %) čini koru avokada podložnom brzom kvarenju stoga sušenje može predstavljati bitan korak u valorizaciji ovog industrijskog nusproizvoda (Figueroa i sur., 2018). Konvencionalni načini sušenja mogu uzrokovati toplinsku razgradnju nutritivno vrijednih spojeva, gubitak arome, nepoželjne promjene oblika, teksture i boje te enzimsko posmeđivanje kod prehrambenih sirovina. Navedeni nedostaci mogu se značajno smanjiti sušenjem u vakuumu (Marelja i sur., 2020). Kondukcijsko vakuum sušenje je metoda koja koristi vakuum (sniženi tlak) koji omogućuje brže uklanjanje vlage iz materijala, a "kondukcija" se odnosi na prijenos topline putem dodira između zagrijane površine i materijala koji se suši.

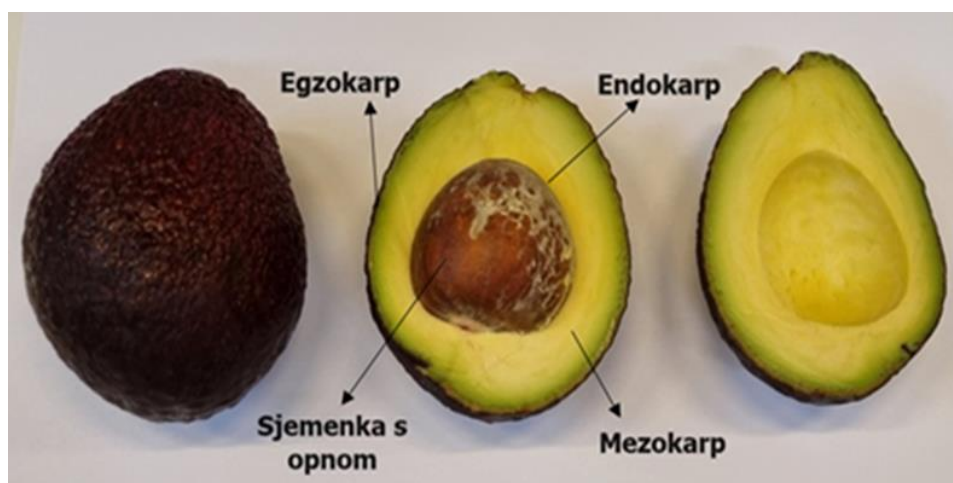
Cilj ovog istraživanja bio je ispitati utjecaj različitih temperatura (40, 60 i 80 °C) i tlakova (10, 40 i 70 kPa) pri sušenju kore avokada sorte Hass u kondukcijskoj vakuum sušari na određena fizikalna (tekstura, boja, nasipna gustoća) i kemijska svojstva (antioksidacijska aktivnost, sadržaj ukupnih fenola, pigmentata i mineralnih elemenata) u svrhu valorizacije ovog nusproizvoda.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. AVOKADO (*Persea americana* Mill.)

#### 2.1.1. Podrijetlo i opće karakteristike avokada

Avokado (*Persea americana* Mill.) je vrlo hranjivo voće koje sadrži visoke razine nezasićenih masnih kiselina, vitamina, minerala, proteina i vlakana. Zbog svog oblika i grube površine te glatke teksture pulpe naziva se još i "krokodilova kruška" i "kruška od maslaca". Pripada carstvu *Plantae*, porodici *Lauraceae*, redu *Lurales*, rodu *Persea* i vrsti *P. americana*. (Nyakang'i i sur., 2023). Najvažnije je i jedino jestivo voće iz obitelji *Lauraceae* te ima visoku komercijalnu vrijednost. Porijeklom je iz Meksika i Srednje Amerike, a danas se uzgaja u gotovo svim tropskim i suptropskim regijama (Figueroa i sur., 2021). Zimzeleno stablo avokada cvjeta u rano proljeće dok su plodovi vidljivi u kasno proljeće/rano ljeto. Plod se opisuje kao bobičasto voće čiji rast traje od 20 do 60 tjedana ovisno o sorti i okolišu (Cowan i Wolstenholme, 2016). Proces sazrijevanja avokada bitno se razlikuje od većine voća jer se ne događa na stablu već započinje tek nakon berbe. Avokado postiže fiziološku zrelost na stablu i može tamo ostati više mjeseci do berbe (Araújo i sur., 2018).



**Slika 1.** Avokado sorte Hass (vlastita fotografija)

Avokado (slika 1) se sastoji od perikarpa koji sadrži koru (egzokarp), jestivi dio odnosno pulpu (mezokarp) i tanki unutrašnji sloj koji se nalazi između pulpe i sjemenke (endokarp). U sredini se nalazi velika sjemenka koja je obavijena tankom ljuskom, lupinom. Težina ploda može varirati (od 120 g do 2,5 kg) kao i oblik ploda (jajolik, kuglast) ovisno o sorti. Kora avokada je glatka ili hrapava te tanka ili debela, što također zavisi o sorti (Araújo i sur., 2018).

Prema Yahia i Woolf (2011) avokado se botanički klasificira u tri vrste prema razlikama u izgledu ploda, zrelosti i sadržaju ulja:

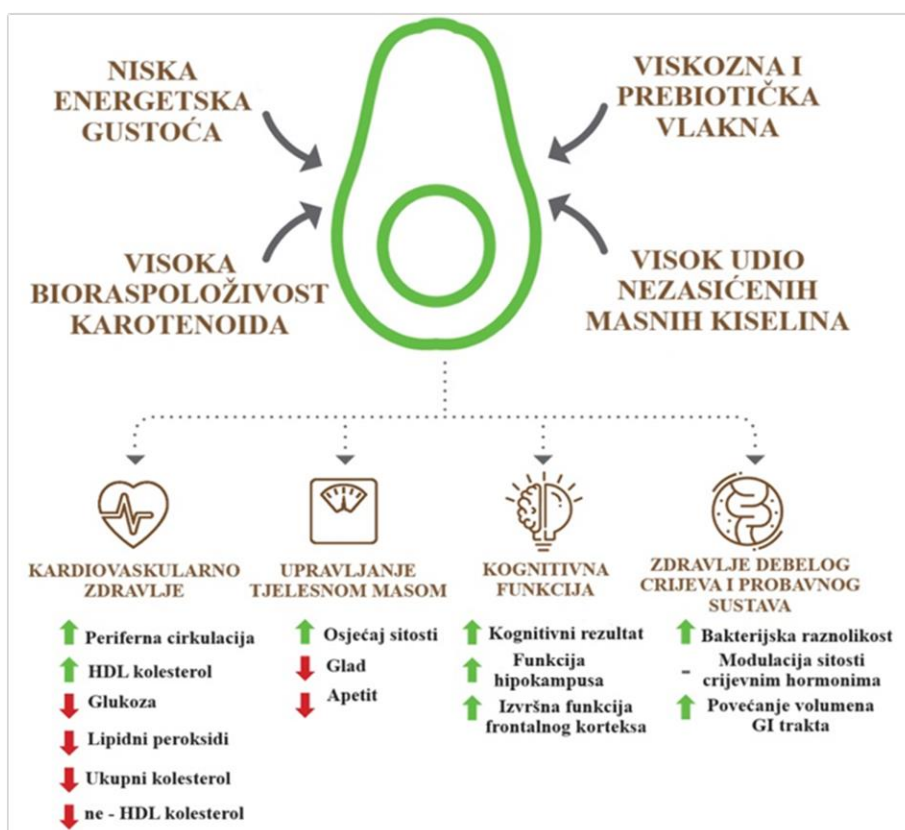
- **zapadnoindijska** (*Persea americana* Mill. var. *americana*) je tropska vrsta s velikim plodovima varijabilnog oblika i manjim udjelom ulja;
- **meksička** (*Persea americana* Mill. var. *drymifolia* Blake) je polutropska vrsta s manjim izduženim plodovima s tankom korom i većim sadržajem ulja;
- **gvatemalska** (*Persea nubigena* var. *guatemalensis* L.) je suptropska vrsta s uglavnom okruglim plodom s debelom korom i srednjom količinom ulja.

Iako je identificirano više od 500 sorti avokada, većina ih se ne uzgaja u komercijalne svrhe zbog problema prilikom uzgoja (loša otpornost) i transporta (oštećenja ploda) te slabije kvalitete (niži sadržaj masti i proteina). Najčešće razlike među sortama avokada su oblik, težina, veličina i okus, a najizraženija razlika je u boji kore tijekom zrenja (Araújo i sur., 2018). Najvažnije komercijalne sorte suptropskog avokada su Hass, Fuerte, Ettinger i Pinkerton. Sorta Hass uvjerljivo je najtraženija sorta te čini osnovu izvoza avokada u Europu i Sjedinjene Američke Države (SAD) (Cowan i Wolstenholme, 2016).

#### 2.1.2. Povoljan utjecaj konzumacije avokada na ljudsko zdravlje

Rezultati nacionalnog istraživanja o zdravlju i prehrani (engl. *National Health and Nutrition Examination Survey*, NHANES) provedenog u SAD-u pokazuju da osobe koje redovito konzumiraju avokado imaju veći unos mononezasićenih i polinezasićenih masnih kiselina, dijetalnih vlakana, vitamina E i K, kao i minerala poput magnezija i kalija. Nadalje, imaju nižu tjelesnu masu, značajno manji opseg struka i višu koncentraciju HDL-kolesterola u krvi što pridonosi smanjenju rizika od nastanka metaboličkog sindroma (Fulgoni i sur., 2013). Mononezasićene masne kiseline u avokadu učinkovito smanjuju razinu nepoželjnih lipoproteina niske gustoće u krvi, odnosno LDL kolesterola, dok povećavaju razinu korisnih lipoproteina visoke gustoće (HDL) (Cowan i Wolstenholme, 2016). Avokado sadrži minerale poput magnezija, fosfora, kalcija, kalija, natrija, cinka i željeza. Visoka razina kalija i niska razina natrija u avokadu može smanjiti rizik od nastanka kardiovaskularnih bolesti (Nyakang'i i sur., 2023). Avokado sadrži i vitamine kao što su  $\beta$ -karoten, vitamin E, retinol, askorbinska kiselina, tiamin, riboflavin, niacin, piridoksin i folna kiselina, koji imaju veliku važnost u održavanju cjelokupnog zdravlja (Araújo i sur., 2018). Znanstvena istraživanja pokazuju da bioaktivni spojevi avokada imaju ulogu u ublažavanju oksidativnog stresa i upalnih procesa, reguliraju metabolizam lipida i ugljikohidrata, potiču apoptozu stanica raka, pružaju zaštitu od

čira na želucu, potiču održavanje pamćenja i zdravlja mozga te citoprotekciju i suzbijanje patogenih mikroorganizama (Salazar-López i sur., 2020). U svom istraživanju, Dreher i suradnici (2021) navode da konzumacija avokada sorte Hass rezultira brojnim zdravstvenim prednostima (slika 2), koje proizlaze iz jedinstvene kombinacije nutritivnih svojstva te sorte. Istraživanje koje su proveli Furlan i suradnici (2017) pokazuje potencijal ulja avokada sorte Hass za suzbijanje negativnog utjecaja hiperkalorijskog obroka bogatog mastima na važne biomarkere povezane s kardiometaboličkim zdravljem.



**Slika 2.** Utjecaj konzumacije avokada sorte Hass na održavanje zdravlja (prema Dreher i sur., 2021)

### 2.1.3. Specifičnosti Hass sorte avokada

Sazrijevanje Hass sorte avokada prati promjena boje kore od zelene do tamnoljubičaste. Plodovi ove sorte ovalniji su od ostalih sorti, teže oko 140 – 340 g, imaju sitniju sjemenku i sadrže veliki udio jestive pulpe (Kosińska i sur., 2012). Za konzumaciju je spreman kada je pulpa žućkasto zelene boje, a intenzivan okus i kremasta tekstura čine ga savršenim za proizvodnju guacamole umaka. Prednost Hass avokada pred drugim sortama je kraće vrijeme

sazrijevanja, te bolji prinos po hektaru zemlje (Nyakang'i i sur., 2023). Prema Dreher i suradnicima (2021), Hass avokado karakterizira kremasta, glatka tekstura zrele pulpe koja obiluje oleinskom kiselinom, vlaknima, mikronutrijentima i fitokemikalijama, a nutritivni sastav prikazan je u tablici 1. Porcija Hass avokada (50 g ili 1/3 srednje velikog ploda) sadrži oko 3,4 g vlakana što zadovoljava 11 % preporučenog dnevnog unosa (engl. *Recommended Dietary Allowance*, RDA), 44,5 µg folata (10 % RDA), 0,73 mg pantotenske kiseline (15 % RDA), 85 µg bakra (10 % RDA), 10,5 µg vitamina K (10 % RDA), 254 mg kalija (7,5 % RDA) i 4 mg natrija (0,2 % RDA). Hass avokado ima relativno nisku energetsku gustoću od 1,6 kcal/g (79 % mase čine voda i vlakna), s gotovo nultim glikemijskim opterećenjem i indeksom zbog vrlo niskog sadržaja dostupnih ugljikohidrata od 0,15 g šećera i 0,055 g škroba. Osim toga, avokado ne sadrži kolesterol te pruža 1 g zasićenih masnih kiselina (SFA, 5 % RDA), 4,9 g mononezasićenih masnih kiselina (MUFA) i 1 g polinezasićenih masnih kiselina (PUFA), pri čemu je oleinska kiselina dominantna s 4,5 g po porciji. Svaka porcija također sadrži 136 µg luteina i zeaksantina i 35 mg beta-sitosterola.

**Tablica 1.** Nutritivni sastav u 100 g pulpe Hass avokada (prema Dreher i Davenport, 2013)

<i>Nutrijent</i>	<b>100g</b>	<i>Nutrijent</i>	<b>100 g</b>
<i>Voda (g)</i>	72,3	<i>Zasićene masne kiseline (g)</i>	2,13
<i>Energija (kcal)</i>	167,0	<i>Mononezasićene masne kiseline (g)</i>	9,80
<i>Proteini (g)</i>	1,96	<i>Polinezasićene masne kiseline (g)</i>	1,82
<i>Masti (g)</i>	15,4	<i>β-sitosterol (mg)</i>	76
<i>Ugljikohidrati (g)</i>	9,1	<b>MINERALI</b>	
<i>Vlakna (g)</i>	6,8		
<b>VITAMINI</b>			
<i>Vitamin C (mg)</i>	8,80	<i>Ca (mg)</i>	13,0
<i>Vitamin E (mg)</i>	1,97	<i>Cu (mg)</i>	0,17
<i>Vitamin A (µg RAE)</i>	7,0	<i>Fe (mg)</i>	0,61
<i>Vitamin K<sub>1</sub> (µg)</i>	21,0	<i>K (mg)</i>	507
<i>Tiamin (mg)</i>	0,08	<i>Mg (mg)</i>	29,0
<i>Riboflavin (mg)</i>	0,14	<i>Mn (mg)</i>	0,15
<i>Niacin (mg)</i>	1,91	<i>Na (mg)</i>	8,0
<i>Pantotenska kiselina (µg)</i>	89,0	<i>P (mg)</i>	54,0
<i>Vitamin B<sub>6</sub> (mg)</i>	0,29	<i>Se (µg)</i>	0,40
		<i>Zn (mg)</i>	0,68

#### 2.1.4. Industrijska proizvodnja i prerada avokada

Avokado se najčešće konzumira u svježem obliku u salatama, kao slano jelo, nadjev za sendviče, guacamole ili kao desert kada se zasladi. Pulpa se također prodaje u smrznutom obliku, prerađena u umak, dehidrirana u prah ili u ekstrahiranom obliku kao ulje (Cowan i Wolstenholme, 2016). Guacamole je tradicionalni meksički umak koji se pravi od avokada, a dodaju mu se sastojci kao što su luk, rajčica, paprika, sok od limuna ili limete te začini poput soli, papra, korijandra i slično. Smatra se da je upravo proizvodnja guacamolea kao neizostavne komponente meksičke kuhinje pokrenula proizvodnju avokada komercijalnih razmjera. Za preradu je preferirana sorta Hass zbog svog okusa, boje mesa (pulpe), dostupnosti tijekom cijele godine i duljeg roka trajanja tijekom skladištenja. Tržište prerade avokada je znatno poraslo i posljednjih godina, a očekuje se da će njegova vrijednost porasti s 1,70 milijardi američkih dolara (USD) u 2018. godini na 2,70 milijardi USD u 2024. godini upravo s proizvodima kao što su guacamole, smrznute kriške, umaci, pirei, konzervirani i dehidrirani avokado te ulje avokada kao najvažnijim proizvodima od avokada na globalnom tržištu.

Najveći proizvođači avokada su: Meksiko, Kolumbija, Peru, Dominikanska Republika, Indonezija, Kenija, Brazil, Etiopija, Sjedinjene Američke Države, Haiti i Čile. Prema izvješćima koje je objavio FAOSTAT (2020), u prošlom desetljeću proizvodnja avokada se udvostručila s 4,07 milijuna tona u 2011. na oko 8,06 milijuna tona u 2020. godini, što predstavlja povećanje od približno 50,5 %. Upravo taj skok u proizvodnji znači i golemi porast otpada avokada na procijenjenih 2,46 milijuna tona (30 %) na globalnoj razini, ako se nastali nusproizvod ne iskoristi ili ponovno upotrijebi (Nyakang'i i sur., 2023).

#### 2.1.5. Učinak prerade avokada na okoliš

Raste zabrinutost zbog potencijalnih negativnih učinaka komercijalne poljoprivrede, osobito onih iz intenzivnih proizvodnih sustava poput uzgoja avokada, na emisiju stakleničkih plinova. Analiza energetske bilance i emisije stakleničkih plinova iz proizvodnje i izvoza avokada u Meksiku (kao najvećeg proizvođača i dobavljača) pokazuje da nema značajne razlike između organskog i konvencionalnog načina proizvodnje (Cowan i Wolstenholme, 2016). Nadalje, u proizvodnim procesima ostaci avokada se ne iskorištavaju u potpunosti već se odbacuju kao otpad, što predstavlja opterećenje za okoliš s obzirom na to da im je potrebno duže vrijeme da se razgrade. Permal i suradnici (2020) objavili su bilancu mase iz komercijalno dobivenog hladno prešanog ulja avokada (67 %-tno iskorištenje), pri čemu je iz svakih 1000 kg



prerađanog ploda avokada proizvedeno 78 kg ulja, 274 kg kore i sjemenki te 150 kg komine (vlaknastog materijala). Prema ovim istraživanjima 39,6-42,4 % avokada je odbačeni nusproizvod. Nyakang'i i suradnici (2023) u svom radu navode da se preradom avokada stvara približno 2,42 milijuna tona nusproizvoda (kora i sjemenki) koji se ispuštaju u okoliš, što osim ekološkog dovodi i do ekonomskog problema u prehrambenoj industriji, stoga postoji veliko zanimanje za korištenje dobivenih nusproizvoda kao izvora prirodnih antioksidansa ili funkcionalnih sastojaka hrane (Kosińska i sur., 2012).

Nusproizvodi avokada bogat su izvor ugljikohidrata (sjemenke 42-81 %, kora 43-81 %), lipida (sjemenke 3-15 %; kora 2-9 %), proteina (sjemenke 0,14-9 %; kora 0,17-8 %), vlakana (sjemenke 2-4,2 %; kora 1,3-55 %), minerala (sjemenke 1,3-4,3 %; kora 1,5-6,0 %) i raznih drugih bioaktivnih spojeva (Salazar-López i sur., 2020).

Korištenje kore avokada kao izvora prirodnih spojeva za dobivanje proizvoda dodane vrijednosti, umjesto upotrebe sintetskih spojeva, istovremeno pozitivno utječe na industriju avokada i doprinosi zaštiti okoliša. Razvijanje održivih strategija, poput uspostave ravnoteže između industrijske proizvodnje i okoline kroz primjenu kružnog gospodarstva, ključno je za smanjenje negativnog utjecaja na okoliš (Rozan i sur., 2022; Araújo i sur., 2021).

#### 2.1.6. Karakteristike kore avokada

Svježa kora avokada (slika 3) sastoji se od ugljikohidrata (62-73,3 %), proteina (4-8,3 %), lipida (4,4-9,1 %), vlakna (oko 50 %) i pepela (4-6,1 %) (Colombo i Papetti, 2019).



**Slika 3.** Svježa kora avokada sorte Hass (vlastita fotografija)

Kora čini oko 13 % težine ploda, što predstavlja tone otpada koji se odbacuje bez daljnje primjene osim u obliku hrane za životinje (Figuroa i sur., 2021), a sadrži velike količine visokovrijednih spojeva s antioksidativnim sposobnostima koje još nisu u potpunosti istražene (Araújo i sur., 2021). Promjena boje kore tijekom procesa sazrijevanja od zelene do crne odnosno tamnoljubičaste karakteristična je za Hass sortu, dok druge sorte pokazuju druge varijacije u boji tijekom sazrijevanja. Crno-ljubičasta boja kore zrelih plodova posljedica je smanjenja klorofila i povećanja cijanidina 3-O-glukozida tijekom sazrijevanja. Na boju kore avokada također utječu određeni karotenoidi, klorofili i derivati klorofila. Sadržaj klorofila u kori avokada opada tijekom procesa sazrijevanja, dok se količina drugih pigmenta poput antocijana i derivata klorofila povećava. Prema istraživanju Ramos-Aguilar i suradnika (2021), klorofil i derivati klorofila posjeduju antioksidativna, protuupalna, antikancerogena, antimutagena, imunostimulirajuća i antiparazitska svojstva. Kora avokada također sadrži značajne količine minerala (tablica 2), koji imaju važnu ulogu u održavanju zdravlja kostiju, mišića i živčanog sustava.

**Tablica 2.** Sadržaj mineralnih elemenata u 100 g svježe kore avokada (prema Da Silva i sur., 2022)

<i>Mineralni element</i>	<b>mg</b>
<i>Ca</i>	26,8
<i>Cu</i>	0,20
<i>Fe</i>	0,72
<i>Mg</i>	23,9
<i>Mn</i>	4,23
<i>Zn</i>	0,67

Fitokemikalije su važni sekundarni metabolički spojevi koje proizvode biljke i prisutni su u velikim količinama u kori avokada. U usporedbi s drugim korama tropskog voća (banana, dinja, marakuja, papaja, ananas i lubenica), sušena kora avokada ima najveći ukupni sadržaj fenola, dok svježa kora avokada ima najveći sadržaj flavonoida. Nadalje, sušena kora avokada pokazuje najveću antioksidacijsku aktivnost u usporedbi s korom drugog voća (Akan, 2021). Figuroa i suradnici (2021) prikazali su visoku antimikrobnu aktivnost ekstrakta kore na gram-pozitivne i gram-negativne bakterije, stoga se može koristiti u hrani kao prirodni konzervans. Kora avokada ima visok sadržaj bioaktivnih spojeva koje je moguće ekstrahirati, a neki od njih su prikazani u tablici 3. Visok sadržaj fenolnih spojeva daje kori antifungalna i antibakterijska

svojstva te antioksidativno djelovanje, što je primjenjivo u različitim sektorima uključujući prehrambeni. U farmaceutskoj industriji primjena kore proučava se u svrhu antikancerogenog i insekticidnog djelovanja (Nyakang'i i sur., 2023; Ramos-Aguilar i sur., 2021).

**Tablica 3.** Sadržaj pojedinačnih fenola u kori avokada sorte Hass (prema Kosińska i sur., 2012)

<i>Naziv</i>	<b>mg g<sup>-1</sup> suhe tvari</b>
<i>5-O-kafeoilkininska kiselina</i>	81,8 ± 5,95
<i>Procijanidin dimer B (I)</i>	135,4 ± 7,44
<i>Procijanidin dimer A</i>	26,8 ± 4,46
<i>Katehin</i>	148,8 ± 5,95
<i>Procijanidin dimer B (II)</i>	55,1 ± 4,46
<i>Kvercetin-3,4'-diglukozid</i>	46,1 ± 2,98
<i>Kvercetin-3-O-rutinozid</i>	23,8 ± 2,98
<i>Kvercetin-3-O-arabinozil-glukozid</i>	80,4 ± 5,95
<i>Kvercetin-3-O-galaktozid</i>	31,2 ± 4,46
<i>Derivat kvercetina (II)</i>	62,5 ± 29,76

#### 2.1.7. Moguće iskorištenje kore avokada

Neka od istraživanja koja naglašavaju potencijal kore avokada u prehrambenoj industriji uključuju transformaciju kore avokada sorte Hass u brašno. S obzirom na široku potrošnju proizvoda na bazi žitarica, lakše je integrirati brašno od kore avokada u prehranu, što može predstavljati optimalno sredstvo za funkcionalne prehrambene dodatke i poticanje zdravlja (Ramos-Aguilar i sur., 2021). Nadalje, kora avokada se koristila i za obogaćivanje napitaka, a istraživanje koje su proveli Rotta i suradnici (2015) uključivalo je pripremu čaja od sušene kore avokada. Primijetili su značajan sadržaj fenola, što je rezultiralo povećanom antioksidativnom aktivnošću u čaju. Osim toga, ekstrakt kore dokazano je spriječio oksidaciju proteina kada je 5 % ekstrakta kore dodano mljevenom mesu (Calderón-Oliver i López-Hernández, 2022). U istraživanju Ferreira i suradnika (2022) ekstrakt kore avokada inkorporiran je u formulacije hidratantnih krema, što ukazuje na njegov potencijal za upotrebu u kozmetičkoj industriji kao alternativa sintetičkim dodacima te kao funkcionalni sastojak. Viola i suradnici (2023) su u svom radu prikazali potencijal korištenja nusproizvoda avokada za proizvodnju funkcionalnog kruha od kiselog tijesta. Dodatkom 10 % praha nusproizvoda avokada (sjemenka, kora i pulpa) dobiven je proizvod s većom antioksidativnom vrijednošću, visoko ocijenjen u senzorskoj analizi u smislu arome i boje.

## 2.2. SUŠENJE

U prehrambenoj industriji sušenje ili dehidracija predstavlja tehnološki proces uklanjanja vode iz namirnica, pri čemu je važno očuvati kvalitetu proizvoda (Colombo i Papetti, 2019). Sušenje je jedna od najstarijih i najraširenijih metoda konzerviranja hrane. Najstariji proces sušenja je pomoću sunčeve energije i prirodnog strujanja zraka. Prednost ovakvog sušenja prvenstveno je ušteda energije, a mana što uvelike ovisi o vremenskim prilikama pa se ovakav način sušenja često provodi samo u određenim klimatskim područjima. Bolja kontrola samog procesa i kvalitete sušenog proizvoda postiže se sušenjem u strogo kontroliranim (mikroklimatskim) uvjetima i posebno dizajniranim uređajima (sušarama) (Lovrić, 2003).

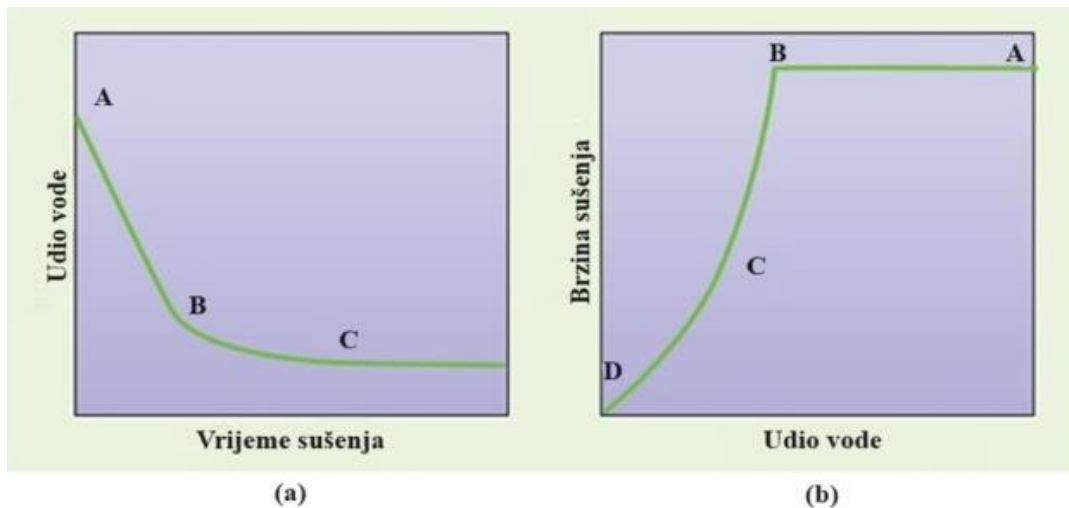
Smanjenjem sadržaja vlage u namirnici produljuje se rok trajanja te poboljšava stabilnost hrane prema mikrobnom kvarenju i kemijskoj razgradnji. Očuvanje nutritivnog sadržaja smanjenjem aktivnosti vode također je jedan od glavnih tehnoloških ciljeva sušenja hrane. Osim toga, sušenjem se smanjuje volumen i masa proizvoda što olakšava skladištenje, pakiranje, transport i manipulaciju. Prilikom sušenja dio vode isparava s površine čvrste tvari (namirnice) čime se smanjuje vlažnost površine te zbog nastale razlike u koncentraciji, voda difundira iz unutrašnjosti prema površini tvari. Brzina isparavanja vode s površine tvari ovisi o brzini gibanja zraka oko materijala i vrsti veze između materijala i vode (Marelja i sur., 2020).

Voda prisutna u hrani može se podijeliti na slobodnu i vezanu. Voda se smatra slobodnom sve dok se ne pomiješa s namirnicom ili reagira s njenim površinskim komponentama. Može biti prisutna u stanju gela te kao kontinuirana faza u kojoj druge tvari mogu biti suspendirane ili dispergirane, molekularno, koloidno ili kao emulzija. Voda može biti i kemijski vezana s nekim solima, kao hidrat, adsorbirana na koloidima, adsorbirana u obliku vrlo tankog jednomolekularnog ili višemolekularnog sloja na unutarnjoj ili vanjskoj površini proizvoda ili adsorbirana u fine pore kapilarnom kondenzacijom. Sušenjem se uklanja slobodna voda, dok je za uklanjanje vezane vode potrebno više energije zbog njenog afiniteta vezanja vodikovim vezama s polarnim, ioniziranim grupama proteina i polisaharida (Lovrić, 2003).

### 2.2.1. Mehanizam sušenja

Prijenos topline (energije) i mase ključni su aspekti u procesima sušenja. Toplina se prenosi na proizvod u svrhu isparavanja vode, a masa (voda) se prenosi u obliku pare. Brzina sušenja ovisi o skupu čimbenika koji utječu na prijenos topline i mase te nije u svim fazama procesa jednaka. Kod konstantnih uvjeta okoline proces sušenja se može podijeliti na period konstantne brzine

i jedan ili više perioda padajuće brzine sušenja. Prema tome, materijali koji se suše mogu biti higroskopi i nehigroskopi. Parcijalni tlak vode u nehigroskopnim materijalima jednak je tlaku pare čiste vode, dok u higroskopnim materijalima postaje manji od tlaka pare vode kod istog kritičnog sadržaja vlage (Lovrić, 2003).



**Slika 4.** Graf udjela vode u odnosu na vrijeme sušenja (a) i udjela vode u odnosu na brzinu sušenja (b) (prema Parikh, 2014)

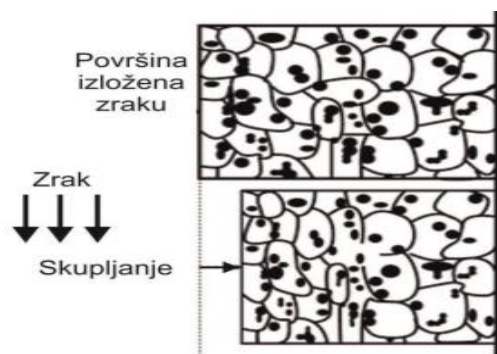
Tijekom perioda konstantne brzine sušenja, količina vode na površini materijala održava se na razini gdje je parcijalni tlak vode na površini jednak parcijalnom tlaku zasićenja temperature mokrog termometra. Na tipičnom grafu udjela vode u odnosu na vrijeme (slika 4a) i na brzinu sušenja (slika 4b), segment AB predstavlja period konstantne brzine sušenja. Smatra se da u tom periodu voda isparava sa zasićene površine difuzijom, a ovisi o temperaturi zraka, vlažnosti i brzini prijenosa vlage prema površini. Trajanje ovog perioda određeno je kapilarnim tokom koji nadoknađuje vodu na površini i održava konstantnu temperaturu. Period konstantne brzine završava u trenutku kad ti uvjeti više nisu ispunjeni te dolazi do prekida na krivulji sušenja koji je označen točkom B (slika 4 a i b). Ova točka (točka B) predstavlja kritični udio vlage, nakon čega daljnjim sušenjem dolazi do linearnog pada brzine sušenja. Segment krivulje sušenja od točke B do točke C prikazan na slici 4 (a i b) naziva se prvi period padajuće brzine sušenja. Kako sušenje napreduje, voda iz unutrašnjosti materijala dolazi na površinu sve manjom brzinom, a mehanizam koji kontrolira njezin prijenos utjecat će na brzinu sušenja. Prvi period padajuće brzine sušenja završava kada u središtu materijala više nema dovoljno vode da se održava parcijalni tlak zasićenja. Kod nehigroskopnih materijala to se poklapa sa

završetkom sušenja, dok u slučaju higroskopnih materijala nastupa drugi period padajuće brzine sušenja – segment krivulje sušenja od točke C do točke D (slika 4 a i b) koji završava kad više nema dovoljno vode u središnjem dijelu materijala da održi parcijalni tlak, a sadržaj vlage doseže kritičnu razinu (Marelja i sur., 2020; Parikh, 2014; Lovrić 2003).

Proces sušenja zahtjeva pažljivo upravljanje parametrima procesa (temperatura, tlak, strujanje zraka) kako bi se osigurala neprekidna difuzija vode iz unutrašnjosti prema površini materijala. Nepravilno vođenje procesa može rezultirati neujednačenim zagrijavanjem kao i mjestimičnim pregrijavanjem uzorka na površini što dovodi do stvaranja korice koja otežava proces sušenja i uzrokuje nedovoljno osušen proizvod u unutrašnjosti, ali i negativno utječe na senzorska i fizikalno-kemijska svojstva sušenog materijala (Marelja i sur., 2020).

### 2.2.2. Promjene tijekom sušenja

Proces sušenja hrane obično rezultira različitim ireverzibilnim promjenama njenih svojstava, što je posljedica uklanjanja vode te djelovanja primijenjenih temperatura sušenja, ali i drugih uvjeta. Ove promjene u hrani uobičajeno se javljaju tijekom perioda padajuće brzine sušenja, s izraženijim degradativnim promjenama kod duljih procesa sušenja. No takve promjene mogu se događati i tijekom faze konstantne brzine sušenja. Nastale promjene ovise o sastavu, te fizikalnim i strukturnim svojstvima hrane koja se suši (Lovrić, 2003).



**Slika 5.** Fenomen skupljanja materijala (Karlović, 2013)

Tijekom procesa sušenja zbog promjene položaja vode dolazi i do promjene položaja različitih sastojaka koji su u njoj otopljeni. U staničnom materijalu, voda i u njoj otopljene male molekule mogu difundirati kroz stanične stijenke koje djeluju kao visoko selektivne permeabilne membrane. Zagrijavanjem, svojstva tih stijenki se mijenjaju, te one postaju propusnije ne samo za vodu već i za veće molekule koje su u njoj otopljene. To može rezultirati postupnim

koncentriranjem otopljenih tvari u perifernim dijelovima i intenziviranjem različitih degradativnih promjena. Također, svježja biljna i životinjska tkiva nalaze se pod određenim osmotskim tlakom što im daje odgovarajuću čvrstoću. Ovo se svojstvo, zajedno s drugim teksturalnim karakteristikama, obično gubi ili mijenja tijekom procesa sušenja što dovodi do promjene tvrdoće i elastičnosti sušene hrane. Ukupno smanjenje volumena, površine ili debljine prehrambenog materijala pri sušenju naziva se fenomen skupljanja, a grafički je prikazan na slici 5 (Karlović, 2013). Gubitkom vode mijenja se i poroznost materijala koji se suši, a može doći do orožnjavanja odnosno stvrdnjavanja i kvrčenja površinskog sloja. Osim o svojstvu samog materijala na stvrdnjavanje, kvrčenje površine, nasipnu volumnu gustoću, otvorenost strukture, rehidracijska svojstva itd., uvelike utječe način sušenja uključujući temperaturu, vlažnost i brzinu strujanja zraka u pojedinim fazama sušenja (Lovrić, 2003).

### 2.2.3. Metode i uređaji za sušenje

Postoji više različitih metoda sušenja prehrambenih materijala, svaka s vlastitim prednostima i nedostacima ovisno o primjeni. Različite metode sušenja razvijene su zbog razlika u fizikalnim svojstvima proizvoda, načinu prijenosa topline, primijenjenim temperaturama i tlakovima, specifikacijama kvalitete sušenog proizvoda te drugim relevantnim čimbenicima (Sabarez, 2021).

U industriji se koriste različiti tipovi uređaja za sušenje (sušare) koji se međusobno razlikuju po načinu dovođenja topline (konvekcijske i kontaktne-kondukcijske), vrsti toplinskog medija (zrak, plin, para), primijenjenom tlaku (atmosferski ili sniženi tlak-vakuum), provedbi sušenja (kontinuirane i diskontinuirane) te uzajamnom smjeru strujanja zraka i tvari (istosmjerne, protusmjerne i unakrsne) (Tripalo i Viličić, 1992).

Prema načinu dovođenja topline materijalu koji se suši razlikuje se:

- izravno, **konvekcijnsko** sušenje, kod kojeg se toplina dovodi pomoću zagrijanog zraka koji struji iznad površine vlažnog materijala;
- neizravno, **kondukcijsko** ili kontaktno sušenje, kod kojeg se toplina potrebna za isparavanje dovodi uz pomoć grijanih površina koje mogu biti pokretne ili nepokretne, a može se provoditi pri atmosferskom ili pri sniženom tlaku (u vakuumu);
- **radijacijsko** sušenje, koje suši uz pomoć topline koja se stvara unutar samog materijala. Kad je izložen visokofrekventnom elektromagnetskom zračenju, cijeli volumen materijala se istovremeno zagrijava i dovodi do povećanja brzine sušenja;

- **mikrovalno** sušenje, kod kojeg se toplina generira unutar materijala zbog interakcije elektromagnetskih valova i vode što uzrokuje jednolično zagrijavanje cijelog volumena materijala;
- **liofilizacija**, odnosno sušenje zamrzavanjem, gdje se vlaga u materijalu prvo zaledi, a zatim hlađenjem materijala sublimira kontroliranim zagrijavanjem pod određenim podtlakom (vakuumom) kako bi se izbjegla razgradnja materijala (Lovrić, 2003, Parkih, 2015).

### 2.3. VAKUUM SUŠENJE

Vakuom sušenje je tehnologija koja koristi nizak tlak pri sušenju prehrambenih materijala, čime se smanjuje vrelište vode unutar materijala i omogućuje isparavanje pri nižim temperaturama. Zbog niske temperature i minimalnog toplinskog utjecaja, ova metoda se koristi za prehrambene materijale koji su osjetljivi na toplinu i skloni promjenama boje, izgleda te gubitku hranjivih tvari (Menon i sur., 2020). Najpoznatiji procesi sušenja u vakuumu su konvencionalno, mikrovalno vakuum sušenje i sušenje zamrzavanjem (Marelja i sur., 2020).

Konvencionalno vakuum sušenje uključuje različite verzije industrijskih vakuumskih sušara pri čemu se toplina na materijal prenosi putem kondukcije, konvekcije ili radijacije infracrvenih elektromagnetskih valova. Prema Marelji i suradnicima (2020) najčešće korištene vakuum sušare u industriji su:

- **Pločasta vakuum sušara** koja se sastoji od niza polica odnosno grijanih ploča na koje se slaže materijal za sušenje. Ploče se griju uz pomoć cirkulacije vruće vode i pare, toplina se prenosi kondukcijom, a nastala para se apsorbira vakuum pumpom. Najčešće se koriste za sušenje materijala koji lako oksidiraju i zahtijevaju niže temperature sušenja.
- **Kontinuirana trakasta vakuum sušara** sastoji se od vakuum komore s jednom ili više pokretnih traka koje prelaze preko zagrijanih ploča ili ispod infracrvenih grijača. Trake se griju uz pomoć pare ili vruće vode pri različitim temperaturama što omogućuje kontrolu procesa sušenja i hlađenja. Najčešće se koristi u svrhu sušenja praškastih prehrambenih i farmaceutskih proizvoda.
- **Miješajuća vakuum sušara** koja može biti rotacijska, korištena u proizvodnji aroma, vitamina i aditiva, te miješajuća, za sušenje proizvoda velike viskoznosti.



Sušenje zamrzavanjem u vakuumu odnosno liofilizacija najčešće je korišten proces sušenja termolabilnih proizvoda visoke vrijednosti podložnih hidrolizi. Izvorni oblik, boja i okus proizvoda zadržavaju se u većoj mjeri nego prilikom klasičnog sušenja u vakuumu i značajno više u usporedbi s drugim postupcima sušenja. Sušenje zamrzavanjem je najskuplja tehnika sušenja (Šumić, 2014), a postiže produljenje trajnosti, poboljšanje boje, mirisa i okusa, uz manje gubitke bioaktivnih tvari. Također, sve se više istražuje mikrovalno vakuum sušenje koje objedinjuje prednosti vakuum i mikrovalnog sušenja, pridonoseći povećanoj energetskej učinkovitosti i unaprijeđenoj kvaliteti sušenog proizvoda. (Marelja i sur., 2020).

### 2.3.1. Prednosti sušenja u vakuumu

Najveća prednost sušenja u vakuumu je neznatna promjena nutritivne vrijednosti sušenog proizvoda u odnosu na svježi proizvod. Niska temperatura sušenja, uklanjanje više od 90 % vode uz smanjenu volumnu koncentraciju kisika osigurava bolju oksidacijsku stabilnost sušenog materijala što pridonosi očuvanju fizikalnih i kemijskih karakteristika kvalitete proizvoda. Sušenjem u vakuumu dobiva se porozna struktura sušenog materijala što omogućava veću brzinu rehidracije, a sušene materijale moguće je čuvati pri sobnim temperaturama (Marelja i sur., 2020; Šumić, 2014).

### 2.3.2. Nedostaci sušenja u vakuumu

Jedan od glavnih nedostataka je relativno složena konstrukcija uređaja zbog čega povećanje proizvodnog kapaciteta nije ostvarivo. Toplina se najčešće dovodi kroz zagrijanu ploču pomoću infracrvenih grijača ili kondukcijom, stoga je kod takvog načina sušenja, sušenje ograničeno površinom. Nadalje samo vođenje procesa sušenja je složeno te zahtjeva dobro poznavanje termodinamike i karakteristike sirovina (Marelja i sur., 2020; Šumić, 2014).

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. MATERIJALI

Za potrebe ovog istraživanja korištena je kora avokada (*Persea americana* Mill.) sorte Hass, porijeklom iz Kenije. Avokado je kupljen kod OPG Šulog (Donja Bistra). Plodovi avokada su do procesa sušenja skladišteni u tamnoj i hladnoj prostoriji, a za sušenje su korišteni zreli i zdravi plodovi.

##### 3.1.1. Aparatura i pribor

Aparatura:

- Laboratorijska vaga (Sartorius GP 4102, Libra elektronik, Hrvatska)
- Kondukcijska vakuum sušara Memmert VO200 PM200 (Memmert GmbH + Co. KG, Njemačka)
- Uređaj za vakumiranje (LAVEZZINI START GAS, Italija)
- Kolorimetar (LC 100 & SV 100 Kit; Lovibond – Tinitometar Ltd, Ujedinjeno Kraljevstvo)
- Analizator teksture (Texture Analyser TA HDPlus, Stable Micro System, Velika Britanija)
- Analitička vaga Kern ABS 80-4 (Kern & Sohn, Njemačka)
- Sušionik (Instrumentaria, Zagreb, Hrvatska)
- Ultrazvučna kupelj (Elmasonic P 300 H, Elma – Hans Schmidbauer GmbH & Co., Njemačka)
- Uređaj za centrifugiranje (Centric 250, Domel)
- UV-VIS Spektrofotometar (Genesys 180, Thermoscientific, SAD)
- Ahatni mlin (Frizsch, Pulverisette)
- Liofilizator (FreeZone 2,5; Labconco)
- Mikrovalna pećnica za digestiju uzoraka, *Multiwave* ECO 3000 (Anton Paar, Graz, Austrija)
- Trostruki kvadrupolni spektrometar masa uz induktivno spregnutu plazmu, ICP-QQQ (Agilent 8900, SAD)

Pribor:

- Kuhinjski nož i žlica

- Menzura (10 mL)
- Aluminijske posudice s poklopcem
- Eksikator
- Erlenmeyerove tikvice s brušenim grlom volumena 250 mL
- Parafilm
- Filter papir
- Odmjerne tikvice volumena 50, 100 mL
- Falcon kivete od 15, 50 mL
- Staklene epruvete
- Staklene čaše volumena 50, 100, 150 i 200 mL
- Stakleni lijevci
- Mikropipete volumena 100  $\mu\text{L}$  i 500  $\mu\text{L}$  (Eppendorf, Hamburg, Njemačka)
- Plastične i kvarcne kivete za spektrofotometar
- Tarionik s tučkom
- Vrećice za pakiranje u vakuumu

### 3.1.2. Kemikalije

- Destilirana voda
- 96 % etanol (Kemika, Hrvatska)
- Folin-Ciocalteu reagens (Merck, Njemačka)
- Natrijev karbonat (Kemika, Hrvatska)
- Metanol (Kemika, Hrvatska)
- 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil radikal (DPPH) (Sigma Aldrich, SAD)
- Aceton (Gram-mol, Zagreb, Hrvatska)
- Milli-Q voda (vodljivost 0,07  $\mu\text{S cm}^{-1}$ )
- Dušična kiselina,  $\text{HNO}_3$  (65 % *supra pur*, Fluka, Steinheim, Švicarska)
- Fluorovodična kiselina, HF (48 %, *supra pur*, J. T. Baker, Nizozemska)
- Standardna otopina indija, In,  $1,000 \text{ g L}^{-1} \pm 0,002 \text{ g L}^{-1}$  (Fluka, Steinheim, Švicarska)
- Multielementna standardna otopina (Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Ti, Tl, V i Zn),  $100 \pm 0,2 \text{ mg L}^{-1}$  (Analytika, Prag, Češka)
- Multielementna standardna otopina (Ca, K, Mg, Na), (Fluka, Steinheim, Švicarska)
- Jednoelementna standardna otopina Sn,  $1,000 \pm 0,002 \text{ g L}^{-1}$  (Analytika, Prag, Češka)
- Jednoelementna standardna otopina Sb,  $1,000 \pm 0,002 \text{ g L}^{-1}$  (Analytika, Prag, Češka)

- Jednoelementna standardna otopina U,  $1,000 \pm 0,002 \text{ g L}^{-1}$  (Aldrich, Milwaukee, WI, SAD)

Certificirani referentni materijali (engl. *Certified reference material, CRM*) za biljke:

- Apple leaves - NIST SRM 1515, The National Institute of Standards and Technology, SAD
- Citrus leaves - NCS ZC73018, China National Analysis Center for Iron & Steel, Kina

### 3.2. METODE

#### 3.2.1. Priprema uzorka

Prije sušenja, svježi plodovi avokada sorte Hass su obrisani vlažnom krpom, prerezani na pola te im je izvađena sjemenka. Potom je pomoću žlice pulpa odvojena od kore avokada. Kora je narezana na komade otprilike jednake veličine, a za svako sušenje izvagano je 100 g uzorka.

#### 3.2.2. Provođenje sušenja

Kora avokada sušena je u kondukcijskoj vakuum sušari (Memmert GmbH + Co. KG, Njemačka), prikazanoj na slici 6. Sušenje je provedeno pri tri različite temperature (40, 60 i 80 °C) i tri različita tlaka (10, 40 i 70 kPa). Ukupno je provedeno 9 sušenja, a uvjeti su prikazani u tablici 4.

**Tablica 4.** Uvjeti sušenja s pripadajućim brojem eksperimenta

<i>Broj eksperimenta</i>	Uvjeti sušenja	
	Temperatura (°C)	Tlak (kPa)
1	40	10
2		40
3		70
4	60	10
5		40
6		70
7	80	10
8		40
9		70

Prije početka sušenja 100 g uzorka ravnomjerno je raspodijeljeno na tri metalne police sušare. Tijekom sušenja svakih 20 minuta uzorci su vađeni iz sušare te im je mjerena masa. Kraj sušenja je određen podudaranjem mjerene mase s posljednjom izmjerenom masom u prvoj decimali. Dobiveni podaci služe za crtanje krivulja ovisnosti promjene mase u vremenu sušenja. Nakon hlađenja sušeni uzorci su vakuumirani uz pomoć uređaja za vakuumiranje (Lavezzini start gas, Italija) te pohranjeni na tamnom i suhom mjestu za daljnje analize.



**Slika 6.** Vakuum sušara (vlastita fotografija)

### 3.2.3. Analiza fizikalnih svojstava

#### 3.2.3.1. Određivanje udjela suhe tvari

Suha tvar predstavlja količinu preostale tvari u materijalu nakon uklanjanja vode. Standardnom metodom sušenja određuje se ostatak nakon sušenja pri temperaturi od 105 °C do konstantne mase. U prethodno osušenu, ohlađenu te izvaganu aluminijsku posudicu s poklopcem odvagano je oko 1 g uzorka kore avokada (svježe i sušene). Otvorene posudice s uzorcima zajedno s pripadajućim poklopcem sušene su u sušioniku pri temperaturi od 105 °C. Nakon 2 sata posudice s poklopcem i uzorkom se vade, stavljaju u eksikator te nakon hlađenja ponovno važu. Proces sušenja, hlađenja u eksikatoru i vaganja ponavlja se do postizanja konstantne mase. Ukupna suha tvar u uzorku računa se prema jednadžbi [1]:

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

gdje je:

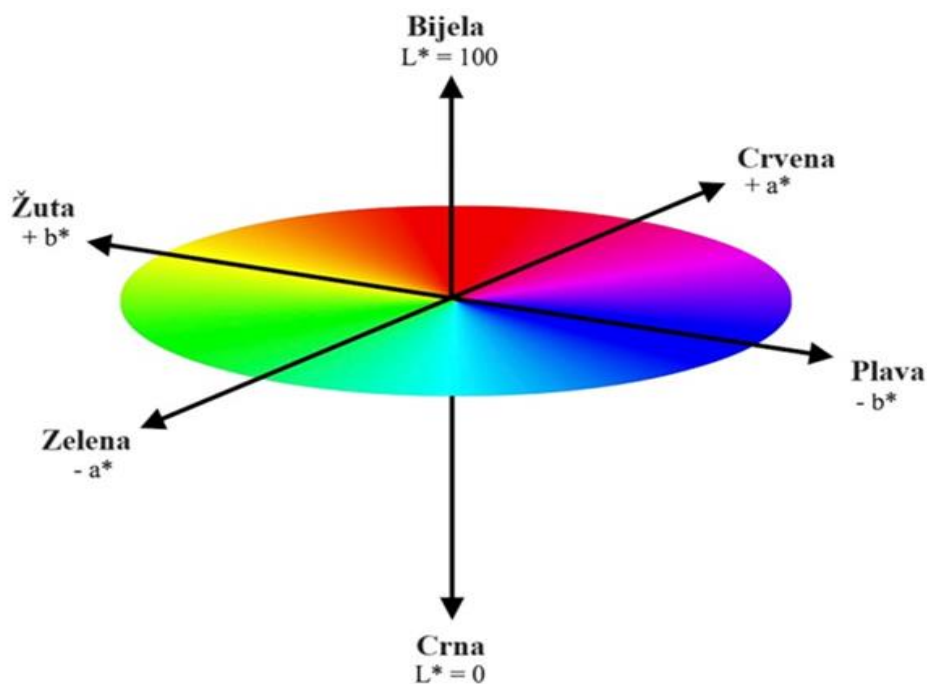
$m_0$  – masa prazne posudice s poklopcem

$m_1$  – masa iste posudice s uzorkom prije sušenja

$m_2$  – masa iste posudice s uzorkom nakon sušenja

### 3.2.3.2. Određivanje boje

Boja, kao ključno optičko svojstvo hrane, igra značajnu ulogu u određivanju njezine kvalitete. Stoga je tijekom procesa sušenja potrebno posebno obratiti pozornost na vanjski izgled i boju sušenog proizvoda. Najčešće korišten matematički sustav za mjerenje boje u prehrambenoj industriji je CIE  $L^* a^* b^*$  sustav (slika 7), a smatra se najbližim ljudskoj vizualnoj percepciji (Karlović, 2013).



**Slika 7.** Trodimenzionalni CIE LAB sustav boja (prema Belasco i sur., 2020)

U ovom sustavu mjerenja određuju se parametri boje  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  gdje parametar boje  $L^*$  predstavlja svjetlinu (skala od 0 za potpuno crnu do 100 za potpuno bijelu boju). Parametar

boje  $a^*$  ima raspon od -100 do +100, gdje negativne vrijednosti označavaju približavanje zelenoj, a pozitivne crvenoj boji. Parametar boje  $b^*$  također ima isti raspon od -100 (čisto plava boja) do +100 (čista žuta boja). Kombinacija parametara boje  $a^*$  i  $b^*$  predstavlja boju materijala, dok parametar  $L^*$  predstavlja svjetlinu te boje (Karlović, 2013).

*Postupak mjerenja:*

Mjerenje boje svježe i sušene kore avokada provedeno je pomoću kolorimetra (Lovibond, LC 100&SV 100 Kit; Lovibond-Tinitometar Ltd, Ujedinjeno Kraljevstvo). Mjerenje boje provedeno je postavljenjem uzorka na ravnu, bijelu podlogu, a prethodno kalibrirani kolorimetar postavljen je iznad uzorka kako bi se izmjerile vrijednosti parametara boje  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ . Mjerenje boje provedeno je nakon svakog sušenja, a provedena su tri ponavljanja, iz kojih je izračunata srednja vrijednost. Pomoću dobivenih vrijednosti parametara boje  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  izračunata je ukupna promjena boje ( $\Delta E^*$ ). Parametar  $\Delta E^*$  predstavlja ukupnu promjenu boje i daje informacije o tome koliko se boja nekog uzorka razlikuje od referentne vrijednosti, u ovom istraživanju boje svježe kore avokada, a izračunat je prema jednadžbi [2]:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad [2]$$

gdje je:

$L^*$  – svjetlina boje ispitivanog uzorka u  $L^*a^*b^*$  sustavu

$a^*$  – parametar boje ispitivanog uzorka

$b^*$  – parametar boje ispitivanog uzorka

$L_{ref}^*$  – svjetlina boje referentnog uzorka

$a_{ref}^*$  – parametar boje referentnog uzorka

$b_{ref}^*$  – parametar boje referentnog uzorka

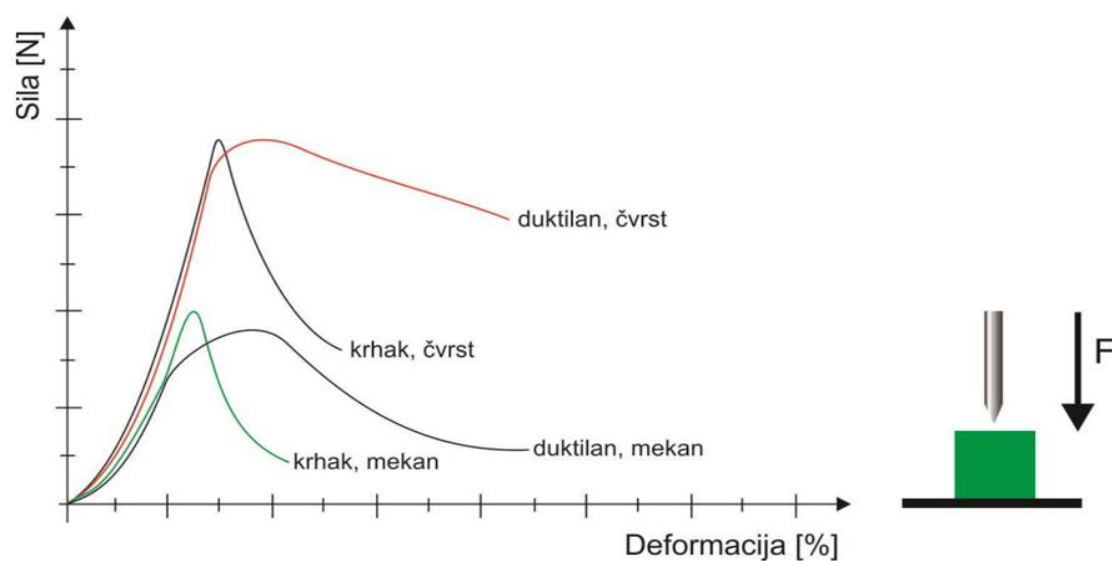
Za tumačenje ukupne promjene boje u odnosu na referenti uzorak koristi se tablica 5 (Xiao, 2008).

**Tablica 5.** Značenje dobivene vrijednosti  $\Delta E^*$  u vizualnom opažanju u odnosu na referentnu (prema Xiao, 2008)

$\Delta E^*$	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
$\geq 12,0$	Vrlo velika razlika

### 3.2.3.3. Analiza teksturnih svojstava

Sila, deformacija i vrijeme predstavljaju tri osnovne varijable koje se koriste u proučavanju teksture namirnica. Određivanje parametara teksture najčešće se provodi pomoću krivulje ovisnosti deformacije i primijenjene sile koja se dobije instrumentalnim mjerenjem. U ovom istraživanju korištena je destruktivna metoda određivanja parametara teksture prodiranjem sonde pomoću analizatora teksture TA HDPlus (Stable Micro System, Velika Britanija). Parametri teksture poput tvrdoće, elastičnosti i rada potrebnog za zagriz očitavaju se putem senzora prisutnih u sondi koja prodire u uzorak. Analizator teksture povezan je s računalom koje obrađuje i daje uvid u rezultate analize u obliku teksturne krivulje (slika 8) (Karlović, 2013; Brnčić i sur., 2010).



**Slika 8.** Definiranje karakteristika materijala putem analize teksturne krivulje (Karlović, 2013)



#### *Postupak mjerenja:*

Uzorak (svježa i sušena kora avokada) je stavljen na središte metalnog postolja. U programu Exponent postavljena je brzina prodiranja sonde na  $1 \text{ mms}^{-1}$  uz dubinu prodiranja od 15 mm. Program bilježi parametre sile potrebne za probijanje površine i deformacije iz kojih se izračunavaju parametri teksture (tvrdoća, elastičnost i potreban rad). Kao rezultat dobivene su vrijednosti sile potrebne za probijanje površine uzorka koja se interpretira kao tvrdoća izražena u N. Tvrdoća se direktno očitava te predstavlja najveći pik na generiranom dijagramu. Elastičnost se računa kao udaljenost koju je sonda prešla od početka prodiranja do lomljenja uzorka te se izražava u mm. Vrijednost rada potrebnog za zagriz predstavlja površinu ispod krivulje ovisnosti sile o putu, do krajnje točke prodora sonde u uzorak, a izražen je u Nmm. Analiza teksture svježeg i sušenih uzoraka kore avokada mjerena je na tri uzorka, a rezultati su izraženi kao srednja vrijednost tri paralelna mjerenja.

#### *3.2.3.4. Određivanje nasipne gustoće*

Nasipna gustoća je fizikalna karakteristika materijala koja se odnosi na masu praha u prostornom volumenu, a izražava se kao omjer mase materijala prema volumenu koji zauzima. Osušenoj i usitnjenoj kori avokada određena je nasipna gustoća metodom prema Beristainu i suradnicima (2001). Uz pomoć analitičke vage Kern ABS 80-4 (Kern & Sohn, Njemačka) precizno je odvagano 2 g praha kore avokada koji se usipa u menzuru od 10 mL. U svrhu ravnomjernog raspoređivanja čestica praha potrebno je lagano protresti menzuru. Menzura se postavlja na ravnu i čvrstu podlogu, te se pažljivo očita volumen praha. Nasipna gustoća ( $\delta_n$ ) izračunava se prema jednadžbi [3].

$$\delta_n \left( \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right) = \frac{m}{V} \quad [3]$$

gdje je:

$m$  – masa odvagane praha (g)

$V$  – očitani volumen praha u menzuri (mL)

### 3.2.4. Analiza kemijskih svojstava

#### 3.2.4.1. Priprema ekstrakta

Za potrebe određivanja ukupnih fenolnih spojeva i antioksidacijske aktivnosti potrebno je pripremiti ekstrakt kore avokada (svježe i sušene). Za pripremu ekstrakta primijenjena je metoda ultrazvučno potpomognute ekstrakcije pri čemu je korištena ultrazvučna kupelj (Elmasonic P 300 H, Elma – Hans Schmidbauer GmbH & Co., Njemačka). Primjena ultrazvuka u ovom procesu osigurava visoku reproducibilnost, olakšava rukovanje, koristi niže temperature i zahtjeva manje otapala. U usporedbi s konvencionalnim metodama, ultrazvučna ekstrakcija značajno povećava prinos različitih kemijskih spojeva, čuvajući istovremeno sastojke kao što su vitamini, pigmenti, fenoli te većinu termolabilnih spojeva. Osim što doprinosi povećanju učinkovitosti ekstrakcije, ultrazvuk predstavlja ekološki prihvatljivu tehnologiju sa značajnim energetske uštedama i eliminacijom upotrebe opasnih organskih otapala (Brnčić i Šic Žlabur, 2019; Drmić i Jambrak, 2010).

#### *Postupak pripreme:*

Za pripremu ekstrakta odvagano je 0,5 g usitnjenog uzorka svježe i sušene kore avokada. U Erlenmeyerovoj tikvici s brušenim grlom uzorak se pomiješa s 30 mL, 50 %-tnog etanola, nakon čega se grlo tikvice obloži parafilmom. Tako pripremljene tikvice podvrgavaju se ultrazvučnim valovima pri frekvenciji 37 kHz, amplitude 100 % pri temperaturi 50 °C u trajanju 30 minuta. Nakon tako provedene ekstrakcije, uzorci se filtriraju kroz naborani filter papir u odmjerne tikvice od 50 mL koje se nadopune 50 %-tnim etanolom do oznake. Ovako pripremljeni ekstrakti skladišteni su u zamrzivaču (-18 °C) do provođenja daljnjih analiza (određivanja ukupnih fenola i antioksidacijske aktivnosti).

#### 3.2.4.2. Određivanje antioksidacijske aktivnosti DPPH metodom

Za određivanje antioksidacijske aktivnosti kore avokada (svježe i sušenih) upotrebljena je često korištena metoda koja uključuje primjenu 2,2-difenil-1-pikril-hidrazil radikala (DPPH). DPPH predstavlja stabilan, ljubičasto obojen dušikov radikal. Njegova stabilnost proizlazi iz sposobnosti delokalizacije slobodnog elektrona, što sprječava dimerizaciju molekule. Antioksidativni kapacitet ispitivanog uzorka određuje se na temelju postotka obezbojenja DPPH radikala. Proces redukcije DPPH radikala antioksidansom rezultira stvaranjem blijedožute boje, a sposobnost antioksidansa da reduciraju DPPH radikal prati se uz pomoć

mjerenja promjene apsorbancije pri 517 nm. Antioksidacijska aktivnost se računa prema jednadžbi [4]:

$$S = 100 - \frac{A_x}{A_0} \times 100 \quad [4]$$

gdje je:

S – antioksidacijska aktivnost (%)

A<sub>x</sub> – apsorbancija uzorka

A<sub>0</sub> – apsorbancija kontrolnog uzorka

Mjerenje antioksidacijske aktivnosti uzoraka kore avokada (svježe i sušene) provedeno je na prethodno pripremljenim fenolnim ekstraktima (priprema opisana u poglavlju 3.2.4.1.). Prije početka analize pripremi se 0,05 mM otopina DPPH radikala otapanjem 0,2 g DPPH radikala u 100 mL metanola.

*Postupak određivanja:*

U prvu epruvetu se otpipetira 2 mL fenolnog ekstrakta, 2 mL metanola i 1 mL 0,5 mM otopine DPPH. Za kontrolni uzorak, u drugu epruvetu otpipetira se 4 mL metanola i 1 mL 0,05 mM otopine DPPH. Obje epruvete stoje u mraku, a nakon 20 minuta pomoću spektrofotometra mjeri se apsorbancija pri 517 nm, uz metanol kao slijepu probu.

#### *3.2.4.3. Postupak određivanja ukupnih fenola*

U svrhu određivanja koncentracije ukupnih fenola korištena je spektrofotometrijska metoda, koja se temelji na oksidaciji fenolnih skupina dodatkom Folin-Ciocalteu reagensa i nastankom obojenog produkta. Folin-Ciocalteu reagens, koji se sastoji od smjese fosfovolframove i fosfomolibden kiseline, reagira s fenoksid ionom iz uzorka. Tijekom ove reakcije, fenoksid ion oksidira, dok se Folin-Ciocalteu reagens reducira do plavo obojenih volframovih i molibdenovih oksida. Intenzitet boje, koji je izmjeren pri valnoj duljini od 765 nm, direktno je proporcionalan koncentraciji fenola (Shortle i sur., 2014).

*Postupak mjerenja:*

Za određivanje ukupnih fenola u odmjernu tikvicu od 50 mL otpipetira se 0,5 mL ekstrakta (dobivanje ekstrakta opisano u poglavlju 3.2.4.1) kojem se doda 30 mL destilirane vode te 2,5 mL Folin-Ciocalteu reagensa i promiješa. Nakon 5 minuta tako pripremljenoj smjesi doda se

7,5 mL zasićene otopine natrijeva karbonata. Smjesa se promućka i nadopuni destiliranom vodom do oznake. Tako pripremljeni uzorci stoje dva sata, nakon čega im se mjeri apsorbancija pri 765 nm pomoću spektrofotometra (Genesys 180, Thermoscientific, SAD) uz destiliranu vodu kao slijepu probu. Količina ukupnih fenola u uzorcima određena je pomoću prethodno napravljenog baždarnog dijagrama, a sadržaj ukupnih fenola izražava se kao mg galne kiseline po g uzorka (mg GAE g<sup>-1</sup> uzorka). Za izradu baždarnog dijagrama pripremi se otopina galne kiseline, otapanjem 500 mg galne kiseline u 96 %-tnom etanolu u odmjernoj tikvici od 100 mL i nadopunjavanjem do oznake. Zatim se u odmjerne tikvice od 100 mL doda 0, 1, 2, 3, 4, 5 i 10 mL alikvota standarda te se nadopune do oznake destiliranom vodom. Dobije se koncentracijski niz otopina s koncentracijama galne kiseline od 0, 50, 100, 150, 250 i 500 mg L<sup>-1</sup> kojima se mjeri apsorbancija te izrađuje baždarni dijagram. Koncentracija ukupnih fenola računa se iz jednadžbe [5]:

$$y = 0,0012x + 0,0097; R^2 = 0,9993 \quad [5]$$

gdje je:

y – apsorbancija pri 765 nm

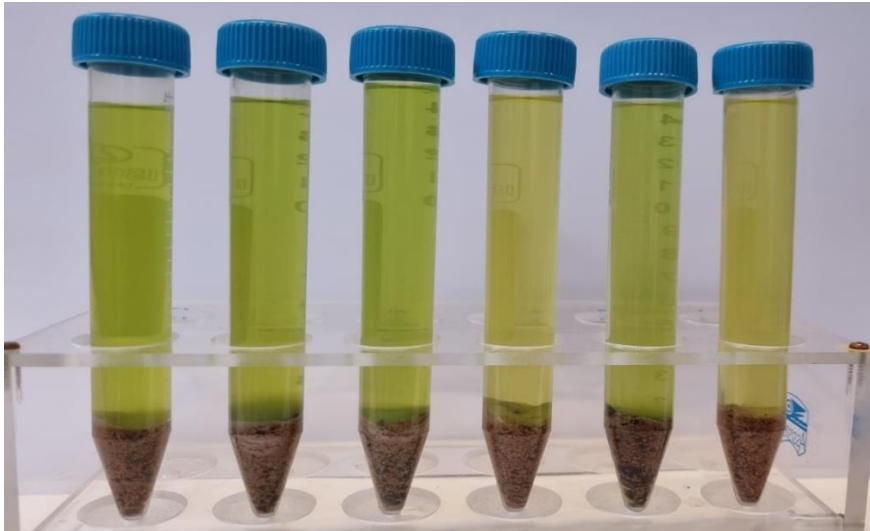
x – koncentracija galne kiseline (mg L<sup>-1</sup>).

#### 3.2.4.4. *Određivanje ukupnih klorofila*

Sadržaj klorofila u uzorcima svježe i sušene kore avokada određivan je metodom prema Holmu i Wettsteinu. Ova spektrofotometrijska metoda omogućava određivanje koncentracije kloroplastnih pigmenata kao što su klorofil *a*, klorofil *b* i ukupni klorofili, u acetonskom ekstraktu biljnog materijala. Postupak ekstrakcije i određivanje klorofila mora se provesti brzo u zamračenim uvjetima kako bi se osigurala preciznost rezultata (Holm, 1954; Wettstein 1957).

*Postupak određivanja:*

Odvaži se 0,7 g uzorka (svježa ili sušena kora avokada) u tarionik. Uzorku se doda pola žličice kvarcnog pijeska, malo praha magnezijeva karbonata (zbog neutralizacije kiselosti) i 15 mL acetona. Smjesa se usitni u tarioniku te kvantitativno prebaci u kivetu za centrifugu kao što je prikazano na slici 9. Zatim se smjesa centrifugira 10 minuta pri 4000 okretaja u minuti. Nakon centrifugiranja, supernatant se filtrira kroz naborani filter papir u odmjernu tikvicu (25 mL) i nadopuni acetonom do oznake. Ovako dobiveni ekstrakti koriste se za daljnja spektrofotometrijska mjerenja.



**Slika 9.** Smjesa prije centrifugiranja (vlastita fotografija)

Pripremljenim ekstraktima se zatim mjeri apsorbancija pomoću spektrofotometra pri valnim duljinama od 662 nm, 644 nm i 440 nm uz aceton kao slijepu probu. Dobivene vrijednosti apsorbancije uvrštene su u Holm-Wetstainove jednadžbe za izračunavanje koncentracije pigmenta u  $\text{mg L}^{-1}$ :

$$\text{klorofil } a = 9,784 \times A_{662} - A_{644} [\text{mg L}^{-1}] \quad [6]$$

$$\text{klorofil } b = 21,426 \times A_{644} - 4,65 \times A_{662} [\text{mg L}^{-1}] \quad [7]$$

$$\text{klorofil } a + b = 5,134 \times A_{662} + 20,436 \times A_{644} [\text{mg L}^{-1}] \quad [8]$$

$$\text{karotenoidi} = 4,695 \times A_{440} - 0,268 \times (\text{klorofil } a + \text{klorofil } b) [\text{mg L}^{-1}] \quad [9]$$

Brojevi u jednadžbama su molarni apsorpcijski koeficijenti po Holmu i Wettsteinu, dok je konačna koncentracija pigmenta izražena u  $\text{mg g}^{-1}$ . Koncentracija pigmenta na  $\text{mg g}^{-1}$  svježe tvari izračunata je prema jednadžbi [10]:

$$c = \frac{c_1 \times V \times r}{m} [\text{mg g}^{-1}] \quad [10]$$

Prema kojoj je:

$c$  – masena koncentracija pigmenta izražena u  $\text{mg g}^{-1}$  svježe tvari

$c_1$  – masena koncentracija pigmenta izražena u  $\text{mg L}^{-1}$

$V$  – volumen filtrata (tj. odmjerne tikvice) izražen u L

$r$  – razrjeđenje filtrata

$m$  – masa uzorka izražena u mg

#### *3.2.4.5. Određivanje mineralnih elemenata ICP-QQQ metodom*

Koncentracije elemenata u uzorcima kore avokada određene su primjenom trostrukog kvadrupolnog spektrometra masa uz induktivno spregnutu plazmu, ICP-QQQ (Agilent 8900). Princip rada instrumenta temelji se na ioniziranju uzoraka pomoću plazme koja nastaje putem promjenjivog magnetskog polja. Ioni s različitim omjerima mase i naboja selektivno prolaze kroz trostruki kvadrupolni analizator mase (QQQ). Nakon toga dolaze do detektora gdje proizvode električni signal koji se može registrirati putem računala povezanog s uređajem. Računalni program pomoću kalibracijskih krivulja pretvara navedeni signal u podatak o koncentraciji određenog elementa.

#### Priprema uzorka za multielementnu analizu

Multielementna analiza provedena je na svježem uzorku i uzorku sušenom u kondukcijskoj vakuum sušari pri  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $10\text{ kPa}$ . Svježi uzorak kore avokada je za multielementnu analizu pripremljen metodom vakuum sušenja, u liofilizatoru (FreeZone 2,5; Labconco) pri uvjetima od  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $16\text{ Pa}$ . Nakon liofilizacije uzorak je usitnjen u fini prah pomoću ahatnog kugličnog mlina (Frisch, Pulverisette) te skladišten na sobnoj temperaturi do daljnjih analiza.

#### Digestija uzoraka mikrovalnim zračenjem

Za potrebe multielementne analize uzorci kore avokada prethodno su podvrgnuti raščinjavanju u zatvorenom mikrovalnom sustavu uređaja Multiwave ECO 3000 (Anton Paar, Graz, Austrija). U teflonske posudice odvaži se po  $0,1\text{ g}$  uzorka, doda  $6\text{ mL}$  dušične kiseline ( $65\%$ , s.p.) i  $0,1\text{ mL}$  fluorovodične kiseline ( $48\%$  s.p.). Provedeno je postupno zagrijavanje u trajanju od sat vremena pri temperaturi od  $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nakon digestije, uzorci su ohlađeni i preneseni u prethodno pripremljene odmjerne tikvice od  $100\text{ mL}$  koje su zatim nadopunjene Mili-Q vodom do oznake. Od tako razrjeđenih uzoraka odvojen je alikvot od  $20\text{ mL}$  za potrebe daljnje analize. Prije provođenje analize, dobivene otopine pripremljene su uz dodatak  $2\%$  v/v  $\text{HNO}_3$  s.p. (konc.) i indija ( $\text{In}$ ,  $1\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ ) kao internog standarda.

### Detekcija kemijskih elemenata u uzorcima pomoću spektrometra masa uz induktivno spregnutu plazmu

U uzorcima je analizirana koncentracija 29 elemenata (Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn).

Multielementna analiza provedena je pomoću ICP-QQQ (8900, Agilent). Za kvantifikaciju je korištena vanjska kalibracija pomoću multielementnih standardnih otopina u rasponu koncentracija 0,1-10  $\mu\text{g L}^{-1}$  za elemente u tragovima, odnosno 1-5  $\text{mg L}^{-1}$  za glavne elemente (Ca, K, Na, Mg). Serija standardnih otopina pripravljena je odgovarajućim razrjeđivanjem standardne multielementne otopine (Analytika, Prag, Češka) koja sadrži sljedeće elemente: Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Ti, Tl, V i Zn. Dodane su i standardne otopine za pojedine elemente: Sn, Sb i U. Dok je koncentracija glavnih elemenata određena na temelju standardnih otopina pripremljenih odgovarajućim razrjeđivanjem multielementne standardne otopine (Fluka, Steinheim, Švicarska).

Sve otopine (standardi i uzorci) stabilizirane su dodatkom 2 % (v/v)  $\text{HNO}_3$  (65 %, s.p.), a kao interni standard korištena je standardna otopina indija.

Kontrola kvalitete mjerenja provedena je istovremenim mjerenjem odgovarajućih certificiranih referentnih materijala za biljke Apple leaves oznake NIST SRM 1515 i Citrus leaves oznake NCS ZC73018.

#### 3.2.5. Statistička obrada

Eksperimentalni podaci dobiveni provođenjem analiza obrađeni su u MS Excel programu u kojem su određene srednje vrijednosti i standardne devijacije te je provedena analiza varijance (engl. *Analysis of Variance*, ANOVA) koja izražava statistički značajnu razliku varijabli kada je  $p < 0,05$ .

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati utjecaj uvjeta vakuum sušenja kore avokada sorte Hass na njezina fizikalna i kemijska svojstva u svrhu valorizacije ovog nusproizvoda. Provedeno je 9 eksperimenata sušenja pri različitim kombinacijama temperature (40, 60 i 80 °C) i tlaka (10, 40 i 80 kPa). Tijekom istraživanja praćene su promjene mase kore avokada u vremenu sušenja, udio suhe tvari, tekstura, boja, nasipna gustoća, antioksidacijska aktivnost, udio ukupnih fenola, pigmentata i mineralnih elemenata nakon sušenja. Rezultati su obrađeni u programu MS Excel, gdje su izračunate srednje vrijednosti i standardne devijacije (SD), izrađeni dijagrami te je provedena analiza varijance (ANOVA). Svi rezultati su prikazani pomoću tablica i slika.

Na slici 10 prikazane su krivulje ovisnosti promjene mase kore avokada o vremenu sušenja za sve provedene eksperimente. Udio suhe tvari u svježoj i sušenoj kori avokada prikazan je u tablici 6. Vrijednosti parametara boje svježe i sušene kore avokada su izražene kao srednja vrijednost  $\pm$  SD i prikazane u tablici 7, dok su rezultati provedene analize varijanci prikazani u tablici 8. Ukupna promjena boje  $\Delta E^*$  sušene u odnosu na svježu koru avokada prikazana je na slici 11 i pomoću digitalne fotografije na slici 12.

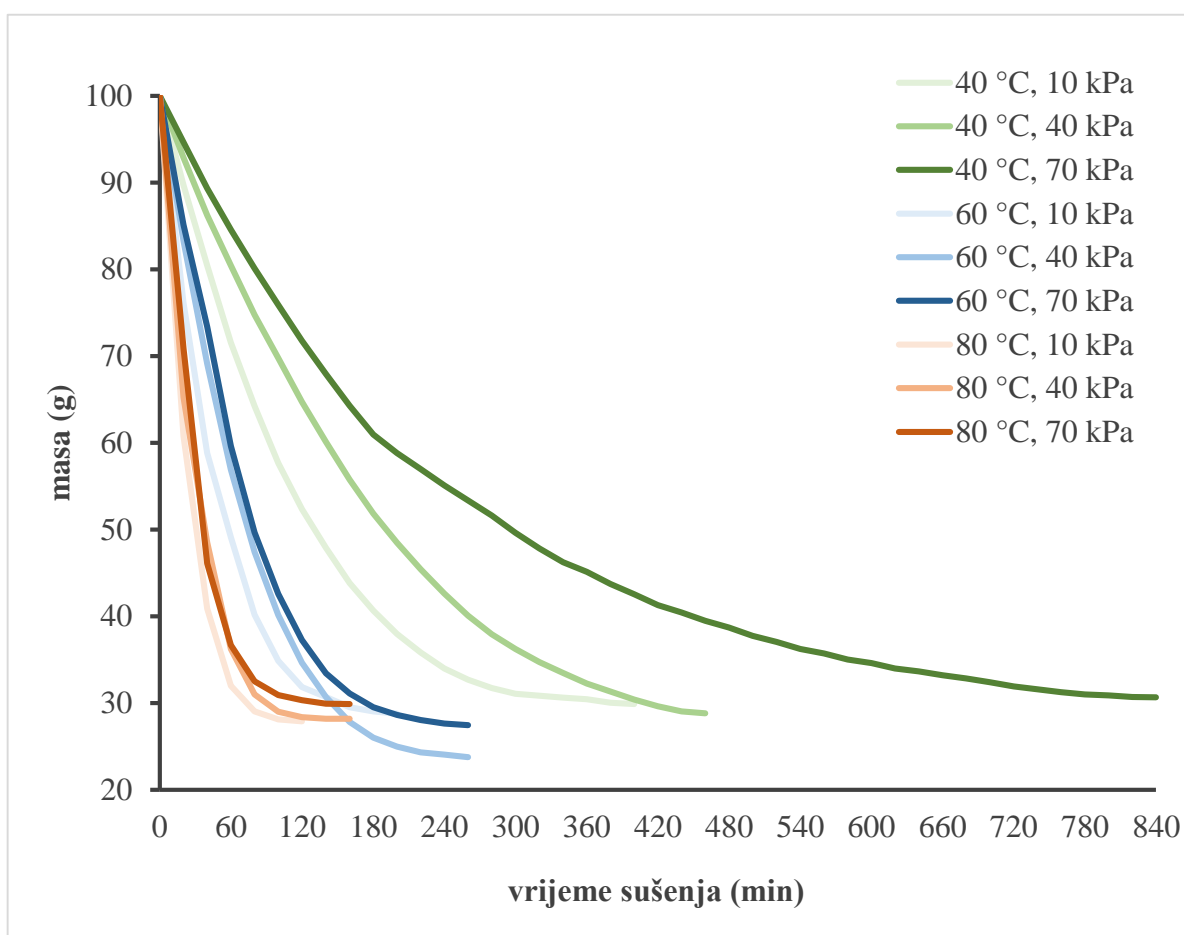
Rezultati dobiveni pomoću analizatora teksture obrađeni su u službenom programu proizvođača uređaja te su dobivene teksturne krivulje kao što su prikazane na slici 13. U spomenutom programu su iz teksturnih krivulja izračunate vrijednosti tvrdoće, elastičnosti i rada te su dalje obrađene u MS Excel programu i izražene kao srednja vrijednost  $\pm$  SD u tablici 9, a rezultati provedene analize varijanci u tablici 10. Nasipne gustoće sušene kore avokada prikazane su na slici 14.

Rezultati određivanja antioksidacijske aktivnosti DPPH metodom prikazani su na slici 15, a rezultati provedene analize varijanci u tablici 11. Ukupni fenoli su određeni spektrofotometrijski pomoću Fiolin-Ciocalteu reagensa, a rezultati su izraženi kao mg galne kiseline  $g^{-1}$  suhe tvari i prikazani na slici 16. Tablica 12 prikazuje rezultate provedene analize varijanci ukupnih fenola u svježoj i sušenoj kori avokada. Rezultati spektrofotometrijskog određivanja klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnih klorofila i karotenoida u svježoj i sušenoj kori izražene su kao mikrogrami pigmenta u gramu suhe tvari i prikazani u tablici 13 za svježu koru i slikama 17-20 za sušenu koru. Rezultati analize varijanci vrijednosti količine pigmentata u svježoj i sušenoj kori prikazani su u tablici 14. Rezultati analize mineralnog sastava svježe i kore avokada sušene u vakuumu pri 60 °C i tlaku 10 kPa prikazani su na slikama 21-23 i tablici 16, dok su rezultati provedene analize varijanci prikazani u tablici 15.



#### 4.1. REZULTATI SUŠENJA UZORAKA

Glavni cilj sušenja hrane je smanjenje sadržaja vode radi sprječavanja kvarenja i očuvanja kvalitete namirnica. Visoke temperature primijenjene pri sušenju mogu uzrokovati kemijske promjene u namirnicama kao i promjenu njihove nutritivne vrijednosti. Stoga je procese sušenja poželjno provoditi pri nižim temperaturama. Također, sušenje pri nižim tlakovima (vakuum) omogućuje korištenje nižih temperatura prilikom procesa sušenja pa time i proizvodnju kvalitetnijih proizvoda. U ovom istraživanju, sušenje kore avokada provedeno je u vakuum sušari pri temperaturama 40, 60 i 80 °C i tlakovima 10, 40 i 70 kPa. Tijekom procesa sušenja praćene su promjene mase kore avokada u vremenu sušenja, a krivulje ovisnosti promjene mase kore avokada o vremenu sušenja za sve provedene procese sušenja prikazane su na slici 10.



**Slika 10.** Utjecaj vakuum sušenja na promjenu mase kore avokada u ovisnosti o vremenu sušenja

Prema krivuljama ovisnosti promjene mase o vremenu sušenja (slika 10), mogu se primijetiti dva perioda procesa sušenja, period konstantne i padajuće brzine sušenja. Tijekom perioda konstantne brzine sušenja, voda isparava s vanjske površine biljnog materijala što rezultira bržim procesom sušenja u toj fazi. Najveći nagib imaju krivulje pri sušenju kora avokada na najvišoj temperaturi i najnižem tlaku (80 °C, 10 kPa), što ukazuje da je period konstantne brzine najkraći pri navedenim uvjetima. S druge strane pri temperaturi sušenja 40 °C i tlaku 70 kPa nagib krivulje je najblaži, a period konstantne brzine sušenja najduži. Nakon toga slijedi period padajuće brzine, odnosno spora faza sušenja koja završava kada u središtu sušenog materijala više nema dovoljno vode da se održi parcijalni tlak zasićenja. Sušenje je najkraće trajalo pri 80 °C, 10 kPa, a najduže pri 40 °C i 70 kPa. Odnosno, viša temperatura i niži tlak rezultiraju bržim sušenjem kore avokada, dok niža temperatura sušenja i viši tlak sporijem sušenju. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem koje su proveli Susilo i suradnici (2022) koji su sušili kriške limuna u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature (40, 50 i 60 °C) i tlaka (51 i 92 kPa) te također zaključili da je sušenje kraće pri višim temperaturama kao i nižem tlaku, odnosno većem vakuumu. Raaf i suradnici (2022) su kondukcijski sušili plodove amle (*Embllica officinalis*) pri temperaturama od 40 do 70 °C i na temelju dobivenih rezultata došli su do sličnog zaključka, odnosno da se povećanjem temperature skraćuje vrijeme sušenja. Primijenjeni niži (10 kPa) tlak rezultirao je kraćim vremenom sušenja, a najveći utjecaj imao je pri najnižoj temperaturi sušenja. Vrijeme potrebno za sušenje kore avokada pri 40 °C je 440 minuta kraće pri nižem korištenom tlaku (10 kPa) u usporedbi s tlakom od 70 kPa. Kod sušenja na 60 i 80 °C tlak nije imao utjecaj na trajanje sušenja dok je smanjenjem tlaka na 10 kPa vrijeme sušenja skraćeno za 60 minuta pri 60 °C, odnosno 40 minuta pri 80 °C. Dobiveni rezultati su u skladu s istraživanjem Arevalo-Pinedo i Murr (2007) koji su sušenjem mrkve i tikve na temperaturama 50 do 70 °C i tlaku vakuuma 5, 15 i 25 kPa, primijetili povećanje brzine sušenja mrkve i tikve pri nižim tlakovima.

## 4.2. REZULTATI ANALIZE FIZIKALNIH SVOJSTAVA

### 4.2.1. Rezultati određivanja udjela suhe tvari

Udio suhe tvari predstavlja jedan od parametara kvalitete, a određen je metodom sušenja pri temperaturi od 105 °C do konstantne mase, rezultati su prikazani u tablici 6. Udio suhe tvari u sušenim uzorcima kore avokada kreće se od 91,28 % do 97,79 % dok u svježoj kori iznosi 18,12 %. Iz prikazanih rezultata može se uočiti da je udio suhe tvari viši kod uzoraka sušenih pri temperaturama od 60 i 80 °C za razliku od uzoraka sušenih pri 40 °C. Sušenjem kore avokada pri 40 i 60 °C udio suhe tvari najviši je pri sušenju sa sniženim tlakom od 10 kPa, dok je kod temperature sušenja od 80 °C najviši pri tlaku od 70 kPa. Najviši udio suhe tvari zabilježen je kod uzorka sušenog pri 80 °C, 70 kPa, a najniži pri 40 °C, 40 kPa.

**Tablica 6.** Rezultati određivanja udjela suhe tvari u svježoj kori avokada i sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

<i>Uvjeti sušenja</i>		<b>Suha tvar (%)</b>
<i>Temperatura [°C]</i>	<i>Tlak [kPa]</i>	
<i>Svježi uzorak</i>		18,12
40	10	95,03
	40	91,28
	70	92,70
60	10	97,71
	40	96,42
	70	93,99
80	10	96,53
	40	96,99
	70	97,79

### 4.2.2. Rezultati određivanja boje

Boja je jedno od najvažnijih svojstava kvalitete proizvoda, a utječe na izbor hrane i percepciju potrošača. Zadržavanje željene boje hrane prilikom pripreme ili konzerviranja hrane može biti pokazatelj očuvanja hranjivih tvari i okusa te potvrditi optimalne uvjete provođenja nekog procesa. U ovom istraživanju za praćenje promjene boje pri sušenju kore avokada korišten je

CIE L\* a\* b\* matematički sustav. Kolorimetrom su izvršena 3 paralelna mjerenja parametara boje za svježi i sušene uzorke kore avokada. Izmjerene vrijednosti parametara boje L\*, a\* i b\* prikazane su u tablici 7 te izražene kao srednja vrijednost ± standardna devijacija (SD).

**Tablica 7.** Srednja vrijednost parametara boje ( $\bar{x} \pm SD$ ) svježe kore avokada (n=3) i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

<i>Uvjeti sušenja</i>		<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
<i>Temperatura [°C]</i>	<i>Tlak [kPa]</i>			
<i>Svježi uzorak</i>		49,01 ± 4,19	8,06 ± 2,95	32,23 ± 3,62
40	10	55,14 ± 3,83	8,02 ± 2,12	35,32 ± 1,12
	40	48,20 ± 1,19	12,26 ± 0,88	32,86 ± 0,46
	70	46,82 ± 1,50	14,62 ± 0,50	30,96 ± 0,96
60	10	60,46 ± 0,58	7,44 ± 1,64	37,00 ± 1,11
	40	55,02 ± 3,75	9,02 ± 2,84	35,02 ± 1,46
	70	52,32 ± 2,78	10,26 ± 1,10	34,40 ± 0,94
80	10	59,64 ± 2,71	9,26 ± 37,08	37,08 ± 0,22
	40	60,16 ± 1,85	10,10 ± 2,28	38,34 ± 0,72
	70	53,60 ± 1,70	11,18 ± 2,29	34,90 ± 0,68

Prema vrijednosti parametra boje L\* koji predstavlja svjetlinu uzoraka, iz prikazanih rezultata (tablica 7), može se uočiti da je uzorak kore avokada sušen pri 60 °C i tlaku od 10 kPa najsvjetliji dok je najtamniji uzorak sušen pri 40 °C i tlaku 70 kPa. Slične rezultate dobili su Susilo i suradnici (2022) za kriške limune sušene u vakuum sušari pri kombinacijama temperature sušenja 40, 50 i 60 °C i tlakovima od 51 i 92 kPa. U njihovom istraživanju najtamniji je bio (najniža L\* vrijednost) uzorak sušen pri najnižoj temperaturi 40 °C i tlaku 51 kPa, a najsvjetliji (najveću L\* vrijednost) pri temperaturi 50 °C i tlaku 51 kPa.

U ovom istraživanju, prema rezultatima prikazanim u tablici 7, najveći utjecaj na L\* vrijednost odnosno svjetlinu kore avokada nakon sušenja imala je temperatura sušenja pa se tako može uočiti da povećanjem temperature sušenja raste i L\* vrijednost odnosno dobiveni uzorak je svjetliji. Vrijednost parametra boje a\* predstavlja raspon od zelene do crvene boje. Niže vrijednosti parametra boje a\* znače veći udio zelene dok više znače veći udio crvene boje u uzorcima. Vrijednost parametra boje b\* predstavlja raspon od plave do žute boje. Niže

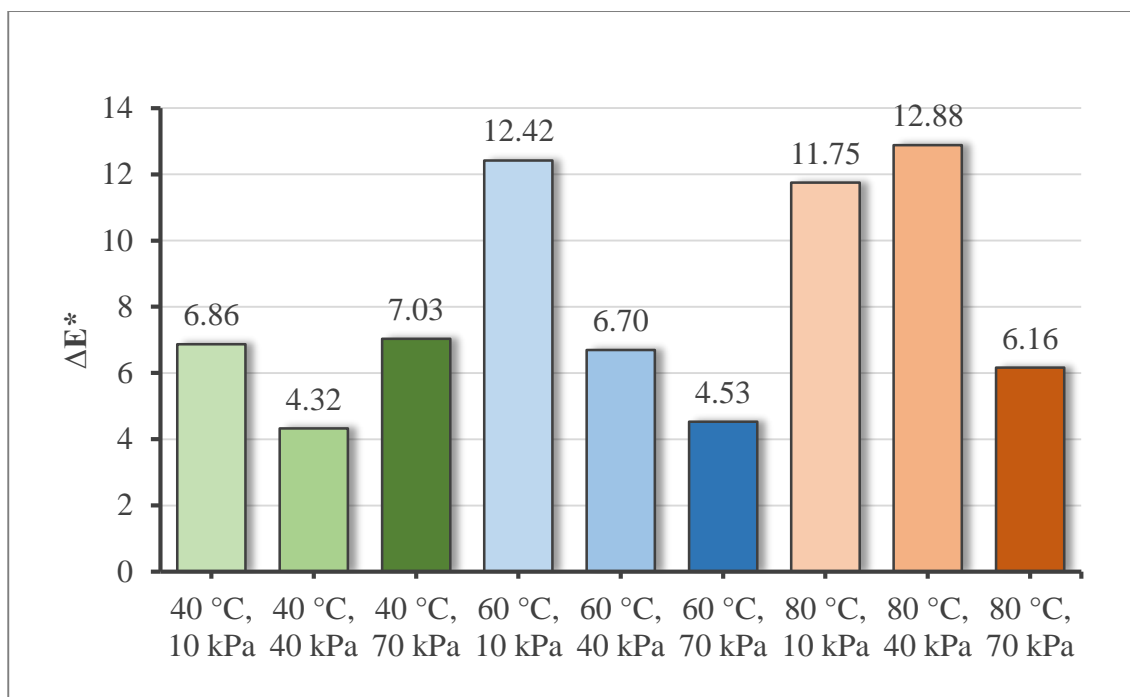
vrijednosti parametra boje  $b^*$  znače veći udio plave boje u uzorcima dok više znače veći udio žute boje. Prema dobivenim rezultatima uzorak sušen pri 40 °C i tlaku 70 kPa ima najveći udio crvene i plave boje jer je izmjerena najveća vrijednost parametra boje  $a^*$  i najmanja vrijednost parametra boje  $b^*$ . Kod najsvjetlijeg uzorka (sušen pri 60 °C i tlak 10 kPa), vrijednost parametra boje  $a^*$  je najmanja što znači da ima najveći udio zelene boje. Prema vrijednosti parametra boje  $b^*$ , najviše žute boje prisutno je kod uzorka sušenog pri 80 °C i tlaku 40 kPa.

Promatrajući utjecaj tlaka na parametre boje može se uočiti da je pri najnižem korištenom tlaku od 10 kPa pri svim temperaturama dobivena viša vrijednost svjetline boje  $L^*$  (osim kod uzorka sušenog pri 80 °C). Također, uzorci sušeni pri najnižem korištenom tlaku imaju niže vrijednosti parametra boje  $a^*$  (veći udio zelene boje) i više vrijednosti parametra boje  $b^*$  (veći udio žute boje), osim kod uzorka sušenog pri 80 °C. Prema tome, uglavnom su uzorci sušeni pri nižem tlaku svjetliji te sadrže više zelene i žute boje u odnosu na uzorke sušene pri tlaku 70 kPa. Ovi rezultati nešto se razlikuju od onih dobivenim istraživanjem Simão i suradnika (2022) u kojem tlak nije imao utjecaja na  $L^*$  i  $a^*$  vrijednost.

**Tablica 8.** Rezultati analize varijanci vrijednosti parametara boje svježe kore avokada i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

	$L^*$	$a^*$	$b^*$
$F$	1,129869	0,868776	1,45239
$p$ - vrijednost	0,318834	0,378565	0,262581
$F$ crit	5,317655	5,317655	5,317655

Rezultati provedene analize varijanci parametara boje svježe i sušene kore avokada prikazani u tablici 8 pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između parametara boje svježeg i sušenih uzoraka kore avokada ( $p > 0,05$ ).



**Slika 11.** Ukupna promjena boje kore avokada sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Prema dobivenim vrijednostima parametara boje  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  može se odrediti i ukupna promjena boje ispitivanih uzoraka sušene kore avokada, izražene kao  $\Delta E^*$  vrijednosti te prikazane na slici 11. Parametar  $\Delta E^*$ , ukupna promjena boje, označava koliko se uzorak po boji razlikuje od nekog standardnog uzorka, što je u ovom slučaju svježa kora avokada. Prema rezultatima prikazanim na slici 11, ukupna promjena boje za sušene uzorke kore avokada pri različitim uvjetima temperature i tlaka u vakuum sušari kreće se od 4,32 do 12,88. Prema Xiao i sur. (2008), može se zaključiti da razlika u vizualnom opažanju boje uzoraka osušenih u vakuum sušari u odnosu na svježi uzorak varira od značajne ( $\Delta E^* = 3,0 - 6,0$ ) do vrlo velike ( $\Delta E^* \geq 12,0$ ).

Najveću ukupnu promjenu boje pokazao je uzorak kore avokada sušen pri 80 °C i tlaku 40 kPa, a najmanju uzorak sušen pri 40 °C i tlaku 40 kPa. Fotografije sušenih uzoraka prikazane su na slici 12. Među sušenim uzorcima kore avokada najzeleniji je uzorak sušen pri 60 °C i tlaku 10 kPa, a najtamniji uzorak je uzorak sušen pri 40 °C i tlaku 70 kPa, što je u skladu s izmjerenim vrijednostima parametara boje  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ .



**Slika 12.** Fotografije svježe kore avokada i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

#### 4.2.3. Rezultati određivanja svojstava teksture

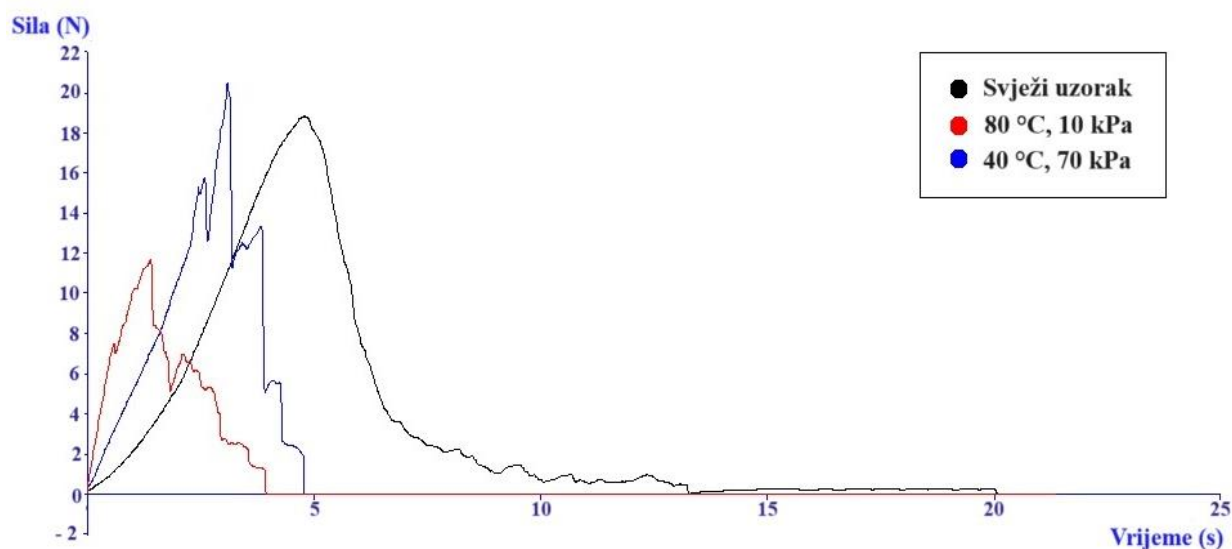
Tekstura je fizikalno svojstvo koje ima značajnu ulogu u procjeni kvalitete proizvoda jer utječe na prihvatljivost od strane potrošača i užitak tijekom žvakanja. Gubitak vode tijekom sušenja rezultira strukturnim promjenama što utječe na senzorska svojstva i teksturu u usporedbi sa svježim proizvodom. Tekstura ima utjecaj poznat kao otpuštanje modulacije okusa, jer da bi se okusi osjetili moraju se osloboditi iz matrice hrane do odgovarajućih receptora (Brnčić i sur., 2010). Određivanje promjena u teksturi kore avokada nakon sušenja u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka provedeno je pomoću instrumentalnog analizatora teksture, a mjerenjem su dobivene vrijednosti parametara tvrdoće, elastičnosti i rada potrebnog za zagriz. Rezultati određivanja teksture prikazani su u tablici 9, a izraženi su kao srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija.

**Tablica 9.** Srednja vrijednost parametara teksture ( $\bar{x} \pm SD$ ) svježe kore avokada ( $n=3$ ) i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

<i>Uvjeti sušenja</i>		Tvrdoća [N]	Elastičnost [mm]	Rad [Nmm]
<i>Temperatura [°C]</i>	<i>Tlak [kPa]</i>			
<i>Svježi uzorak</i>		15,974 ± 2,364	2,068 ± 0,099	16,699 ± 0,848
40	10	18,854 ± 3,687	1,356 ± 0,546	10,497 ± 3,241
	40	19,939 ± 1,344	1,554 ± 0,608	16,678 ± 6,233
	70	18,959 ± 4,107	1,811 ± 0,596	17,474 ± 9,924
60	10	14,744 ± 7,695	0,840 ± 0,251	5,319 ± 1,378
	40	27,625 ± 3,431	1,046 ± 0,649	7,913 ± 1,635
	70	24,082 ± 3,784	0,643 ± 0,139	7,191 ± 0,710
80	10	11,768 ± 0,393	0,549 ± 0,146	4,040 ± 1,390
	40	18,902 ± 2,091	0,539 ± 0,063	5,613 ± 1,149
	70	12,163 ± 1,773	1,878 ± 0,272	9,769 ± 1,431

Prema dobivenim rezultatima, najveću tvrdoću ima uzorak kore avokada sušen pri 60 °C i tlaku 40 kPa, dok je najmekši, ali ujedno i uzorak kod kojeg je izmjeren najmanji rad potreban za probijanje površine uzorak kore avokada sušen pri 80 °C i tlaku 10 kPa (slika 13). Svježi uzorak ima najveću elastičnost, a sušenjem se elastičnost uzoraka smanjuje. Među sušenim uzorcima, najveću elastičnost ima uzorak kore avokada sušene pri 80 °C i tlaku 70 kPa, a najmanju uzorak sušen pri 80 °C i tlaku 40 kPa. Promatrajući izmjerene vrijednosti rada, može se uočiti da je kod većine sušenih uzoraka vrijednost rada manja u odnosu na svježi uzorak, a iznimka je uzorak sušen pri 40 °C i tlaku od 40 kPa kod kojeg je vrijednost izmjerenog rada najbližija svježem uzorku i uzorak sušen pri 40 °C i tlaku od 70 kPa gdje je izmjerena vrijednost rada veća u odnosu na svježi uzorak, što se može vidjeti iz teksturalnih krivulja prikazanih na slici 13. Promatrajući krivulje na slici 13, može se uočiti da je svježa kora mekana i duktilna odnosno elastična. Sušenjem kore avokada pri 40 °C i 70 kPa, došlo je do povećanja tvrdoće i rada potrebnog za probijanje površine te smanjenja elastičnosti, a uzorak je krhak i čvrst (slika 13). Kod kore sušene pri 80 °C i 10 kPa su izmjerene vrijednosti tvrdoće i rada manje u usporedbi sa svježim uzorkom, a prema krivulji se može zaključiti da je uzorak sušen pri ovim uvjetima krhak i mekan.





**Slika 13.** Teksturna krivulja svježe kore avokada sorte Hass i sušene u vakuumu pri 40 °C, 70 kPa i 80 °C, 10 kPa

Promatrajući utjecaj temperature na parametre teksture može se zaključiti da je temperatura imala najveći utjecaj na elastičnost i rad. Rad se smanjivao porastom temperature sušenja. Povećanje tlaka, pri istoj temperaturi sušenja je također utjecalo na povećanje vrijednosti izmjerenog rada (osim kod uzorka kore avokada sušene pri 60 °C). Elastičnost sušene kore avokada također je opadala porastom temperature. Najveća vrijednost tvrdoće sušene kore avokada zabilježena je pri tlaku 40 kPa pri svim temperaturama sušenja.

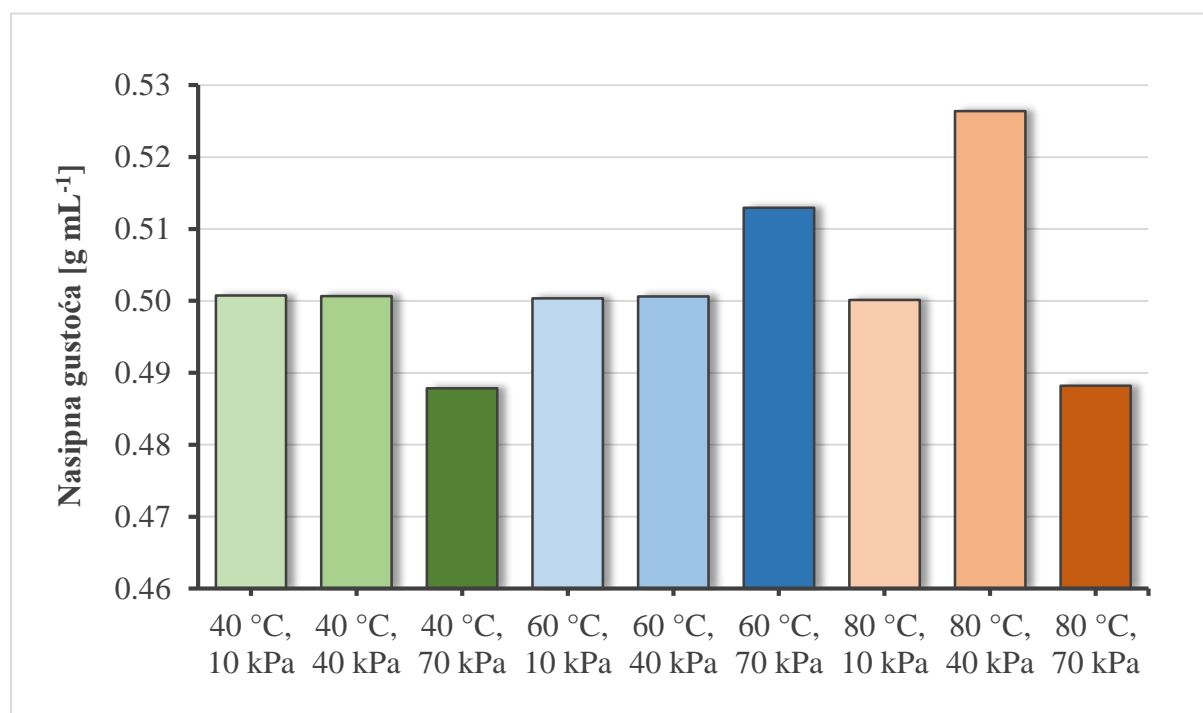
Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem koje su proveli Susilo i suradnici (2022) na kriškama limuna sušenim u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature (40, 50, 60 °C) i tlaka (51 i 92 kPa) gdje su najveće vrijednosti tvrdoće izmjerene kod kriški limuna sušenih pri 60 °C. Neki autori povezuju dulje vrijeme sušenja s većom tvrdoćom sušenih uzoraka (Sabarez i sur., 2012) što nije u skladu s ovim istraživanjem. Prema analizi varijance parametara teksture (tablica 10) može se zaključiti da ne postoji statistički značajna razlika u izmjerenim parametrima teksture osušenih uzoraka u odnosu na svježi uzorak ( $p > 0,05$ ).

**Tablica 10.** Rezultati analize varijanci vrijednosti parametara teksture svježe kore avokada i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

	<b>Tvrdoća</b>	<b>Elastičnost</b>	<b>Rad</b>
<i>F</i>	0,222275	2,76446	2,065593
<i>p - vrijednost</i>	0,649902	0,134952	0,188593
<i>F crit</i>	5,317655	5,317655	5,317655

#### 4.2.4. Rezultati određivanja nasipne gustoće

Nasipna gustoća je fizikalno svojstvo te jedan od ključnih parametara za određivanje kvalitete sušene hrane, a uvelike ovisi o korištenom tehnološkom procesu kao i samom sastavu proizvoda. Razumijevanje nasipne gustoće omogućuje preciznije planiranje pakiranja, transporta, skladištenja i miješanja dobivenog praha. Računa se kao omjer mase praha i volumena koji ta masa zauzima u menzuri. Rezultati nasipne gustoće sušene kore avokada dobivene u ovom istraživanju su prikazani na slici 14. Prema dobivenim rezultatima, vrijednosti nasipne gustoće kreću se u rasponu od 0,49 do 0,53 g mL<sup>-1</sup>, najmanju nasipnu gustoću ima uzorak sušen pri 40 °C i tlaku 70 kPa, dok je najveća vrijednost nasipne gustoće uočena kod uzorka sušenog pri 80 °C i tlaku 40 kPa. Približno iste vrijednosti su dobivene neovisno o temperaturi sušenja pri tlaku od 10 kPa i 40 kPa (osim kod uzorka sušenog na 80 °C). Odudaranja se javljaju kod uzoraka sušenih pri tlaku od 70 kPa gdje vrijednosti padaju sušenjem na 40 i 80 °C i rastu sušenjem na 60 °C. Ostali rezultati ne pokazuju bitnu razliku između procesnih parametara sušenja i izmjerene vrijednosti nasipne gustoće. Rezultati određivanja nasipne gustoće su slični rezultatima Mujaffar i Dipnarine (2020). Ovi autori su u svom istraživanju naveli da je nasipna gustoća praha pulpe avokada sušenog u pećnici na 60 °C iznosila 0,47 ± 0,018.



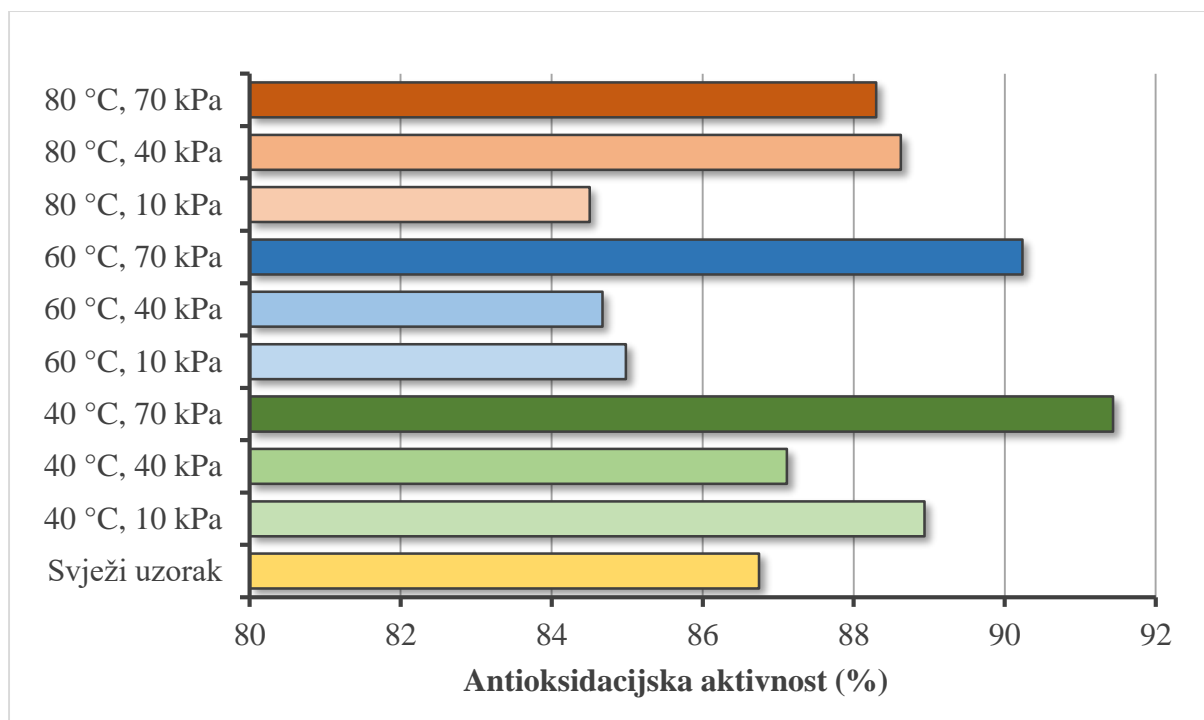
**Slika 14.** Nasipna gustoća kore avokada sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Vardin i Yasar (2012) su u svom istraživanju sušili koncentrat soka od nara raspršivanjem pri temperaturama 110, 140 i 170 °C koristeći pri tome maltodekstrin i dekstrozni ekvivalent kao sredstva za sušenje. Iako se nasipna gustoća dobivenog praha nije značajno razlikovala, primijetili su da je povećanje temperature rezultiralo smanjenjem nasipne gustoće zbog povećanja veličine čestica, što je djelomično u skladu s rezultatima dobivenim u ovom istraživanju. Manje čestice praha ispunjavaju praznine među većim česticama, a nasipna gustoća ovisi o veličini i rasponu tih čestica. Veći udio malih čestica povećava nasipnu gustoću praha, a osim toga plosnati oblici su općenito gušći od okruglih ili nepravilnih oblika čestica zbog manjeg broja praznina među česticama (Vardin i Yasar, 2012).

### **4.3. REZULTATI ANALIZE KEMIJSKIH SVOJSTAVA**

#### **4.3.1. Rezultati određivanja antioksidacijske aktivnosti**

Spojevi s antioksidacijskom aktivnošću imaju bitnu ulogu u očuvanju zdravlja zbog njihove sposobnosti neutralizacije slobodnih radikala u organizmu, čime pružaju zaštitu stanicama od oksidativnog stresa (Vranešić Bender i Krstev, 2007). Postoje različite metode za procjenu antioksidacijske aktivnosti, a za analizu antioksidacijskih svojstava svježe i sušene kore avokada u ovom istraživanju korištena je metoda koja koristi stabilan DPPH radikal. Određena je antioksidacijska aktivnost kore avokada, svježe i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka. Prema dobivenim rezultatima, prikazanim na slici 15, može se uočiti da je antioksidacijska aktivnost svježeg uzorka 86,7 %, dok je u sušenim uzorcima u rasponu od 84,5 % do 91,4 %. U odnosu na svježi uzorak kore avokada, antioksidacijska aktivnost se smanjuje nakon sušenja pri temperaturi 60 °C i tlaku 10 kPa i 40 kPa kao i pri temperaturi sušenja 80 °C i tlaku 10 kPa. Kod ostalih uvjeta sušenja primjećuje se povećanje antioksidacijske aktivnosti u odnosu na svježi uzorak. Ovi rezultati su djelomično u skladu s rezultatima Babiker i suradnika (2021). Oni su istraživali utjecaj različitih metoda sušenja na bioaktivna svojstva različitih dijelova avokada te zaključili da su svi procesi sušenja uzrokovali povećanje antioksidacijske aktivnosti. Tijekom sušenja, pri tlaku 10 kPa i 70 kPa, povećanjem temperature je došlo do smanjenja antioksidacijske aktivnosti kore avokada dok je pri vakuumskom tlaku od 40 kPa najveću antioksidacijsku aktivnost imao uzorak sušen na 80 °C.



**Slika 15.** Antioksidacijska aktivnost (%) svježe kore avokada i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Ako se promatra utjecaj tlaka na antioksidacijsku aktivnost sušene kore avokada, može se primijetiti da je ona najveća kod kore avokada sušene pri tlaku od 70 kPa za koru sušenu pri 40 i 60 °C te pri tlaku 40 kPa za koru sušenu pri 80 °C. Ovi rezultati nisu u skladu s rezultatima Xu i suradnika (2022) koji su istraživali utjecaj vakuum sušenja pri različitim temperaturama (80, 90, 100, 110, 120 °C) i tlakovima (10, 15, 20, 25, 30 kPa) na ekstrakte japanskog bršljana (*Lonicera japonica* Thunb.) te utvrdili da je antioksidacijska aktivnost najviša nakon sušenja pri najnižem tlaku od 10 kPa i temperaturi 120 °C.

Najmanja antioksidacijska aktivnost utvrđena je kod kore avokada sušene pri 80 °C i tlaku 10 kPa, što također nije u skladu s istraživanjem Xu i suradnika (2022) u čijem istraživanju je najmanja antioksidacijska aktivnost uočena kod ekstrakta sušenog pri 110 °C i tlaku 20 kPa. Dobiveni rezultati pokazuju najveću antioksidacijsku aktivnost kod kore avokada sušene pri temperaturi 40 °C i tlaku 70 kPa, što je u skladu s istraživanjem Vega-Gálvez i suradnika (2021) koji su sušili papaju u vakuum sušari pri tlaku 15 kPa i različitim temperaturama (40, 50, 60, 70 i 80 °C). Utvrdili su slične vrijednosti antioksidacijske aktivnosti u svim sušenim uzorcima pri čemu je najbolja bila pri 40 °C te zaključili da se porastom vremena sušenja antioksidacijska aktivnost povećavala što je dobiveno i u ovom istraživanju budući da je

sušenje kore avokada najdulje trajalo pri najnižoj temperaturi (40 °C), a ti uzorci kore avokada pokazuju najveću antioksidacijsku aktivnost. Saavedra i suradnici (2017) su proučavali mogućnost očuvanja funkcionalnih spojeva industrijskog otpada avokada procesom konvekcijskog sušenja te dobili slične rezultate. Utvrdili su da se povećanjem temperature sušenja smanjila vrijednost antioksidacijskog kapaciteta u kori avokada.

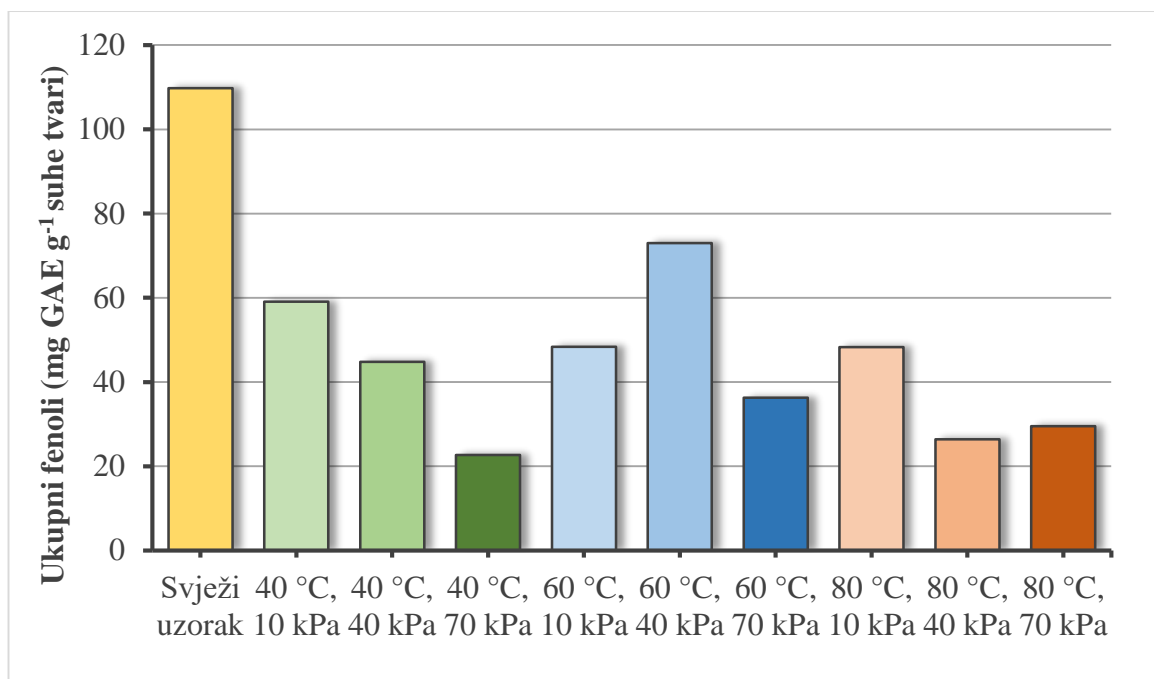
Prema analizi varijanci antioksidacijske aktivnosti svježe i sušene kore (tablica 11) može se zaključiti da ne postoji statistički značajna razlika ( $p > 0,05$ ) u izmjerenoj antioksidacijskoj aktivnosti sušenih uzoraka u odnosu na svježi uzorak.

**Tablica 11.** Rezultati analize varijanci antioksidacijske aktivnosti svježe kore avokada i sušene u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

	<b>Antioksidacijska aktivnost</b>
<i>F</i>	0,116161
<i>p - vrijednost</i>	0,742014
<i>F crit</i>	5,317655

#### 4.3.2. Rezultati određivanja ukupnih fenola

Kora avokada dobar je izvor polifenola koji uz vitamine i enzime pružaju zaštitu od oksidativnog stresa uzrokovanog viškom reaktivnih kisikovih, ali i drugih reaktivnih spojeva koji mogu uzrokovati niz oksidacijskih promjena na različitim molekulama u organizmu što za posljedicu ima razvoj različitih bolesti (Nyakang'i i sur., 2023). U ovom radu, ukupni fenoli određeni su spektrofotometrijski pomoću Fiolin-Ciocalteu reagensa, a rezultati (slika 16) su izraženi su kao mg galne kiseline po g suhe tvari (mg GAE g<sup>-1</sup> s.t.). Prema prikazanim rezultatima, primjećuje se smanjenje udjela ukupnih fenola u kori avokada pri svim uvjetima sušenja u odnosu na udio ukupnih fenola u svježoj kori avokada. U sušenoj kori avokada, najviši udio ukupnih fenola određen je u kori avokada sušenoj pri 60 °C i tlaku 40 kPa, a najniži u kori sušenoj pri 40 °C i tlaku 70 kPa. Snižavanjem tlaka pri temperaturama sušenja 40 i 80 °C povećava se koncentracija ukupnih fenola u sušenoj kori avokada, dok je pri 60 °C najveća koncentracija fenola bila pri tlaku 40 kPa.



**Slika 16.** Udio ukupnih fenolnih spojeva (mg GAE g<sup>-1</sup> s.t.) u svježoj kori avokada i sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Ovi rezultati se djelomično slažu s rezultatima istraživanja Figueroa i suradnika (2018), koji su koristili konvencionalnu metodu za sušenje kore avokada u pećnici pri temperaturama od 45 do 85 °C. Prema ovim autorima preporučuje se sušenje provesti na temperaturi od oko 60 °C kako bi se izbjeglo smanjenje ukupnog sadržaja fenola tijekom sušenja. Iako su u svom istraživanju utvrdili da je najviši ukupni sadržaj fenola u kori avokada postignut konvencionalnim sušenjem u pećnici na 85 °C, ističu da je optimalna temperatura sušenja unutar raspona od 45 do 75 °C bila 55 °C.

Dobiveni rezultati sadržaja ukupnih fenola u sušenoj kori avokada u vakuum sušari u ovom istraživanju podudaraju se i s rezultatima istraživanja Mella i suradnika (2022) koji su pomoću vakuum sušare sušili ciklu pri 15 kPa i rasponu temperatura od 40 do 80 °C. Najviši sadržaj ukupnih fenola nakon vakuum sušenja autori su uočili u uzorcima sušenim pri temperaturama od 50 do 70 °C, niži sadržaj u uzorcima sušenim pri 40 °C, te najniži na 80 °C. Krumreich i suradnici (2018) proučavali su učinak sušenja u pećnici s ventilacijom (40 °C i 60 °C) i vakuumskoj sušari (60 °C) na kvalitetu ekstrahiranog ulja iz pulpe avokada. Primijetili su da je sušenje pulpe na 60 °C rezultiralo visokim udjelom bioaktivnih spojeva i antioksidacijskom aktivnošću ulja dobivenog iz tako sušene pulpe.

Gubici ukupnih fenola mogu biti iz različitih razloga. Temperatura sušenja utječe na sadržaj fenola u uzorku jer se enzim *polifenol oksidaza* (PPO) pri određenim temperaturama inaktivira

što omogućuje njihovo očuvanje. PPO je odgovorna za selektivnu oksidaciju polifenola, a može ostati stabilna i vrlo aktivna na 40 °C, što dovodi do smanjenja ukupnih fenola pri toj temperaturi. Međutim, ako se temperatura pri kojoj je PPO inaktivirana premaši, može doći do denaturacije termosenzitivnih fenolnih spojeva (Nyakang'i i sur., 2023; Mella i sur., 2022), što može biti razlog nešto nižem udjelu fenolnih spojeva kod sušene kore avokada pri 80 °C.

U tablici 12 su prikazani rezultati provedene analize varijanci udjela ukupnih fenolnih spojeva u svježoj i kori avokada sušenoj u vakuum sušari. Prema provedenoj analizi može se zaključiti da postoji statistički značajna razlika ( $p \leq 0,05$ ) u udjelu ukupnih fenola u sušenoj kori avokada u odnosu na svježju.

**Tablica 12.** Rezultati analize varijanci ukupnih fenola u svježoj kori avokada i sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

	<b>Udio ukupnih fenola</b>
<i>F</i>	24,73033
<i>p - vrijednost</i>	0,001089
<i>F crit</i>	5,317655

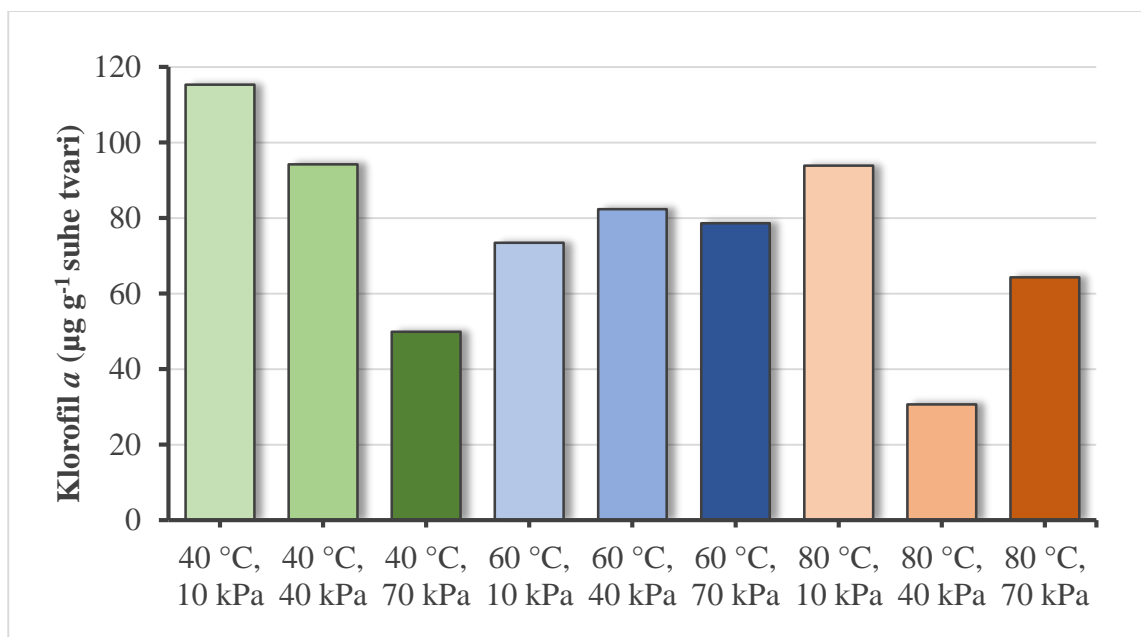
#### 4.3.3. Rezultati određivanja pigmenata

Avokado je poznat po tome što sadrži značajne količine pigmenata koji, osim nutritivnih prednosti, čine avokado privlačnijim za konzumaciju. Stoga je očuvanje klorofila i karotenoida u kori avokada od vitalne važnosti za održavanje kvalitete proizvoda. Rezultati spektrofotometrijskog određivanja klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnih klorofila i karotenoida u svježoj kori (tablica 13) i sušenoj kori avokada (slike 17-20) izraženi su kao mikrogrami pigmenta u gramu suhe tvari ( $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t.).

**Tablica 13.** Sadržaj pojedinih pigmenata ( $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t.) u svježoj kori avokada

<b>Pigment</b>	<b>Klorofil a</b>	<b>Klorofil b</b>	<b>Klorofil a + b</b>	<b>Karotenoidi</b>
<i>w (pigment) (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> s.t.)</i>	610	250	880	270

U kori avokada sušenoj u vakuum sušari pri odabranim temperaturama i tlakovima utvrđena je količina klorofila *a* u rasponu od 30,68 do 115,30  $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t. (slika 17). Vakuum sušenje je uzrokovalo gubitak klorofila *a* u sušenoj kori u rasponu od 81,1 % do 95 % u odnosu na svježji uzorak.

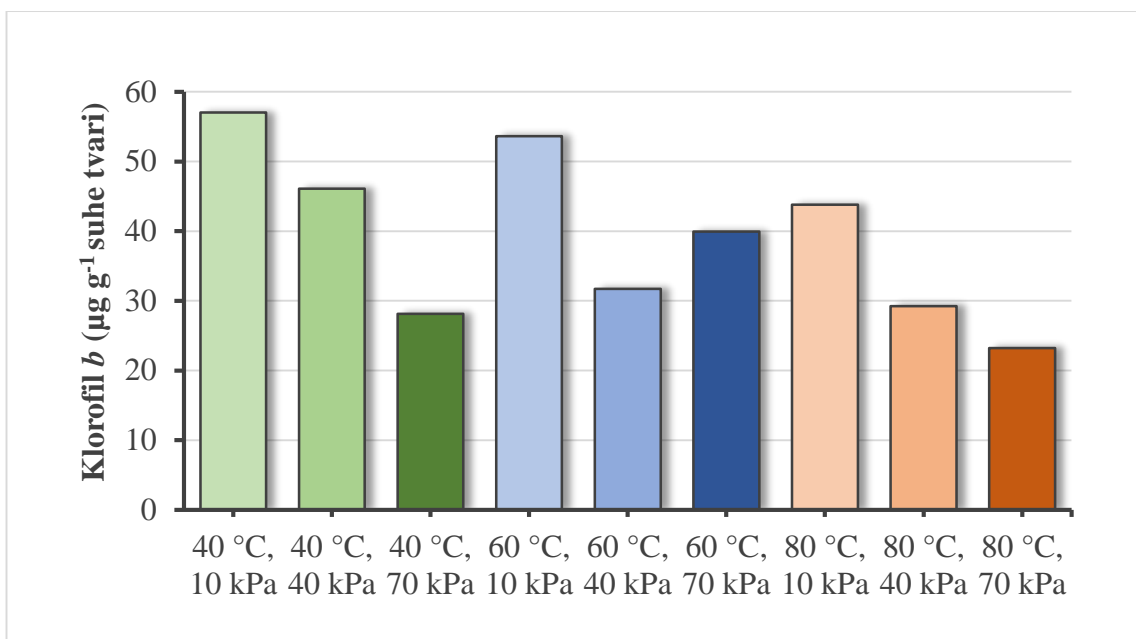


**Slika 17.** Sadržaj klorofila *a* ( $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t.) u kori avokada sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Najveća vrijednost klorofila *a* određena je u kori avokada sušenoj pri 40 °C i tlaku 10 kPa, a najmanja vrijednost kod uzorka sušenog pri 80 °C i tlaku 40 kPa. Promatrajući utjecaj temperature na sadržaj klorofila *a* u sušenoj kori avokada, može se uočiti da se pri tlakovima 10 i 40 kPa snižavanjem temperature sušenja povećava vrijednost klorofila *a* u sušenoj kori izuzev uzorka sušenog pri 60 °C i 40 kPa. Nasuprot tome, sušenjem pri 70 kPa najmanja količina klorofila *a* određena je u uzorku sušenom pri najnižoj temperaturi (40 °C). Sušenjem na temperaturi od 60 °C promjena tlaka nije imala znatan utjecaj na vrijednost klorofila *a*, dok je u uzorcima sušenim pri 40 i 80 °C sniženje tlaka povoljno utjecalo na udio klorofila *a*, izuzev uzorka sušenog pri 80 °C i tlaku 40 kPa.

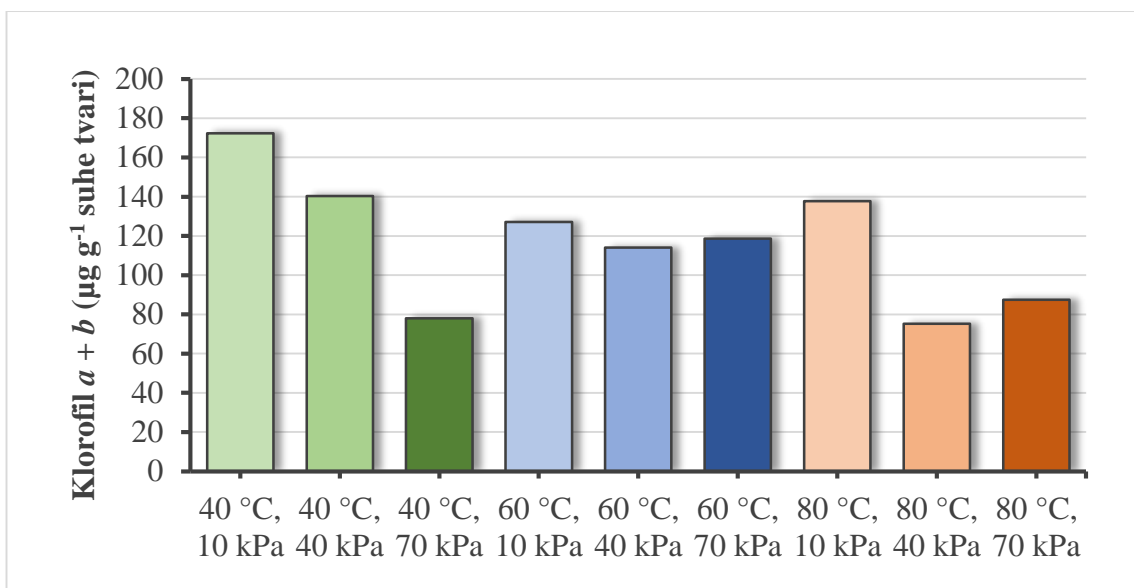
Klorofil *b* je u sušenoj kori avokada određen u rasponu od 23,22 do 57,01  $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t. (slika 18). Uspoređujući s količinom u svježem uzorku, sušenjem u vakuumu je došlo do gubitka količine klorofila *b* u rasponu od 77,2 do 90,7 %. Najmanje klorofila *b* određeno je u kori avokada sušenoj pri 80 °C i tlaku 70 kPa, a najviše u kori sušenoj pri 40 °C i tlaku 10 kPa. Prema dobivenim rezultatima može se uočiti da niža temperatura i niži tlak imaju povoljan utjecaj na očuvanje klorofila *b* u sušenoj kori avokada. Povećanje temperature i tlaka sušenja obično rezultira smanjenjem količine klorofila *b* u uzorku, osim kod uzorka sušenog pri tlaku od 70 kPa gdje je najviše klorofila *b* određeno u uzorku sušenom pri 60 °C.





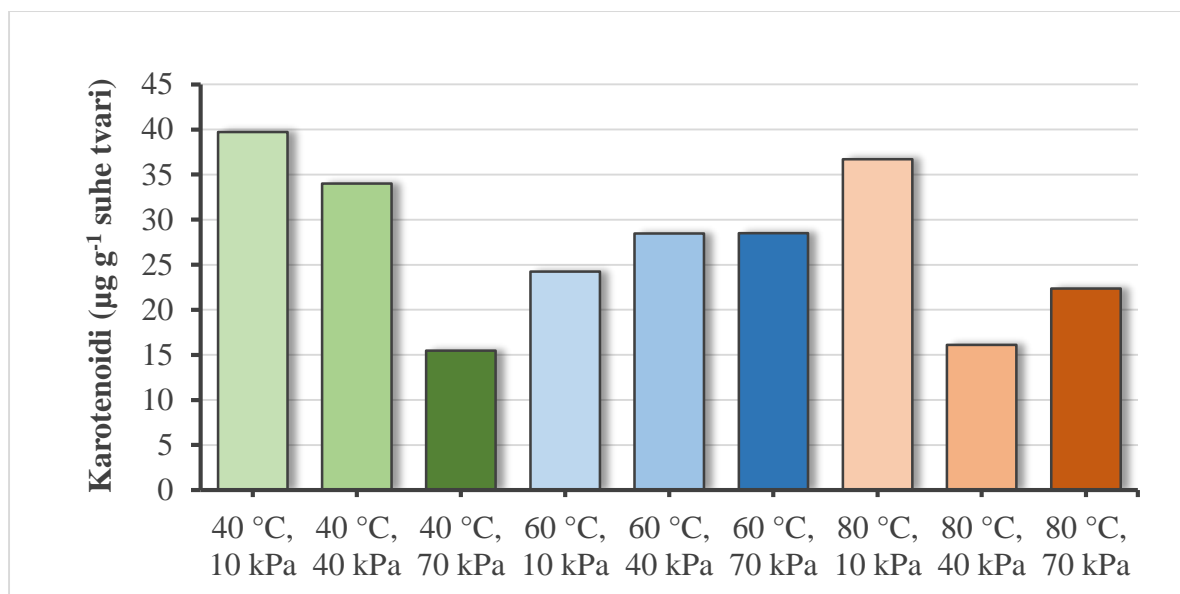
**Slika 18.** Sadržaj klorofila *b* ( $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t.) u kori avokada sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Na slici 19 prikazana je količina ukupnog klorofila u sušenim uzorcima kore avokada. Vrijednosti se nalaze u rasponu od 75,24 do 172,31  $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t. Vakuuum sušenje je uzrokovalo gubitak ukupnog klorofila u rasponu od 80,4 do 91,5 % u usporedbi s vrijednostima izmjerenim u svježoj kori avokada. Najveća vrijednost ukupnih klorofila određena je u kori avokada sušenoj pri 40 °C i tlaku 10 kPa, a najmanja vrijednost kod uzorka sušenog pri 80 °C i tlaku 40 kPa. Povećanje temperature tijekom sušenja pod tlakom od 40 kPa rezultiralo je smanjenjem količine ukupnog klorofila u sušenoj kori. Za razliku od toga, temperatura je pokazala različit utjecaj na količinu ukupnog klorofila pri tlakovima od 10 i 70 kPa. Na primjer, sušenje pri 10 kPa rezultiralo je najvećim sadržajem klorofila kod kore sušene pri 40 °C, dok je najmanji sadržaj zabilježen pri 80 °C. S druge strane, pri sušenju pod tlakom od 70 kPa, najveća količina ukupnih klorofila detektirana je kod uzorka sušenog pri 60 °C, dok je najmanja količina zabilježena kod kore sušene pri 40 °C. Koncentracija ukupnog klorofila negativno korelira i s parametrom boje  $a^*$  sušene kore avokada koji označava udio crvene odnosno zelene boje. Niže vrijednosti parametra boje  $a^*$  ukazuju na veći udio klorofila u uzorku, a one su izmjerene u uzorcima kore avokada sušenim pri najnižem tlaku (10 kPa) kod svih temperatura. U istim uzorcima utvrđena je i najveća koncentracija ukupnog klorofila (uzorci kore avokada sušeni pri 10 kPa i temperaturama 40, 60 i 80 °C).



**Slika 19.** Sadržaj ukupnog klorofila (a+b) ( $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t.) u kori avokada sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Osnovna struktura klorofila je tetrapirolski porfirinski prsten koji sadrži atom magnezija u središtu. Klorofili *a* i *b* se razlikuju po svojoj strukturi u tome što klorofil *a* na drugom pirolskom prstenu sadrži metilnu skupinu, dok klorofil *b* na istom mjestu sadrži aldehidnu skupinu (Sharma i sur., 2021). Promatrajući stabilnost klorofila *a* i klorofila *b*, prema dobivenim rezultatima može se uočiti da je klorofil *a* manje stabilan na visokim temperaturama te brže degradira. Daood (2003) u svom radu navodi da se veća toplinska stabilnost klorofila *b* pripisuje njegovoj strukturi, odnosno, elektronskom povlačenju njegove aldehidne skupine. Također objašnjava da na brzinu degradacije klorofila utječe niz faktora, uključujući temperaturu i trajanje sušenja. To je u skladu s rezultatima ovog istraživanja; najduži period sušenja zabilježen je kod kore avokada sušene pri 40 °C i 70 kPa u kojoj je došlo do velikog smanjenja ukupnog klorofila. Uzorci sušeni pri navedenim uvjetima pokazuju smanjenje količine klorofila *a* i *b* za 91,8 i 88,7 %, dok je količina ukupnog klorofila manja za 91,1 % u usporedbi sa svježom korom. Ebrahimi i suradnici (2023) navode da klorofil pri temperaturama višim od 60 °C konvertira u feofitin, što rezultira smanjenjem ukupne količine klorofila u uzorku. Konverzija klorofila u feofitin nastaje zamjenom Mg uslijed djelovanja kiselina i/ili topline ili djelovanja *Mg-kelataze*. Enzim *klorofilaza* također katalizira pretvorbu klorofila u njegov degradacijski produkt, a njena aktivnost ovisi o temperaturi, postižući maksimum pri 23 °C. Primijećeno je i da toplinski tretman na 50 °C potiče aktivnost *klorofilaze*, a ona značajno opada kada temperatura pređe 80 °C (Östbring i sur., 2020).



**Slika 20.** Sadržaj ukupnih karotenoida ( $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t.) kori avokada sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

Slika 20 prikazuje ukupni sadržaj karotenoida u sušenoj kori avokada, a nalazi se u rasponu od 15,48 do 39,73  $\mu\text{g g}^{-1}$  s.t. Vakuum sušenje kore uzrokovalo je gubitak karotenoida od 85,3 % do 94,3 % u odnosu na količinu izmjerenu u svježoj kori avokada. Može se uočiti da je najveća količina karotenoida prisutna u kori avokada sušenoj pri 40 °C i tlaku 10 kPa, dok je najmanja količina karotenoida prisutna u kori sušenoj pri 40 °C i tlaku 70 kPa. Snižavanjem temperature sušenja povećavala se količina karotenoida u uzorku sušenom pri 40 kPa, dok je kod uzorka sušenog pri 70 kPa najviše karotenoida uočeno kod kore sušene pri temperaturi od 60 °C. Snižavanjem tlaka vakuuma pri 40 °C povećava se količina karotenoida. Pri temperaturi 80 °C najveća količina karotenoida je također uočena kod uzorka sušenog pri 10 kPa, dok je najmanja količina uočena sušenjem pri 40 kPa. Snižavanje tlaka sušenjem pri 60 °C uzrokovalo je smanjenje količine karotenoida u sušenoj kori.

Slične rezultate su dobili i Chuyen i suradnici (2016) koji su sušili koru gac voća (goraka dinja) različitim metodama sušenja među kojima i u vakuumu pri temperaturama 50, 60, 70 i 80 °C i tlaku  $20 \pm 2$  kPa. Utvrdili su gubitak karotenoida od 56 do 58 % u odnosu na svježju koru, koji se povećavao porastom temperature sušenja. Najveći sadržaj karotenoida uočili su u kori sušenoj pri najnižoj temperaturi (50 °C), što je u skladu s rezultatima dobivenim u ovom istraživanju. Prema ovim autorima produženo vrijeme sušenja uzrokovalo je veće gubitke ukupnih karotenoida zbog dulje izloženosti visokim temperaturama. Navode da osim vanjskih

faktora poput topline, svjetlosti i kisika, degradaciji karotenoida mogu značajno doprinijeti i enzimi čija je aktivnost najveća na temperaturama od 30 do 45 °C.

Prema rezultatima provedene analize varijance vrijednosti količine određenih pigmenata (tablica 14), može se zaključiti da postoji statistički značajna razlika ( $p \leq 0,05$ ) u izmjerenim količinama pigmenata kod sušenih uzoraka u odnosu na svježi uzorak.

**Tablica 14.** Rezultati analize varijanci vrijednosti količine pigmenata određenih u svježoj kori avokada i sušenoj u vakuum sušari pri različitim uvjetima temperature i tlaka

	<b>Klorofil a</b>	<b>Klorofil b</b>	<b>Klorofil a + b</b>	<b>Karotenoidi</b>
<i>F</i>	400,7387	283.4996	506,5925	719,4667
<i>p - vrijednost</i>	$4,04 \times 10^{-8}$	$1,57 \times 10^{-7}$	$1,61 \times 10^{-8}$	$4,02 \times 10^{-9}$
<i>F crit</i>	5,317655	5,317655	5,317655	5,317655

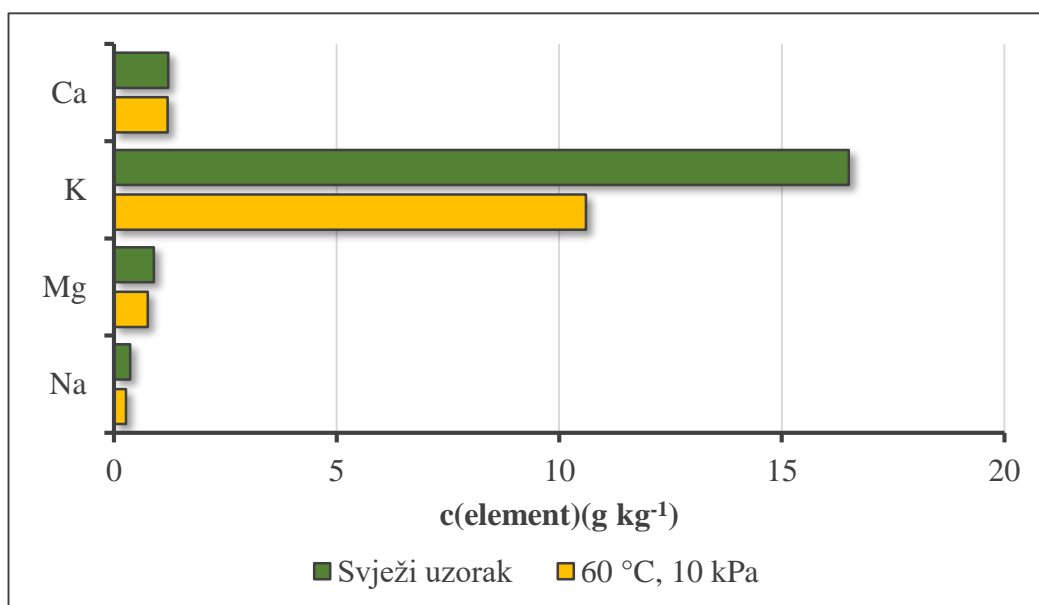
#### 4.3.4. Rezultati određivanja mineralnih elemenata

Mineralni elementi imaju ključnu ulogu u održavanju zdravlja ljudskog organizma, obavljajući različite fiziološke funkcije poput izgradnje kostiju, regulacije srčanog ritma, prijenosa živčanih impulsa, održavanja ravnoteže tekućina i aktivacije enzima. Nedostatak ili neuravnoteženost mineralnih elemenata u prehrani može rezultirati različitim metaboličkim poremećajima, a potrebe organizma za mineralnim elementima ovise o dobi, spolu, fiziološkom i zdravstvenom stanju pojedinca. Prema količinama potrebnim u organizmu, mineralne elemente dijelimo na makroelemente, koji su obično potrebni u količinama većim od 100 mg, elemente u tragovima, potrebne u količinama između 1 i 100 mg dnevno, te elemente u ultratragovima, koji su potrebni u količinama manjim od 0,001 mg dnevno (Mehri, 2020). Nedostatak mineralnih elemenata negativno utječe na milijarde ljudi širom svijeta, a najvažnije kliničke deficijencije, prema broju slučajeva, obuhvaćaju manjak željeza, cinka i joda. Iako su uzroci nedostatka mineralnih elemenata kompleksni, smatra se da je glavni uzrok upravo njihov nedovoljan unos putem prehrane (Shankar, 2020). U svrhu utvrđivanja količine i utjecaja vakuum sušenja na mineralne elemente u kori avokada, provedena je multielementna analiza na ICP-QQQ na svježoj kori te kori avokada sušenoj pri 60 °C i tlaku 10 kPa. Analiza varijanci mineralnog sastava svježe i sušene kore avokada prikazana u tablici 15, ukazuje da nije došlo do statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u mineralnom sastavu između svježe i kore avokada sušene pri 60 °C i tlaku 10 kPa.

**Tablica 15.** Rezultati analize varijanci mineralnog sastava svježe kore avokada i sušene u vakuum sušari pri 60 °C i tlaku 10 kPa

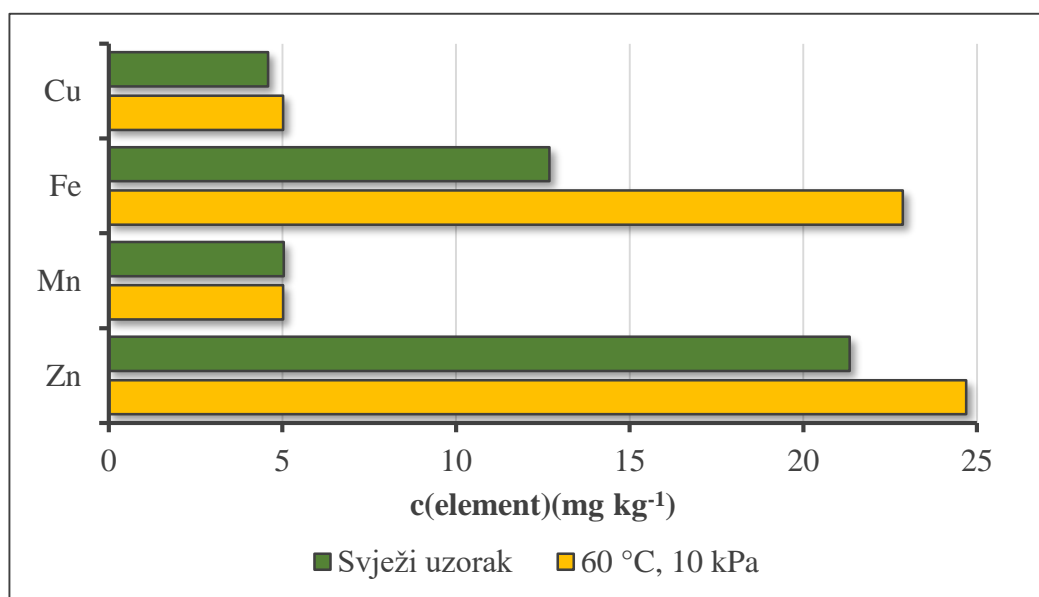
	Mineralni sastav
<i>F</i>	0,097482
<i>p</i> - vrijednost	0,756171
<i>F</i> crit	4,03431

Rezultati analize mineralnog sastava kore avokada (slike 21-23, tablica 16) pokazuju da su u oba uzorka najviše zastupljeni makroelementi, Ca, K, Mg i Na u koncentracijama 1,22 g kg<sup>-1</sup>, 16,5 g kg<sup>-1</sup>, 0,89 g kg<sup>-1</sup>, 0,36 g kg<sup>-1</sup> u svježem uzorku i 1,20 g kg<sup>-1</sup>, 10,6 g kg<sup>-1</sup>, 0,76 g kg<sup>-1</sup>, 0,27 g kg<sup>-1</sup> u sušenoj kori avokada. Analiza je pokazala da je vakuum sušenje (pri 60 °C i tlaku 10 kPa) smanjilo koncentraciju makroelemenata u sušenoj kori avokada u odnosu na svježi uzorak. Postotak smanjenja kreće se u rasponu od 1,6 % do 35,8 %, pri čemu je najveći za K, neznatan za Ca, dok za Mg iznosi 14,6 %, a za Na 25 %. Ovi rezultati se razlikuju od rezultata Panceri i suradnika (2013) koji su proučavali utjecaj procesa sušenja na mineralni sadržaj grožđa te uočili povećanje količine Ca, Mg i Na nakon sušenja pri 7 °C.



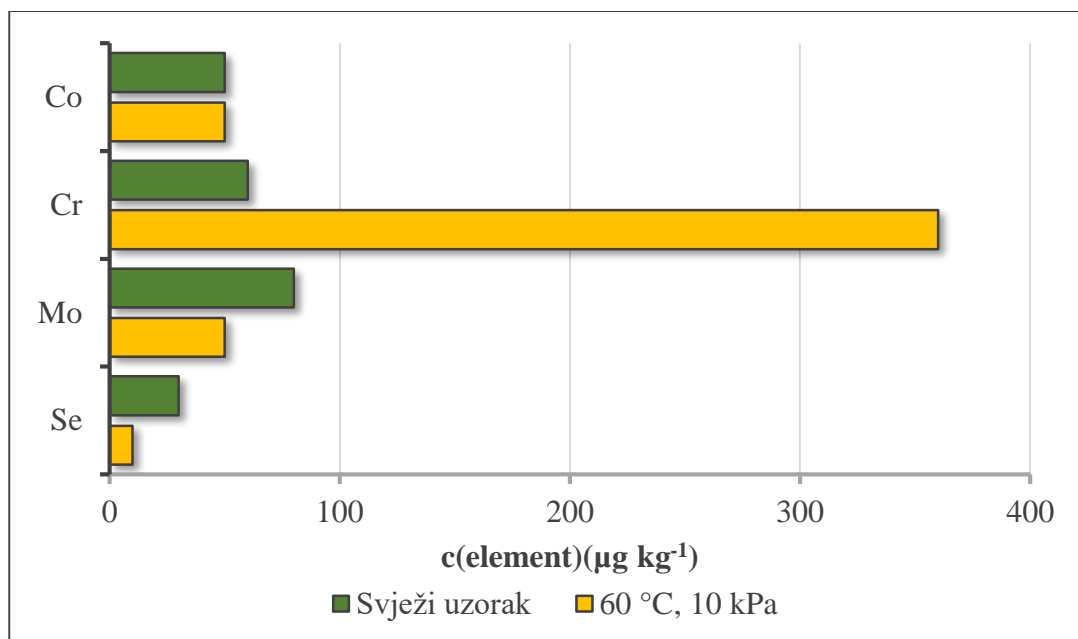
**Slika 21.** Koncentracija makroelemenata (g kg<sup>-1</sup>) u svježoj kori avokada i sušenoj u vakuum sušari pri temperaturi 60 °C i tlaku 10 kPa

Elementi u tragovima imaju važnu ulogu u očuvanju zdravlja ljudi, jer djeluju kao kofaktori i koenzimi u metabolizmu te sudjeluju u kontrolnim funkcijama kao što je regulacija ekspresije gena. Također, pružaju podršku antioksidativnoj obrani i imunološkom sustavu organizma (Vranešić Bender i Krstev, 2007). Budući da su neophodni u mnogim biološkim procesima, nedostatak ovih elemenata može imati ozbiljne posljedice na zdravlje. Zbog toga su mnogi prehrambeni proizvodi danas obogaćeni esencijalnim elementima poput bakra, joda, željeza i cinka kako bi se nadoknadio njihov nedostatak u prehrani (Mehri, 2020).



**Slika 22.** Koncentracija elemenata u tragovima (mg kg<sup>-1</sup>) u svježoj kori avokada i sušenoj u vakuum sušari pri temperaturi 60 °C i tlaku 10 kPa

Prema rezultatima provedenog istraživanja može se uočiti da se koncentracija elemenata u tragovima u svježoj kori avokada kreće od 4,59 do 21,3 mg kg<sup>-1</sup>, dok se u sušenoj kori kreće od 5,02 do 24,7 mg kg<sup>-1</sup> (slika 22). Sušenje u vakuumu uzrokovalo je porast koncentracije svih elemenata u tragovima osim Mn. Najveći porast koncentracije nakon sušenja uočen je kod Fe, te je iznosio 80,2 %, dok je koncentracija Zn porasla za 16 %, a Cu za 9,4 % u odnosu na svježju koru.



**Slika 23.** Koncentracija elemenata u ultratragovima ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) u svježoj i kori avokada sušenoj u vakuum sušari pri temperaturi  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlaku  $10\text{ kPa}$

Promatrajući sliku 23 može se uočiti da se raspon koncentracija elemenata u ultratragovima u svježoj kori avokada kreće od  $30$  do  $80\text{ }\mu\text{g kg}^{-1}$ , a u sušenoj kori od  $10$  do  $360\text{ }\mu\text{g kg}^{-1}$ . Sušenje u vakuumu uzrokovalo je značajno povećanje koncentracije Cr u kori avokada. Koncentracija se povećala sa  $60\text{ }\mu\text{g kg}^{-1}$  u svježoj kori na  $360\text{ }\mu\text{g kg}^{-1}$  u sušenoj kori avokada, što je šest puta veće u usporedbi s koncentracijom u svježoj kori. Nasuprot tome, sušenjem se koncentracija Mo smanjila za  $37,5\%$ , a Se za  $66,7\%$  u odnosu na svježu koru avokada, dok je koncentracija Co ista u oba analizirana uzorka.

Sušenje u vakuumu rezultiralo je povećanjem koncentracije ostalih elemenata detektiranih ICP-QQQ metodom (tablica 16), osim za Ba, Cd i Rb čiji se udio smanjio od  $1,6\%$  do  $62,8\%$  u odnosu na svježu koru avokada. U svježoj kori nalazi se  $0,11\text{ mg kg}^{-1}$  Pb i  $0,08\text{ mg kg}^{-1}$  Cd, dok se u sušenoj kori koncentracija Pb povećala na  $0,39\text{ mg kg}^{-1}$ , a Cd smanjila na  $0,03\text{ mg kg}^{-1}$ . Razine ovih toksičnih elemenata premašuju najveće dopuštene količine Pb i Cd u voću propisane Uredbom broj 1881/2006 (EU Komisija, 2006) koje iznose  $0,10\text{ mg kg}^{-1}$  Pb i  $0,05\text{ mg kg}^{-1}$  Cd. Koncentracija Al se sušenjem povećala s  $12,5\text{ mg kg}^{-1}$  na  $23,2\text{ mg kg}^{-1}$ , što je povećanje od  $85,9\%$ . Prema EFSI preporučeni podnošljivi tjedni unos (eng. Tolerable Weekly Intake, TWI) je  $1\text{ mg Al kg}^{-1}$  tjelesne mase (EFSA, 2008). Ovi rezultati su u skladu s navedenim istraživanjem Panceri i suradnika (2013) koji su utvrdili da je procesom sušenja grožđa pri  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  došlo do povećanja Al, Ni, Pb i Sr u sušenom grožđu.

**Tablica 16.** Koncentracija ostalih elemenata u svježoj kori avokada i sušenoj u vakuum sušari pri 60 °C i tlaku 10 kPa.

<i>Element</i>	<b>c (element) (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	
	<b>Svježi uzorak</b>	<b>60 °C, 10 kPa</b>
<i>Al</i>	12,5	23,2
<i>As</i>	0,14	0,16
<i>Ba</i>	1,20	0,45
<i>Be</i>	<LOD	<LOD
<i>Bi</i>	<LOD	<LOD
<i>Cd</i>	0,08	0,03
<i>Li</i>	0,57	1,94
<i>Ni</i>	0,18	1,86
<i>Pb</i>	0,11	0,39
<i>Rb</i>	3,98	3,91
<i>Sb</i>	0,003	0,01
<i>Sn</i>	0,05	0,07
<i>Sr</i>	3,33	3,47
<i>Ti</i>	0,68	1,70
<i>Tl</i>	<LOD	<LOD
<i>U</i>	0,003	0,004
<i>V</i>	0,03	0,04



## 5. ZAKLJUČCI

- 1) Viša temperatura i niži tlak pri sušenju rezultiraju kraćim vremenom sušenja kore avokada. Skraćenje vremena sušenja snižavanjem tlaka izraženije je pri nižim temperaturama sušenja.
- 2) Primjenom nižeg tlaka pri sušenju (10 kPa) veći je udio zelene boje i svjetline, dok je pri višem tlaku (70 kPa) veći udio crvene boje i sušena kora avokada je tamnija.
- 3) Viša temperatura rezultirala je većim udjelom svjetline u sušenoj kori avokada.
- 4) Najveća ukupna promjena boje ( $\Delta E^*$ ) je kod sušene kore avokada pri temperaturi 80 °C i tlaku 40 kPa.
- 5) Više temperature sušenja smanjile su elastičnost uzoraka, dok tlak nije imao utjecaja na elastičnost. Najveća tvrdoća sušene kore avokada je zabilježena pri tlaku sušenja 40 kPa kod svih primijenjenih temperatura sušenja. Rad potreban za probijanje površine uzorka veći je kod niže temperature sušenja.
- 6) Najveću nasipnu gustoću ima uzorak kore avokada sušen pri temperaturi 80 °C i tlaku 40 kPa.
- 7) Sušenje ima značajan utjecaj na sadržaj ukupnih fenola u kori avokada. Udio fenolnih spojeva u sušenoj kori avokada smanjio se od 29,10 % do 79,38 % u odnosu na svježu koru.
- 8) Najbolje zadržavanje fenolnih spojeva u kori avokada je pri temperaturi sušenja 60 °C i tlaku 40 kPa.
- 9) Najveću antioksidacijsku aktivnost ima kora avokada sušena pri temperaturi 40 °C i tlaku 70 kPa.
- 10) Vakuum sušenje uzrokuje značajno smanjenje klorofila *a*, klorofila *b*, ukupnih klorofila i karotenoida u kori avokada.
- 11) Klorofil *a*, klorofil *b*, ukupni klorofili i karotenoidi u kori avokada najbolje su očuvani sušenjem pri sniženom tlaku (10 kPa) i temperaturi (40 °C).
- 12) Sušena kora avokada sadrži značajne količine makroelemenata (Ca, K, Mg i Na) i mikroelemenata (Cu, Fe, Mn, Zn) te se može smatrati potencijalnim izvorom tih spojeva.
- 13) Vakuum sušenje kore avokada dovodi do povećanja koncentracije određenih elemenata (Al, Cr, Cu, Fe, Li, Ni, Pb, Ti, Zn) što treba uzeti u obzir prilikom daljnjeg korištenja kore avokada. Osobito se ističe činjenica da razina olova (Pb) u sušenoj kori avokada iznosi 0,39 mg kg<sup>-1</sup>, što premašuje najveću dopuštenu količinu za voće.

## 6. LITERATURA

Akan S (2021) Phytochemicals in avocado peel and their potential uses. *Food and Health* **7**, 138-149. <https://doi.org/10.3153/FH21015>

Araújo RG, Rodriguez-Jasso RM, Ruiz HA, Govea-Salas M, Pintado MME, Aguilar CN (2021) Recovery of bioactive components from avocado peels using microwave-assisted extraction. *Food Bioprod Process* **127**, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.015>

Araújo RG, Rodriguez-Jasso RM, Ruiz HA, Pintado MME, Aguilar CN (2018) Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends Food Sci* **80**, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>

Arevalo-Pinedo i Murr F (2007) Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *J Food Eng* **80**, 152-156. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.005>

Babiker EE, Ahmed IAM, Uslu N, Özcan MM, Juhaimi FA, Ghafoor K, Almusallam IA (2021) Influence of Drying Methods on Bioactive Properties, Fatty Acids and Phenolic Compounds of Different Parts of Ripe and Unripe Avocado Fruits. *J Oleo Sci* **70**, 589-598. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20343>

Belasco R, Edwards AT, Munoz AJ, Rayo V, Buono MJ (2020) The Effect of Hydration on Urine Color Objectively Evaluated in CIE L\*a\*b\* Color Space. *Front Nutr* **7**, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.576974>

Beristain CI, Garcia HS, Vernon-Carter EJ (2001) Spray – dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with Mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. *LWT* **34**: 398-401. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0779>

Brnčić M, Karlović, S, Rimac Brnčić S, Bosiljkov T, Ježek D, Tripalo B (2010) Textural properties of infra red dried apple slices as affected by high power ultrasound pretreatment. *Afr J Biotechnol* **9**, 6907-6915. doi: 10.5897/AJB10.515

Brnčić M, Šic Žlabur J (2019) Impact of Ultrasound on Food Constituents. U: Roohinejad S, Koubaa M, Greiner R, Mallikajrjubab K (ured.) Effect of Emerging Processing Methods on

the Food Quality. Springer: Cham, Switzerland, str. 69-94. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18191-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18191-8_3)

Calderón-Oliver M i López-Hernández LH (2022) Food Vegetable and Fruit Waste Used in Meat Products. *Food Rev Int* **38**, 628-654. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1740732>

Chuyen HV, Roach PD, Golding J, Parks SE, Minh H (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. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7918>

Colombo R, Papetti A (2019) Avocado (*Persea americana* Mill.) by-products and their impact: from bioactive compounds to biomass energy and sorbent material for removing contaminants. A review. *Int J Food Sci Technol* **54**, 943-951. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14143>

Cowan AK i Wolstenholme BN (2016) Avocado. U: Caballero B, Finglas P, Toldrá F (ured.) The Encyclopedia of Food and Health, 1. izd., Academic Press, Oxford, str. 294-300. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00049-0>

Da Silva GG, Pimenta LPS, Melo JOF, Mendonça HOP, Augusti R, Takahashi JA (2022) Phytochemicals of Avocado Residues as Potential Acetylcholinesterase Inhibitors, Antioxidants, and Neuroprotective Agents. *Molecules* **27**, 1892. <https://doi.org/10.3390/molecules27061892>

Daood HG (2003) Chlorophyll. U: Caballero, B (ured.) Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 2 izd., Academic Press, str. 1196 -1205. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00220-0>

Dreher ML, Cheng FW, Ford N (2021) A Comprehensive Review of Hass Avocado Clinical Trials, Observational Studies, and Biological Mechanisms. *Nutrients* **13**, 4376. <https://doi.org/10.3390/nu13124376>

Dreher ML, Davenport AJ (2013) Hass avocado composition and potential health effects. *Crit Rev Food Sci Nutr* **53**, 738-750. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>

Drmić H, Režek Jambrak A (2010) Ultrazvučna ekstrakcija bioaktivnih spojeva. *Croat J Food Sci Technol* **2**, 22-33. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/65474>

Ebrahimi P, Shokramraji Z, Tavakkoli S, Mihaylova D, Lante A (2023) Chlorophylls as

Natural Bioactive Compounds Existing in Food By-Products: A Critical Review. *Plants* **12**, 1533. <https://doi.org/10.3390/plants12071533> e

European Commission. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Off. J. Eur. Union* 2006, **364**, 5–24.

European Food Safety Authority (EFSA). Safety of aluminium from dietary intake-scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and food contact materials (AFC). *EFSA J.* 2008, **6**, 754. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.754>

Ferreira SM, Fale Z, Santons L (2022) Sustainability in Skin Care: Incorporation of Avocado Peel Extracts in Topical Formulations. *Molecules* **27**, 1782. <https://doi.org/10.3390/molecules27061782>

Figuerola JG, Borrás-Linares I, Del Pino-García R, Curiel JA, Lozano-Sánchez J, Segura-Carretero A (2021) Functional ingredient from avocado peel: Microwave-assisted extraction, characterization and potential applications for the food industry. *Food Chem* **352**, 129300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129300>

Figuerola JG, Borrás-Linares I, Lozano-Sánchez J, Quirantes-Piné R, Segura-Carretero A (2018) Optimization of drying process and pressurized liquid extraction for recovery of bioactive compounds from avocado peel by-product. *Electrophoresis* **39**, 1908-1916. <https://doi.org/10.1002/elps.201700379>

Fulgoni VL, Dreher M, Davenport AJ (2013) Avocado consumption is associated with better diet quality and nutrient intake, and lower metabolic syndrome risk in US adults: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2001-2008. *Nutr J* **12**, 1-6. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-12-1>

Furlan CPB, Valle SC, Östman E, Maróstica MR, Tovar J (2017) Inclusion of Hass avocado-oil improves postprandial metabolic responses to a hypercaloric-hyperlipidic meal in overweight subjects. *J Funct Foods* **38**, 349-354. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.019>

Holm G (1954) Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agric Scand* **4**, 457–471. <https://doi.org/10.1080/00015125409439955>

Karlović S (2013) Određivanje teksturnih svojstava i matematičko modeliranje sušenja voća prethodno obrađenoga ultrazvukom visokoga intenziteta (doktorski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Kosińska A, Karamać M, Estrella I, Hernández T, Bartolomé B, Dykes GA (2012) Phenolic compound profiles and antioxidant capacity of *Persea americana* Mill. peels and seeds of two varieties. *J Agric Food Chem* **60**, 4613-4619. <https://doi.org/10.1021/jf300090p>

Krumreich FD, Borges CD, Mendonça CRB, Jansen-Alves C, Zambiasi RC (2018) Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chem* **257**, 376-381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>

Lovrić T (2003) Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, Hinus, Zagreb, str. 179-196.

Marelja M, Dujmić F, Ježek D, Škegro M, Bosiljko T, Karlović S i sur., (2020) Vakuuum sušenje u prehrambenoj industriji. *Food Technol Biotechnol* **15**, 94-101. <https://doi.org/10.31895/hcptbn.15.3-4.8>

Mehri A (2020) Trace Elements in Human Nutrition (II) - An Update. *Int J Prev Med* **11**, 2. [https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM\\_48\\_19](https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_48_19)

Mella C, Vega-Gálvez A, Uribe E, Pasten A, Mejias N, Quispe-Fuentes I (2022) Impact of vacuum drying on drying characteristics and functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*). *Appl Food Res* **1**, 100120. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100120>

Menon A, Stojceska V, Tassou S (2020) A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. *Trends Food Sci* **100**, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.014>

Mujaffar S, Dipnarine TA (2020) The production of a dried avocado (*Persea americana*) powder. U: Proceedings of the International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (IConETech-2020), The University of the West Indies, St. Augustine, str. 44-54.

Nyakang'i CO, Ebere R, Eunice M, Arimi JM (2023) Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. *Appl Food Res* **3**, 100275. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>

Östbring K, Sjöholm I, Rayner M, Erlanson-Albersson C (2020) Effects of Storage Conditions on Degradation of Chlorophyll and Emulsifying Capacity of Thylakoid Powders Produced by Different Drying Methods. *Foods* **9**, 669. <https://doi.org/10.3390/foods9050669>

Panceri CP, Gomes TM, De Gois JS, Borges DLG, Bordignon-Luiz MT (2013) Effect of dehydration process on mineral content, phenolic compounds and antioxidant activity of Cabernet Sauvignon and Merlot grapes. *Int Food Res J* **54**, 1343-1350. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.016>

Parikh D (2015) Vacuum Drying: Basics and Application. *Chem Eng (NY)* **122**, 4.

Parikh D (2014) Solids drying: basics and application. *Chem Eng (NY)* **121**, 42-45.

Permal R, Leong Chang W, Seale B, Hamid N, Kam R (2020) Converting industrial organic waste from the cold-pressed avocado oil production line into a potential food preservative. *Food Chem* **306**, 125635 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125635>

Raaf A, Putra TW, Mulana F, Syamsuddin Y, Supardan MD (2022) Investigation of kinetics of amla (*Embllica officinalis*) fruit drying process. *S Afr J Chem Eng* **41**, 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.03.011>

Ramos-Aguilar AL, Ornelas-Paz J, Tapia-Vargas LM, Gardea-Béjar AA, Yahia EM, Ornelas-Paz JJ i sur., (2021) Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in avocado peels. *Food Res Int* **140**, 10024 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>

Rotta EM, de Moraes DR, Biondo PBF, dos Santos VJ, Matsushita M, Visentainer JV (2015) Use of avocado peel (*Persea americana*) in tea formulation: a functional product containing phenolic compounds with antioxidant activity. *Acta Sci Technol* **38**, 23-29. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i1.27397>

Rozan M, Alamri E, Bayomy H (2022) Fermented Hass avocado kernel: Nutritional properties and use in the manufacture of biscuits. *Saudi J Biol Sci* **29**, 103295 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103295>

Saavedra J, Córdova A, Navarro R, Díaz-Calderón P, Fuentealba C, Astudillo C, Toledo L, Enrione J, Galvez L (2017) Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process *J Food Eng* **198**, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.018>

Sabarez H (2021) Advanced drying technologies of relevance in the food industry. *Innov Food Process Technol* **18**, 64–81. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23042-4>

Sabarez HT, Gallego-Juarez, Riera E (2012) Ultrasonic-Assisted Convective Drying of Apple Slices. *Dry Technol* **30**, 989-997. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.677083>

Salazar-López NJ, Domínguez-Avila JA, Yahia EM, Belmonte-Herrera BH, Wall-Medrano A, Montalvo-González E i sur., (2020) Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Res Int* **138**, 109774. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>

Shankar AH (2020) Mineral Deficiencies. U: Ryan ET, Hill DR, Solomon T, Aronson NE, Endy TP (ured.) Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases, 10 izd., Elsevier, str. 1048 – 1054. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-55512-8.00145-9>.

Sharma M, Usmani Z, Gupta VK, Bhat R (2021) Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. *Crit Rev Biotechnol* **41**, 535–563. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240>

Shortle E, O'Grady MN, Gilory A, Furey A, Quinn N, Kerry JP (2014) Influence of extraction technique on the anti-oxidative potential of hawthorn (*Crataegus monogyna*) extracts in bovine muscle homogenates. *Meat Sci* **98**, 828-834. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.001>

Simão RS, Zhang L, de Moraes JO, Schröder A (2022) Low-pressure conductive thin film dryin of açai pulp. *LWT* **164**, 113695. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113695>

Susilo B, Rohim A, Filayati MAJ (2022) Vacuum drying as a natural preservation method of post-harvest lemon might accelerate drying duration and produce the high-quality of dried lemon slices. *Food Sci Technol* **42**, 1-6. <https://doi.org/10.1590/fst.58722>

Šumić Z (2014) Optimizacija sušenja voća u vakuumu (doktorska disertacija), Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

Tripalo B, Viličić Ž (1992) Sušenje. Tehnička enciklopedija, svezak 12, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, Hrvatska, str. 451-461.

Vardin H i Yasar M (2012) Optimisation of pomegranate (*Punica Granatum* L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. *Int J Food Sci Technol* **47**, 167-176. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02823>.

Vega-Gálvez A, Poblete J, Rojas-Carmona R, Uribe E, Pasten A, Goni MG (2021) Vacuum drying of Chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*) fruit pulp: effect of drying temperature on kinetics and quality parameters. *JFST* **58**, 3482-3492. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05005-8>

Viola E, Buzzanca C, Tinebra I, Settani L, Farina V, Gaglio R, Di Stefano V (2023)

Functional End-Use of Avocado (cv. Hass) Waste through Traditional Semolina Sourdough Bread Production. *Foods* **12**, 3743. <https://doi.org/10.3390/foods12203743>

Vranešić Bender D, Krstev S (2008) Makronutrijenti i mikronutrijenti u prehrani čovjeka. *Medicus* **17**, 19-25.

Wettstein D (1957) Chlorophyll letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden *Exp Cell Res* **12**, 427–434. [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(57\)90165-9](https://doi.org/10.1016/0014-4827(57)90165-9)

Yahia EM, Woolf AB (2011) Avocado (*Persea americana* Mill.). U: Yahia EM (ured.) Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, str. 125-186. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.125>

Xiao DC (2008) Food Drying Fundamentals U: Xiao DC, Mujumdar AS (ured.) Drying technologies in food processing. Blackwell Publishing, Singapore, str. 1-55.

Xu P, Zhang Z, Peng X, Yang J, Li X, Yuan T i sur., (2022) Study on vacuum drying kinetics and processing of the *Lonicera japonica* Thunb. aqueous extracts. *LWT* **167**, 113868. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113868>



## IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, EJLA MURATAGIĆ 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.

*Ejla Muratagić*  
Vlastoručni potpis