

# Utjecaj uvjeta skladištenja na stabilnost praha ekstrakta lista koprive

---

**Bošnjak, Ivana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:689132>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

# DIPLOMSKI RAD

Zagreb, svibanj 2023.

Ivana Bošnjak

**UTJECAJ UVJETA  
SKLADIŠTENJA NA STABILNOST  
PRAHA EKSTRAKTA LISTA  
KOPRIVE**

Rad je izrađen u Laboratoriju za procese sušenja i praćenje stabilnosti biološki aktivnih spojeva te Laboratoriju za kemiju i tehnologiju voća i povrća na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof. dr. sc. Verice Dragović - Uzelac te uz pomoć Ene Cegledi, mag. ing.



**Ovaj rad izrađen je u okviru projekta “Izolacija i enkapsulacija bioaktivnih molekula samonikle i kultivirane koprive i komorača i učinci na fiziologiju organizma” (PlantBioPower, IP-01-2018-4924) voditeljice prof. dr. sc. Verice Dragović-Uzelac, financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost.**

*Od srca zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Verici Dragović – Uzelac na pomoći i uloženom vremenu prilikom pisanja ovog rada, te posebno na srdačnosti i razumijevanju.*

*Zahvaljujem se i kolegici Eni Cegledi, mag. ing. na nesebičnom pomaganju i dostupnosti tijekom provedbe eksperimentalnog dijela.*

*Neizrecivu zahvalnost i ljubav dugujem svojoj obitelji - posebno roditeljima, Marinku i Ljubici, bez čije podrške, odricanja i vjere u mene ovo školovanje ne bi bilo moguće.*

*Hvala i mom Peri na bezuvjetnoj ljubavi i pomoći u svim trenucima.*

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Zavod za prehrambeno – tehnološko inženjerstvo

Laboratorij za kemiju i tehnologiju voća i povrća

Laboratorij za procese sušenja i praćenje stabilnosti biološki aktivnih spojeva

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Diplomski sveučilišni studij: Upravljanje sigurnošću hrane

## UTJECAJ UVJETA SKLADIŠTENJA NA STABILNOST PRAHA EKSTRAKTA LISTA KOPRIVE

*Ivana Bošnjak*, univ. bacc. ing. techn. aliment.  
0058211697

**Sažetak:** List koprive izvor je velikog broja strukturno različitih skupina bioaktivnih molekula poput fenolnih spojeva, karotenoida, klorofila, minerala i vitamina te ujedno izvrsna sirovina za proizvodnju tekućih i suhih ekstrakata. Važno je osigurati veću stabilnost bioaktivnih molekula te fizikalno-kemijskih svojstava tijekom skladištenja stoga je cilj ovog rada bio proizvesti prah ekstrakta lista koprive pri definiranim optimalnim uvjetima te odrediti stabilnost praha, utjecaj vrste ambalaže (PET/AL/PE, PP/PP<sub>met</sub>), temperature (25 i 4 °C) i vremena skladištenja (6 mjeseci) na fizikalna svojstva praha (suha tvar, topljivost, higroskopnost, nasipna gustoća). Prah koprive imao je visok udio suhe tvari što pokazuje dobru stabilnost proizvoda tijekom skladištenja i dobra barijerna svojstva ambalaže. Najviši udio suhe tvari (95,12 %) i najvišu topljivost (85,22 %) imao je prah skladišten 6 mjeseci pri 25 °C. Prah je zadržao visok udio suhe tvari, topljivost i nasipnu gustoću pri obje temperature skladištenja, dok se za nižu higroskopnost prahova pokazala boljom PP/PP<sub>met</sub> ambalaža.

**Ključne riječi:** *prah ekstrakta koprive, sušenje raspršivanjem, skladištenje, ambalaža, fizikalna svojstva*

**Rad sadrži:** 48 stranica, 14 slika, 4 tablice, 92 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** prof. dr. sc. Verica Dragović - Uzelac

**Pomoć pri izradi:** Ena Cegledi, mag. ing.

**Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:**

1. izv.prof. dr. sc. Ivona Elez Garofulić (predsjednik)
2. prof. dr. sc. Verica Dragović-Uzelac (mentor)
3. doc. dr. sc. Maja Repajić (član)
4. prof. dr. sc. Sandra Balbino (zamjenski član)

**Datum obrane:** 12. svibanj, 2023.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

Department of Food Engineering

Laboratory for Chemistry and Technology of Fruits and Vegetables

Laboratory for drying Technologies and monitoring of biologically active compounds

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

Graduate university study programme: Food Safety Management

### EFFECT OF THE STORAGE CONDITIONS ON THE STABILITY OF NETTLE LEAF EXTRACT POWDER

*Ivana Bošnjak*, univ. bacc. ing. techn. aliment.  
0058211697

**Abstract:** Nettle leaf is the source of many structurally different groups of bioactive molecules such as phenolic compounds, carotenoids, chlorophylls, minerals and vitamins, and is also an excellent raw material for production of liquid and dry extracts. It is important to ensure greater stability of bioactive molecules and physico-chemical properties during storage, therefore the aim of this work was to produce nettle leaf extract powder under defined optimal conditions and to determine the stability of the powder, the influence of the type of packaging (PET/AL/PE, PP/PP<sub>met</sub>), temperature (25 and 4 °C) and storage time (6 months) on the physical properties (dry matter, solubility, hygroscopicity, bulk density). The nettle powder had a high content of dry matter, which shows good stability and barrier properties of the packaging. The powder stored for 6 months at 25 °C had the highest dry matter content (95.12 %) and the highest solubility (85.22 %). The powder retained a high content of dry matter, solubility and bulk density at both storage temperatures, while PP/PP<sub>met</sub> packaging proved to be better for the lower hygroscopicity of the powder.

**Keywords:** *nettle extract powder, spray drying, storage, type of packaging, physical properties*

**Thesis contains:** 48 pages, 14 figures, 4 tables, 92 references

**Original in:** Croatian

**Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) 7ormi s deposited in:** The Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

**Mentor:** *PhD Verica Dragović – Uzelac, Full professor*

**Technical support and assistance:** *Ena Cegledi, mag. Ing.*

#### Reviewers:

1. Ivona Elez Garofulić, PhD, Associate professor (president)
2. Verica Dragović – Uzelac, PhD, Full professor (mentor)
3. Maja Repajić, PhD, Assistant professor (member)
4. Sandra Balbino, PhD, Full professor (substitute)

**Thesis defended:** 12<sup>th</sup> May, 2023



## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. KOPRIVA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. KEMIJSKI SASTAV KOPRIVE.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. BILJNI PRIPRAVCI OD KOPRIVE I NJENA UPOTREBA .....</b>	<b>6</b>
2.3.1. Ekstrakti koprive .....	7
<b>2.4. INKAPSULACIJA BILJNIH EKSTRAKATA.....</b>	<b>9</b>
2.4.1. Sušenje raspršivanjem.....	10
2.4.2. Odabir nosača za sušenje raspršivanjem .....	11
2.4.3. Fizikalno-kemijska svojstva prahova.....	13
<b>2.5. AMBALAŽNI MATERIJALI ZA PAKIRANJE PRAHOVA .....</b>	<b>14</b>
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. MATERIJAL .....</b>	<b>16</b>
3.1.1. List koprive .....	16
3.1.2. Ambalaža za skladištenje .....	16
3.1.3. Kemikalije .....	17
3.1.4. Aparatura.....	17
3.1.5. Pribor.....	17
<b>3.2. METODE .....</b>	<b>18</b>
3.2.1. Priprema ekstrakta.....	18
3.2.2. Proizvodnja prahova koprive iz ekstrakta sušenjem raspršivanjem.....	18
3.2.3. Fizikalne analize prahova koprive .....	20
3.2.3.1. Udio suhe tvari.....	20
3.2.3.2. Topljivost .....	21
3.2.3.3. Higroskopnost.....	21
3.2.3.4. Nasipna gustoća .....	22
<b>3.3. SKLADIŠTENJE INKAPSULATA .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4. OBRADA PODATAKA .....</b>	<b>23</b>
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. UDIO SUHE TVARI PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2. TOPLJIVOST PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. HIGROSKOPNOST PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4. NASIPNA GUSTOĆA PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5. UTJECAJ AMBALAŽE, VREMENA I TEMPERATURE SKLADIŠTENJA NA ISPITIVANE PARAMETRE.....</b>	<b>32</b>

4.5.1.	Utjecaj uvjeta skladištenja na udio suhe tvari praha koprive .....	34
4.5.2.	Utjecaj uvjeta skladištenja na topljivost praha koprive.....	34
4.5.3.	Utjecaj uvjeta skladištenja na higroskopnost praha koprive .....	35
4.5.4.	Utjecaj uvjeta skladištenja na nasipnu gustoću praha koprive.....	35
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČCI.....</b>	<b>36</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>37</b>

# 1. UVOD

Biljni ekstrakti su značajna sirovina za dobivanje funkcionalnih proizvoda kojima danas sve više raste popularnost zbog povećane svijesti potrošača o kvaliteti hrane koju konzumiraju i mogućim pozitivnim učincima na zdravlje zbog prisutnosti bioaktivnih molekula. Osim u tekućoj formi, biljni ekstrakti sve više se proizvode u formi prahova čime im se povećava stabilnost, često i bioraspoloživost te se olakšava skladištenje i transport.

Inkapsulacija se pokazala kao učinkovita zaštita bioaktivnih sastojaka iz biljnih ekstrakata. Definira se kao postupak stvaranja barijere oko aktivne komponente koja inhibira kemijske interakcije degradacije, štiti od djelovanja okolišnih čimbenika kao što su temperatura, kisik i vlaga te omogućuje kontrolirano oslobađanje aktivne komponente pod određenim uvjetima (Dias i sur., 2017). Jedna od čestih inkapsulacijskih tehnika kojom se biljni ekstrakti prevode u stabilnu formu praha s ciljem očuvanja bioaktivnih molekula i zadržavanja poželjnih fizikalno–kemijskih svojstava je sušenje raspršivanjem.

Zbog svog bogatog vitaminskog, mineralnog i fenolnog sastava kopriva (lat. *Urtica dioica* L.) predstavlja veliki potencijal korištenja u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji, kao dodatak prehrani, gdje se kao prah ugrađuje u tablete ili kapsule zbog čega je bitno optimizirati pripremu ekstrakta koprive kako bi se dobio proizvod visoke stabilnosti i dugog roka trajanja koji se jednostavno obrađuje, proizvodi, transportira i skladišti (Vidović i sur., 2014).

Inkapsulirani prah koprive, kao supstrat osjetljiv na utjecaj vlage i oksidaciju tijekom skladištenja, nužno je pakirati u ambalažu s dobrim barijernim svojstvima koja će ga zaštititi od utjecaja kisika, vlage, svjetla ili gubitka arome. Za pakiranje prahova koriste se uglavnom polietilenski (PE), polipropilenski (PP) i poliamidni (PA) filmovi te aluminijska folija kombinirani u kompaktnu cjelinu kako bi se postigla specifična barijerna svojstva (Zorić, 2014).

Cilj ovog rada bio je odrediti fizikalna svojstva (iskorištenje, suha tvar, topljivost, higroskopsnost i nasipna gustoća) prahova ekstrakta lista koprive pakiranih u PET/AL/PE i PP/PP<sub>met</sub> ambalažu te njihove promjene tijekom skladištenja kroz vremenski period od 6 mjeseci pri temperaturama skladištenja 25 i 4 °C.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. KOPRIVA

Kopriva, latinskog naziva *Urtica dioica* L., višegodišnja samonikla zeljasta biljka iz porodice koprivnjača (lat. *Urticaceae*) pripada velikoj grupi kritosjemenjača tj. Cvjetnjača. Rod *Urtica* dobio je naziv prema latinskoj riječi *urere* što znači žariti ili peći, dok je ime vrste *dioica* obilježava dvodomnost ove biljke odnosno razdvojenost muških i ženskih cvjetova na dvije biljke (Orčić i sur., 2014; Upton, 2013).



**Slika 1.** Kopriva (lat. *Urtica dioica* L.) (vlastita fotografija)

Koprivu karakterizira uspravna ne razgranata stabljika srednje veličine (visine 1-2 metra), nazubljeni listovi (slika 1) te trihomi odnosno žarne dlačice koje su golim okom slabo vidljive, a koprivi služe za obranu od kukaca. Prilikom dodira s ljudskom kožom oštri vrhovi žarnih dlačica se otkidaju te ispuste mravlju kiselinu, acetilkolin, 5-hidroksitriptamin (serotonin) i histamin. Posljedica toga su iritacija i peckanje kože koji mogu trajati i do 12 h (Grauso i sur., 2020; Kregiel i sur., 2018).

Korijen koprive je žuto-smeđe boje, nepravilno razgranjen cilindričnog oblika, debljine 5-10 mm ovisno o vrsti. Stabljike koprive su šuplje, debljine do 3 mm, a boja im varira od svijetlozelene do smeđe, ponekad i ljubičaste boje. Listovi su nazubljeni na rubovima i imaju vidljive žilice, s gornje strane su tamnije zelene boje, a s donje svjetlije. Period cvjetanja koprive je od svibnja do rujna, a sitni zeleni cvjetovi su skupljeni u viseće cvatove koji rastu ispod pazuha listova gornjeg dijela stabljike (slika 2). Nakon cvjetanja nastaje plod – zeleni oraščić plosnatog oblika koji sadrži jednu smeđu sjemenku. Razmnožavanje se odvija pomoću sjemenki i korijena (Upton, 2013; Asgarpanah i Mohajerani, 2012).



**Slika 2.** Morfološka obilježja koprive: a - cijela biljka, b - cvat koprive, c - trihomi, d - korijenje, e - list koprive (prema Joshi i sur., 2014)

Zbog svoje prilagodljivost rasprostranjena je u umjerenom i u malom dijelu tropskog pojasa na području Europe, Azije, sjeverne Afrike i Amerike. Raste na otvorenom, blago sjenovitom i vlažnom mjestu koje je bogato dušikom poput šume, livada uz rijeke i potoke te uz rubove cesta na nadmorskoj visini do 1800 m (Repajić i sur., 2021; Grauso i sur., 2020). Unatoč tome što se smatra korovom, kopriva se i uzgaja jer ima bogat fitokemijski sastav te veliku primjenu i potencijal u prehrambenoj, tekstilnoj, kozmetičkoj, papirnoj i drugim industrijama (Kregiel i sur., 2018).

## 2.2. KEMIJSKI SASTAV KOPRIVE

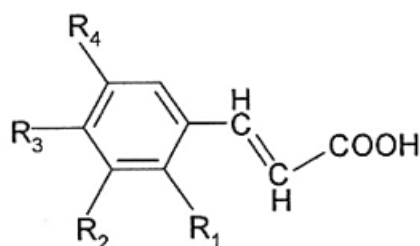
Kopriva se već preko 2000 godina koristi kao lijek u narodnoj medicini te u ljudskoj prehrani. Svježa kopriva je niskokalorična (57 – 99,7 kcal/100 g) te sadrži velik udio vode (65 – 90 %), ugljikohidrata (7,1 – 16,5 %), proteina (4,3 – 8,9 %), lipida (0,7 – 2 %) i dobar je izvor dijetalnih vlakana (3,6 – 5,3 %) (Said i sur., 2015). Važnost koprive naročito se pripisuje bogatom sastavu minerala, vitamina, proteina te različitih bioaktivnih molekula poput flavonoida, tanina, hlapljivih spojeva, masnih kiselina, polisaharida, izolecitina, sterola, karotenoida, klorofila. U suhoj tvari koprive prisutno je oko 30 % proteina i oko 20 % minerala. U mineralnom sastavu ističu se značajni udjeli cinka, željeza, kobalta, kalija, nikla i molibdena (Said i sur., 2015; Joshi i sur., 2014; Guil-Guerrero i sur., 2003).

Različiti dijelovi biljke poput korijena, stabljike, lista, cvijeta i sjemenke imaju različit kemijski sastav kao i udjel pojedinih komponenti. Repajić i sur. (2021) su masenom spektrometrijom identificirali ukupno 41 polifenolni spoj iz listova i stabljike koprive koji su pripadali skupinama hidroksibenzojevih, hidroksicimetnih fenolnih kiselina, flavonola, flavan-3-ola, flavona, izoflavona, flavanona i kumarina, 13 karotenoida i 9 klorofila. Dobiveni rezultati pokazali su da su najveće količine bioaktivnih molekula koprive s visokim antioksidativnim kapacitetom prisutne u listovima (Repajić i sur., 2021). Bioaktivne molekule prisutne u listovima i korijenju te plodu koprive navedene su u tablici 1.

**Tablica 1.** Bioaktivne molekule u listu, plodu i korijenu koprive (*prema* Raman, 2018; Said i sur., 2015)

Dio koprive	Bioaktivne molekule
<b>Listovi i korijenje</b>	Vitamini (vitamin A, C, K i skupina B vitamina), minerali (kalcij, željezo, magnezij, fosfor, kalij i natrij), masne kiseline (linolenska, linolna, palmitinska, stearinska i oleinska kiselina), sve esencijalne aminokiseline, polifenoli (kamferol, kvercetin, kafeinska kiselina, kumarin i drugi flavonoidi), pigmenti (klorofili <i>a</i> i <i>b</i> , $\alpha$ -karoten, lutein, luteoksantin i drugi karotenoidi)
<b>Plod – sjemenka</b>	Vitamini (vitamin A, C, E i K), minerali (željezo, silicij, kalcij, magnezij, mangan, fosfor i kalij), $\alpha$ -karoten, folna kiselina, esencijalne masne kiseline

U istraživanju kemijskog sastava i antioksidativne aktivnosti više vrsta koprive (*U. dioica* L., *U. membranacea* L. i *U. urens* L.) Carvalho i sur. (2017) dokazali su da obična kopriva (*U. dioica* L.) sadrži najviše fenolnih spojeva (7,9 g 100 g<sup>-1</sup> s.tv.) i da ima najveću vrijednost antioksidativnog kapaciteta. Najviše je sadržavala hidroksicimetnih kiselina (2,54 g 100 g<sup>-1</sup> s.tv.). U hidroalkoholnim ekstraktima listova i stabljike kopriva *U. dioica* L., *U. urens* L. i *U. membranacea* L. identificirano je 15 hidroksicimetnih kiselina i 16 flavonoida, flavon – glikozida i flavonol-glikozida (Carvalho i sur., 2017). U istraživanju Repajić i sur. (2021) u ekstraktu listova i stabljike koprive hidroksicimetne kiseline i flavonoli su bili najdominantniji identificirani polifenoli (33,10 – 519,81 mg 100 g<sup>-1</sup> s.tv. odnosno 57,44 – 383,25 mg 100 g<sup>-1</sup> s.tv.), dok su od pigmenata najzastupljeniji bili klorofili (4,26 – 1934,38 mg 100 g<sup>-1</sup> s.tv.). Među ukupnim fenolnim spojevima najzastupljenija skupina bile su hidroksicimetne kiseline (179,22 mg 100 g<sup>-1</sup> s.tv.) identificirane kao kafeinska, klorogenska, *p*-kumarinska, ferulinska i sinapinska kiselina. Kemijska struktura hidroksicimetnih kiselina prikazana je na slici 3.



HIDROKSICIMETNE KISELINE	
ferulinska (4-hidroksi-3-metoksicimetna)	R <sub>1</sub> =R <sub>2</sub> =H, R <sub>3</sub> =OH, R <sub>4</sub> =OCH <sub>3</sub>
<i>p</i> -kumarinska (4-hidroksicimetna)	R <sub>1</sub> =R <sub>2</sub> =R <sub>4</sub> =H, R <sub>3</sub> =OH
kafeinska (3,4-dihidroksicimetna)	R <sub>1</sub> =R <sub>2</sub> =H, R <sub>3</sub> =R <sub>4</sub> =OH
sinapinska (4-hidroksi-3,5-dimetoksicimetna)	R <sub>1</sub> =H, R <sub>3</sub> =OH, R <sub>2</sub> =R <sub>4</sub> =OCH <sub>3</sub>

**Slika 3.** Kemijska struktura hidroksicimetnih kiselina (prema Robards i sur., 1999)

Orčić i sur. (2014) u metanolnim ekstraktima listova, stabljike, korijena i cvjetova koprive *U. dioica* L. kvantificirali su različite fenolne spojeve te dokazali da sastav polifenola ovisi o dijelu koprive i lokalitetu na kojem je kopriva ubrana. Cvjetovi koprive sadržavali su

najviše fenolnih spojeva i to klorogenske kiseline, rutina i izokvercetin (Orčić i sur., 2014).

Repajić i sur. (2021) utvrdili su da dio biljke, fenološki stadij i stanište biljke imaju značajan utjecaj na količine svih skupina polifenola. Uspoređujući količine svih skupina polifenola između listova i stabljike koprive uočeno je da su listovi akumulirali značajno veće količine polifenola i to *p*-hidroksibenzojeve kiseline, cimetine kiseline, *p*-kumarinske kiseline, galne kiseline, ferulinske kiseline, siringinske kiseline, sinapske kiseline, kininske kiseline, kamferola, kvercetin, katehina, rutina i drugih.

Također, za dobivanje ekstrakta s najvećim udjelom polifenola važno je odrediti optimalno vrijeme berbe, a kod nadzemnih dijelova (stabljika i listovi) to je u proljeće (prije cvatnje biljke), jer se smatra da je smanjenje ukupnih polifenola od faze cvjetanja rezultat fiziološkog prijelaza iz vegetativne u generativnu fazu. Kopriva iz primorskog područja okarakterizirana je kao ona s većom količinom pigmenata, dok je kopriva iz kontinentalnih i planinskih područja sadržavala veće količine polifenola (Repajić i sur., 2021).

Osim navedenih fenolnih spojeva kopriva ima i raznolik vitaminski sastav što je prikazano u tablici 1. Sadrži vitamin A, vitamine B skupine (B1, B2, B3, B6), vitamin C i vitamin E koji su potrebni za normalno funkcioniranje ljudskog organizma. Zahvaljujući visokom sadržaju vitamina C prisutno željezo u koprivi je bioraspoloživo i lako se apsorbira u organizam zbog čega se kopriva i različiti pripravci od koprive preporučuju kod problema s anemijom (Said i sur., 2015).

### **2.3. BILJNI PRIPRAVCI OD KOPRIVE I NJENA UPOTREBA**

U tradicionalnoj medicini svi dijelovi koprive koriste se već tisućljećima. Cijela biljka se može koristiti kao antistatik, diuretik, antidijabetik, hemostatik, u borbi protiv slabokrvnosti, iscrpljenosti i glavobolje (Daoudi i sur., 2008; Bnouham i sur., 2002). Tradicionalno se koristi u liječenju alergija, opekline, osipa i dijabetesa. Pokazala se djelotvornom za liječenje afti, hemoroida i svrbeža kože i vlasišta uzrokovanog perutanjem te je zbog toga čest sastojak šampona i tinktura za kosu koja opada i brže se masti. Zbog svojih bioaktivnih spojeva, niskog kalorijskog statusa i visokog sadržaja vode koristi se kod rješavanja zdravstvenih problema povezanih s prehranom (Said i sur., 2015; Bnouham i sur., 2002).

U ljudskoj prehrani se najčešće koristi osušeni list koprive ubran u vrijeme cvatnje u obliku čaja. Svježi mladi listovi koprive koriste se u varivima, juhama, salatama ili se pripremaju kao špinat. Nerijetko služi i za pripremljanje napitaka koji povećavaju imunitet organizma



tijekom zimskih mjeseci zbog bogatog mineralnog sastava i vitamina C koji omogućava normalnu funkciju organizma. U zadnje vrijeme kopriva se pojavljuje kao sastojak funkcionalne hrane gdje se npr. osušeni listovi koprive dodaju tjesteninama kako bi poboljšali funkcionalna svojstva obogaćujući jelo karotenoidima (Shonte i sur., 2020; McVicar, 2006).

Osim u prehrani i tradicionalnoj medicini, kopriva se koristi u farmaceutskoj i kemijskoj industriji te u ishrani domaćih životinja i agrokulturi kao insekticid i gnojivo.

Zelena boja koprive izolirana ekstrakcijom klorofila iz koprive koristi se za bojanje vodica za osvježavanje usta, pasti za zube, losiona i drugih kozmetičkih proizvoda. Najpoznatija je proizvodnja kozmetičkih pripravaka za kosu na bazi koprive jer njeno djelovanje smanjuje perut i potiče rast kose (Radman, 2015).

U prehrani konja sušena kopriva dodaje se sijenu, a kod krava povećava prinos mlijeka. U razvoju mladih pilića i guski koristi se svježa nasjeckana kopriva, dok dodatak sjemenki koprive i samljevene stabljike u prehrani peradi povećava prinos jaja (Hulina, 2011; Forenbacher, 1998).

Stabljika i list koprive macerirani u vodi u kućnoj izradi se sve više koriste kao sredstvo suzbijanja lisnih uši i drugih štetnika (Hulina, 2011). U svom radu Jukić i Mužek (2018) navode da se koprivom pospješuje razgradnja komposta, a suhi korijen koprive se koristi kao organsko gnojivo pri čemu se fermentacijom suhog korijena u odstajaloj vodi dobije pH vrijednost najbolja za primjenu gnojiva.

### 2.3.1. Ekstrakti koprive

Biljni ekstrakti mogu se definirati kao spoj ili smjesa spojeva dobivenih različitim postupcima ekstrakcije (koncentriranja, izdvajanja) iz svježih ili sušenih dijelova biljke kao što su: list, cvijet, sjemenka, korijen ili kora. Biljni ekstrakti se najčešće dobivaju tako što se usitnjeni dijelovi biljke (uglavnom osušeni) dovode u kontakt s otapalom za ekstrakciju u odgovarajućem uređaju – ekstraktoru (Savić, 2014; Vinatoru i sur., 2001). Otapala koja se najčešće koriste za proizvodnju biljnih ekstrakata su vodene otopine alkohola i to najčešće etanola, ali se ovisno o namjerna ekstrakta ekstrakcija može provoditi i primjernom drugih otapala (npr. heksan, izopropanol, propilen glikol, glicerol, aceton). Za otapanje i ekstrakciju polarnijih komponenti često se koristi voda (Ashurst, 2005).

Parametri koji utječu na kvalitetu dobivenog ekstrakta su temperatura i vrijeme ekstrakcije, usitnjenost sirovog materijala te količina odgovarajućeg otapala korištenog za

ekstrakciju. Prilikom ekstrakcije bioaktivnih komponenti iz biljnih materijala važno je koristiti blaže uvjete poput umjerene temperature i zaštite od svjetlosti i kisika kako bi se u što većoj mjeri sačuvali termo osjetljivi spojevi i time povećala kvaliteta proizvedenog ekstrakta. Što je duže vrijeme ekstrakcije veća je količina ekstrahiranih spojeva odnosno veće je iskorištenje procesa. S druge strane parametar vrijeme usko je povezan s temperaturom jer predugo izlaganje bioaktivnih spojeva određenoj temperaturi dovodi do njihove degradacije i smanjenja konačne kvalitete proizvoda (Palma i sur., 2013).

Ekstrakti koprive najčešći su oblik njezine primjene u industriji gdje se za svaku pojedinu vrstu kao i za svaki dio koprive treba odrediti optimalne uvjete ekstrakcije s naglaskom na maksimalnu učinkovitost procesa i selektivnu izolaciju ciljanih spojeva (Stanojević i sur., 2016). Konvencionalne metode kojima se dobivaju ekstrakti koprive poput maceracije, ekstrakcije otapalima i Soxhlet ekstrakcije koriste velike količine otapala, dugotrajne su i u konačnici ne daju ekstrakte odgovarajuće kvalitete i prinosa. Stoga se sve više prioritet daje nekonvencionalnim, suvremenijim metodama ekstrakcije poput ubrzane ekstrakcije otapalima, ultrazvukom potpomognute ekstrakcije, ekstrakcije potpomognute mikrovalovima, ekstrakcije potpomognute visokim hidrostatskim tlakom ili ekstrakcije supekritičnim fluidima koje omogućuju bržu, učinkovitiju i ekološki prihvatljiviju ekstrakciju uz manji utrošak energije i otapala (Đurović, 2018; Chemat, 2012).

Kopriva je biljna sirovina s velikim potencijalom za primjenu u prehrambenoj, ali i farmaceutskoj industriji i kao dodatak prehrani, gdje se kao prah ugrađuje u tablete ili kapsule zbog čega je bitno optimirati pripremu ekstrakta koprive suvremenim nekonvencionalnim metodama kako bi se dobio proizvod visoke stabilnosti i dugog roka trajanja koji se jednostavno obrađuje, proizvodi, transportira i skladišti (Vidović i sur., 2014). Često se biljni ekstrakti prevode u stabilniju formu praha primjenom različitih inkapsulacijskih tehnika kao što je sušenje raspršivanjem, s ciljem očuvanja bioaktivnih molekula i zadržavanja poželjnih fizikalnih svojstava poput dobrog prinosa praha, visokog udjela suhe tvari i niskog sadržaja vlage, dobre topljivosti, niske higroskopnosti, odgovarajuće nasipne gustoće i veličine čestica i dobre bioraspoloživosti (Nedović, 2011; Tonon i sur., 2008).

## 2.4. INKAPSULACIJA BILJNIH EKSTRAKATA

Osjetljivi bioaktivni spojevi izolirani iz prirodnih spojeva kao što su polifenoli, probiotičke bakterije, vitamini, minerali, određene masne kiseline, koji su nestabilni pod utjecajem svjetlosti, vlage, promjene pH ili temperature (Đorđević i sur., 2015a; Champagne i Fustier, 2007) učinkovito se zaštićuju postupkom inkapsulacije. Pakiraju se u male zapečaćene kapsule uz pomoć nosača te se njihov sadržaj otpušta u posebnim uvjetima (Fang i Bhandari, 2010). Inkapsulacija se prema Dias i sur. (2017) može definirati kao postupak kojim se stvara zaštitna barijera oko aktivne komponente koja inhibira kemijske interakcije koje bi se dogodile da bioaktivni spoj nije zaštićen od okolišnih uvjeta. Jedan ili više aktivnih spojeva se oblaže jednim ili kombinacijom više tvari.

Materijal koji se kapsulira naziva se jezgra ili aktivni materijal, a materijal koji tvori barijeru odnosno kapsulu je nosač. Nosač može biti u obliku krutine, kapljica tekućine ili mjehurića plina koji inkapsuliraju jezgru u obliku krutine, tekućine ili plina. Neki od polisaharida koji se koriste za inkapsulaciju su: arapska guma, modificirani škrob, maltodekstrin, alginati, pektin, karagenan, derivati celuloze, citozan i ciklodekstrin, a koja će se inkapsulacijska tehnika primijeniti ovisi o parametrima poput područja primjene, predviđene veličine čestica, fizikalno-kemijskih karakteristika vanjske i unutarnje faze, načina oslobađanja inkapsuliranih spojeva, troškova postupka i mnogih drugih (Jafari, 2017).

Inkapsulacija se primjenjuje u različitim područjima te je shodno tome razvijeno više tehnika inkapsuliranja, a neke od njih su (Đorđević i sur., 2015b):

- Sušenje raspršivanjem – atomizacijom mješavine jezgre i nosača u vrućoj komori uz isparavanje vode nastane prah sfernih čestica promjera u rasponu od 10 – 100  $\mu\text{m}$ ,
- Ekstruzija – potiskivanjem polimerne otopine kroz špricu stvaraju se kapljice koje se skrutnu u sferične čestice gela promjera u rasponu od 0,2 – 2000  $\mu\text{m}$ ,
- Emulzifikacija – sredstvo za geliranje dodaje se u emulziju biopolimera s vodom u ulju te nastaju čestice gela s promjerom u rasponu od 10 – 1000  $\mu\text{m}$ ,
- Sušenje zamrzavanjem/hlađenjem - otopljeni spoj nosača i jezgre se raspršuje u hladnoj komori gdje dolazi do skrućivanja čestica i one su matričnog tipa s promjerom u rasponu 20 – 200  $\mu\text{m}$ ,
- Molekularna inkluzija – nakon dodavanja nosača u vodenu otopinu aktivnog

spoja miješanjem ili grijanjem dolazi do izdvajanja čestica promjera 0,001 – 0,01  $\mu\text{m}$

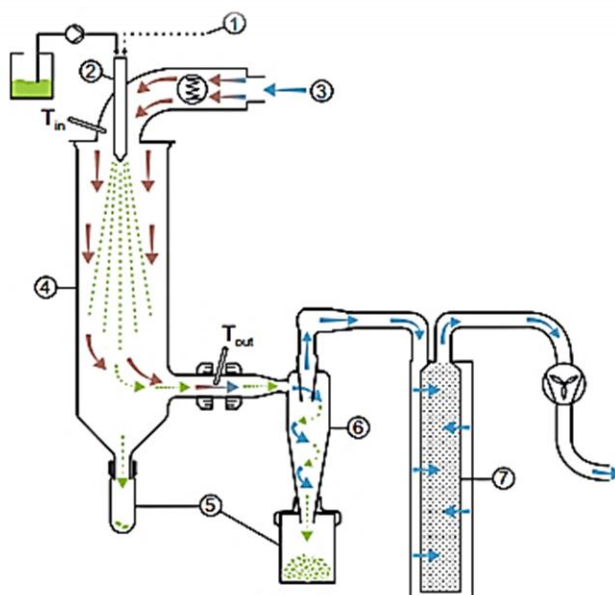
- Inkapsulacija liposomima – fosfolipidima dispergiranim u vodenoj fazi dolazi do nastanka liposoma u veličini od 10 – 1000  $\mu\text{m}$ ,
- Kompletna koacervacija – suprotno nabijene molekule biopolimera su pomiješane pri pH ispod izoelektrične točke proteina (pI), koacervat sadrži aktivni spoj koji se pri tome taloži i rezultat su čestice promjera 10 – 800  $\mu\text{m}$ .

Inkapsulacijom se postiže učinkovita zaštita bioaktivnih komponenti od procesa degradacije tijekom procesiranja i skladištenja čime se povećava njihova stabilnost, sprječavaju se nepoželjne reakcije s drugim komponentima hrane ili se sprječava razgradnja dok hrana ne dospije na željeno mjesto te se mogu maskirati nepoželjni mirisi i okusi i povećati bioraspoloživost inkapsulirane tvari (Nedović i sur., 2011).

#### 2.4.1. Sušenje raspršivanjem

Sušenje raspršivanjem je tehnika sušenja tekućih ili polutekućih namirnica u struji vrućeg zraka uslijed čega kao konačni proizvod dobivamo prah. Cilj sušenja raspršivanjem je da se brzo i efikasno ukloni voda iz materijala te se dobije prah poželjnih fizikalno-kemijskih svojstava (Tonon i sur., 2008). Mehanizam postupka sušenja raspršivanjem temelji se na uklanjanju vlage zagrijanim plinovima, a odvija se u uređaju za sušenje raspršivanjem. Sušenje raspršivanjem može se podijeliti na 3 glavne faze: raspršivanje, pretvorba kapljica u čestice i sakupljanje čestica. Postupak sušenja počinje atomizacijom, odnosno raspršivanjem otopine u sitne kapljice zbog povećavanja dodirne površine između otopine i vrućeg plina čime se povećava prijenos mase i topline između zagrijanog plina za sušenje i kapljica (Nandiyanto i Okuyama, 2011). Obično se kao vrući plin koristi atmosferski zrak, iako se u nekim slučajevima koriste inertni plinovi ovisno o materijalu koji se tretira. Unutar komore prilikom kontakta kapljica i vrućeg plina dolazi do brzog isparavanja vlage, kondenziranja otopljene tvari što na kraju rezultira uklanjanjem otapala. Zbog razlike tlaka pare otapala i njegovog parcijalnog tlaka u odnosu na plinsku fazu dolazi do prijenosa vlage u suprotnom smjeru i nastajanja suhih čestica. Razdvajanje suhih čestica od plina za sušenje općenito se događa u dvije faze: primarna i sekundarna. U primarnoj fazi najgušće čestice se odvajaju na konusnom dnu komore za sušenje, dok se u sekundarnoj fazi najsitnije čestice prenose na vanjski uređaj gdje se odvajaju od vlažnog

zraka (Santos i sur., 2018). Shematski prikaz uređaja za sušenje raspršivanjem prikazan je na slici 4.



**Slika 4.** Shematski prikaz uređaja za sušenje raspršivanjem: 1 – zagrijavanje ulaznog plina na željenu temperaturu; 2 – formiranje kapljica prolaskom otopine uzorka i nosača kroz mlaznicu i ultrazvučnu glavu raspršivača; 3 – kolona za sušenje; 4 – prikup kapljica u ciklonu; 5 – vanjski filter, skupljanje najsitnijih čestica; 6 – plin za sušenje dobavljen iz aspiratora; 7 – filtriranje plina nakon sušenja (prema BÜCHI, 2023)

Prednosti sušenja raspršivanjem su brzo, jednostavno, učinkovito, ekonomično i reproducibilno dobivanje praha u velikim količinama te mogućnost korištenja hidrofilnih i hidrofobnih materijala, dok se nedostatkom smatra visoka radna temperatura te teško kontroliranje željene veličine čestica (Đorđević i sur., 2015b).

#### 2.4.2. Odabir nosača za sušenje raspršivanjem

Odabir nosača za inkapsuliranje sastojaka hrane je vrlo važan korak samog procesa i dobivanja stabilnog proizvoda. Prilikom odabira odgovarajućeg nosača treba razmotriti čimbenike kao što su: način inkapsulacije, željena funkcionalnost kapsule, brzina otpuštanja aktivne tvari, ograničenja kemijskih reakcija između aktivne tvari i komponenata hrane tijekom procesiranja i skladištenja te cijena nosača. Zahtjevi koje nosači moraju zadovoljavati su da budu

inertni, bez okusa, stabilni, nehigroskopni, srednje viskoznosti, topljivi u vodenom mediju ili drugom odgovarajućem otapalu, biorazgradivi, ekonomični te moraju tvoriti film i lako se identificirati. U prehrambenoj industriji se kao nosači najčešće koriste ugljikohidrati, proteini i lipidi. Polimerni ugljikohidrati koji se najčešće koriste u prehrambenoj industriji su: kitozan, gume (agar, alginati, karagenan, arapska guma, pektin), škrob (maltodekstrin, dekstin, modificirani i rezistentni škrob). Za proteinske nosače najčešće se koriste: proteini jaja, mlijeka, soje i pšenice, zein i hidrolizirani proteini. Lipidni nosači najčešće se dobivaju iz: glikolipida, monoglicerida i diglicerida prirodnih masti i ulja, fosfolipida, voskova te frakcioniranih masti (Vinceković i sur., 2017; Nedović i sur., 2011).

U procesu sušenja raspršivanjem zbog niske cijene, široke komercijalne dostupnosti, visoke topljivosti, niske viskoznosti te visoke sposobnosti stabilizacije proizvoda u prehrambenoj industriji u praksi se najčešće koriste maltodekstrin i arapska guma (Jafari i sur., 2017).

Maltodekstrin je dugolančani hidrolizat škroba sastavljen od glukoznih jedinica međusobno povezanih  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) glikozidnim vezama, velike molekulske mase (Guajardo – Flores, 2015). Ima visoku topljivost u vodi, nisku viskoznost te blag okus. Kada se koristi kao nosač pruža zaštitu od oksidacije, bezbojan je, i pored toga, ima nisku cijenu (Saavedra – Leos i sur., 2015). Nedostatak maltodekstrina je loše emulgirajuće svojstvo zbog mnoštva hidroksilnih skupina koje uzrokuju vlaženje i stvaraju ograničenje u kapsuliranju (Waterhouse i sur., 2017). Dodatkom drugog nosača, poput arapske gume, pektina ili proteina sirutke, koji ima dobra emulgirajuća svojstva, zadržavaju se hlapljive tvari unutar kapsula čije stijenke tvori maltodekstrin. Također se povećava prinos praha i smanjuje udio vlage u konačnom proizvodu. (Mahdi i sur., 2020).

Arapska guma, prirodna biljna izlučevina iz stabla akacije, jedina je guma koja se koristi u prehrambenoj industriji. Sastoji se od oko 2 % glikoproteina i od polisaharida poput L-ramnoze, D-galaktoze, L-arabinoze i D-glukuronske kiseline. Svojstva koja pogoduju sušenju raspršivanjem su dobra topljivost, niska viskoznost u vodenim otopinama te dobra emulgirajuća i stabilizirajuća svojstva (de Barros Fernandes i sur., 2014; Phisut, 2012).

Ono što utječe na razliku u količini prinosa, prijelaznoj temperaturi, higroskopnosti, topljivosti i drugim fizikalno-kemijskim svojstvima je udio otopljenog nosača u odnosu na aktivnu tvar koja se inkapsulira (Lee i sur., 2018). Mješavina arapske gume i maltodekstrina prilikom postupka sušenja raspršivanjem se pokazala boljom za sušenje raspršivanjem od

korištenja svakog pojedinačno te su veći udjeli nosača ključni za veći prinos procesa. Posebno učinkovit proces se pokazao onaj s većim udjelom arapske gume kao nosača u odnosu na maltodekstrin (Fazaeli i sur., 2012; Yousefi i sur., 2011). Daza i sur. (2016) utvrdili su da je topljivost prahova bolja što je veći udio nosača, dok su De Souza i sur. (2015) zaključili da prahovi proizvedeni s manjim udjelima nosača u odnosu na jezgru imaju tendenciju povećanja higroskopnosti. Kada se kao nosači za inkapsulaciju koriste maltodekstrin i arapska guma temperaturni uvjeti sušenja raspršivanjem nisu presudni za zadržavanje bioaktivnih molekula što omogućuje primjenu temperatura sušenja raspršivanjem do 200 °C. Maltodekstrin kao nosač osigurava zadržavanje više od 93 % fenolnih kiselina i gotovo 89 % antocijana prisutnih u svježem soku višnje, dok se oko 84 % flavonoidnih glikozida zadržava u soku inkapsuliranom s dodatkom arapske gume u omjeru 2:1. (Elez Garofulić i sur., 2017).

#### 2.4.3. Fizikalno-kemijska svojstva prahova

Fizikalno-kemijska svojstva prahova dobivenih nekom od prethodno opisanih tehnika sušenja odraz su sastava materijala koji se sušio te uvjeta sušenja. Fizikalno-kemijska svojstva prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem uvelike ovise o svojstvima otopine koja se raspršuje (viskoznost otopine, brzina protoka, veličina čestica), načinu strujanja vrućeg plina u komori za sušenje (istosmjerno sa česticama ili suprotno od čestica) te tipu raspršivača koji se koristi (Tonon i sur., 2008). U cilju dobivanja praha sa što boljim fizikalno-kemijskim, senzorskim i nutritivnim svojstvima te većim prinosom, važno je optimizirati proces sušenja.

Fizikalna svojstva praha koprive određivana u ovom radu su udio suhe tvari, topljivost, nasipna gustoća i higroskopnost.

Količina suhe tvari u prahu trebala bi biti veća od 95 % čime se osigurava korištenje praha u tehnološke svrhe te se povećava stabilnost njegovih fizikalnih svojstava. Općenito, sušenjem se smanjuje količina vlage u proizvodu koja je glavni čimbenik stabilnosti praha. Osim na stabilnost dobivenih prahova količina vlage u prahu utječe i na druga svojstva, a ponajviše na nasipnu gustoću i topljivost. Niži udio suhe tvari odnosno viši udio vlage uzrokuje sljepljivanje čestica praha. Što je viša temperatura ulaznog zraka za sušenje, udio suhe tvari će biti viši, jer se povećava prijenos topline između čestica koje se suše i vrućeg zraka. Više ulazne temperature uzrokuju veći temperaturni gradijent što rezultira većim isparavanjem vode (Elez Garofulić i sur., 2016, Phisut, 2012, Quek i sur., 2007).

Kha i sur. (2010) su topljivost izrazili kao postotak dobiven iz omjera mase praha

dobivene sušenjem supernatanta do konstantne mase i mase praha uzetog za analizu. S obzirom da je većina prahova namijenjena za rehidraciju važno je da se prah ravnomjerno otapa te da se otapa bez grudica. Čimbenik koji najviše utječe na ravnomjernu topljivost prahova je veličina čestica, a ona ovisi o početnom sastavu materijala koji se suši, temperaturi zraka za sušenje, korištenom nosaču za sušenje te brzini protoka zraka i otopine koja se suši. Što su dobivene čestice praha sitnije veća je mogućnost izdvajanja grudica te nemogućnost potpunog otapanja praha stoga je važno prilagoditi uvjete sušenja kako bi se dobile čestice prikladne veličine za maksimalnu topljivost ili u proces sušenja uključiti postupak aglomeracije čestica praha (Kha i sur., 2010; Brennan, 2003).

Nasipna gustoća predstavlja omjer mase i visine nasutog sloja u graduiranom cilindru, a služi za određivanje veličine spremnika dostatnog za određenu masu praha. Male čestice ispunjavaju šupljine između velikih čestica, imaju veću kontaktnu površinu s okolinom i veći homogeni oblik što dovodi do popunjavanja pora i povećavanja nasipne gustoće. Osim malih čestica nasipnu gustoću povećavaju i plosnatije čestice u odnosu na okrugle i nepravilne oblike čestica (Lv i sur., 2014; Vardin i Yasar, 2012).

Higroskopnost je parametar pomoću kojeg se predviđaju promjene i stabilnost tijekom skladištenja praha (Bednarska i Janiszewska-Turak, 2020). Sušenjem pri niskim temperaturama manja je higroskopnost što se objašnjava tako da prah proizveden pri nižim temperaturama ima viši udio vlage i niži koncentracijski gradijent između praha i atmosfere pa je i količina adsorbirane vlage manja (Fernandes i sur., 2014).

## **2.5. AMBALAŽNI MATERIJALI ZA PAKIRANJE PRAHOVA**

Zbog svoje značajne aktivne površine prahovi su supstrati osjetljivi na vlagu i oksidaciju tijekom skladištenja. Kako bi se kvaliteta i stabilnost prahova očuvale tijekom skladištenja nužno je pakirati ih u prikladnu ambalažu koja će ih zaštititi od utjecaja kisika, vlage, svjetla ili gubitka arome. Barijerne osobine ambalaže imaju velik utjecaj na očuvanje ukupne kvalitete, očuvanje biološki aktivnih sastojaka i nutritivnih svojstava upakiranih prahova, osobito za sprječavanje neenzimskih procesa degradacije i mikrobiološkog kvarenja (Randelović i sur., 2014; Zorić, 2014).

Za pakiranje praškastih proizvoda uglavnom se upotrebljavaju višeslojne fleksibilne i polukrute ambalaže od polimernih materijala (plastike). Laminati mogu biti dvoslojni, troslojni ili višeslojni te se njihova izrada temelji na principu popunjavanja nedostatka jednog polimernog



materijala pozitivnim svojstvom drugog kako bi se postigla specifična barijerna svojstva (Zorić, 2014). Koriste se uglavnom polietilenski (PE), polipropilenski (PP) i poliamidni (PA) filmovi te aluminijska folija kombinirani u kompaktnu cjelinu kaširanjem i ekstruzijskim laminiranjem. Neki od takvih materijala su: papir/aluminijska folija/polietilen (PAP/AL/PE), papir/poli (etilen-tereftalat)/polietilen (PAP/PET/PE), papir/orijentirani polipropilen/polietilen (PAP/PP-O/PE), poli (etilen-tereftalat)/aluminijska folija/polietilen (PET/AL/PE), aluminijska folija/polietilen/papir (AL/PE/PAP), papir/polietilen/aluminijska folija/polietilen (PAP/PE/AL/PE), poliamid/etilen/vinil-alkohol/polietilen (PA/EVAL/PE), metalizirani poli (etilen-tereftalat)/polietilen (PET<sub>met.</sub>/PE) i metalizirani poliamid/polietilen (PA<sub>met.</sub>/PE). Kombinirana ambalaža je lagana i otporna na molekule plina N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> i pare, mehaničkih utjecaja, mikroorganizama i svjetlosti (Zorić, 2014; Mokwena i Tang, 2012).

Iako mnoge folije mogu biti metalizirane, najčešće se metaliziraju polietilen tereftalat (PET) i polipropilen (PP) čime se značajno poboljšavaju barijerna svojstva i smanjuje se propuštanje vlage (Robertson, 2013). Skladištenje sušene marelice, sušenih listova *Moringa oleifera*, sušenih listova *Orthosiphon aristatus* (Java čaj) pri različitim uvjetima skladištenja u ambalaži PET/AL/PE se pokazalo uspješnim (Klungbookrong i sur., 2018; Potisate i sur., 2015; Randelović i sur., 2014). Slični laminati pokazali su se dobrom zaštitom bioaktivnih sastojaka prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem. Prah višnje Maraske dobiven sušenjem raspršivanjem pakiran je u PET/PP<sub>met</sub>/PE i PET/AL/PE i uspješno skladišten tijekom 6 mjeseci, a prah biljke *Artocarpus heterophyllus* u AL/PE ambalažu tijekom 4 mjeseca (Zorić i sur., 2017; Pua i sur., 2008).

S obzirom da je migracija vlage ograničavajući čimbenik roka trajanja praškastih proizvoda metalizirani filmovi visokih barijernih svojstava pokazali su se kao prikladan izbor za održavanje stabilnosti takvih proizvoda tijekom skladištenja (Henríquez i sur., 2013).

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. MATERIJAL

##### 3.1.1. List koprive

Za potrebe ovog istraživanja korišten je osušeni list koprive *Urticae folium* proizvođača Suban d.o.o. serija 1140, Strmec, Hrvatska. Rok trajanja serije: 30.06.2023. godine. Kopriva je sakupljena u Hrvatskoj, prirodno osušena i nakon sušenja čuvana na tamnom i suhom mjestu. Za usitnjavanje lista koprive korišten je električni mlinac. Usitnjeni list koprive skladišten je u staklenoj posudi do provedbe ekstrakcije.



**Slika 5.** Usitnjeni list koprive (*vlastita fotografija*)

##### 3.1.2. Ambalaža za skladištenje

Za skladištenje inkapsulata korišteni su ambalažni materijali u obliku vrećica izrađenih od višeslojne aluminijske folije laminirane slojevima polietilen tereftalata i polietilena (PET/AL/PE) debljine 12 + 7 + 50  $\mu\text{m}$  te polipropilenska folija dupleks polipropilena i metaliziranog polipropilena (PP/PP<sub>met</sub>) debljine 20 + 20  $\mu\text{m}$ .

### 3.1.3. Kemikalije

- maltodekstrin DE 13-17 (Sigma Aldrich, SAD)
- arapska guma (Acros Organics, Belgija)
- kvarcni pijesak, sitno zrnati (GRAM-MOL d.o.o., Hrvatska)
- zasićena otopina NaCl

*Priprema:* 36 g NaCl (Carlo Erba Reagents, Španjolska) odvažuje se u staklenoj čaši i otopi sa 150 mL destilirane vode.

- destilirana voda

### 3.1.4. Aparatura

- analitička vaga (Adventurer™, Ohaus, SAD)
- električni mlinac (Gruding CM3260, Njemačka)
- ultrazvučna kupelj (DT 512 H, Bandelin Electronic, Njemačka)
- centrifuga (ROTOFIX 32, Hettich Zentrifugen, Njemačka)
- magnetska miješalica (HSC Ceramic Hot Top-Plate Stirrer, Italija)
- uređaj za sušenje raspršivanjem (Büchi Mini Spray Dryer B-290, Švicarska)
- laboratorijski sušionik (Instrumentaria ST – 01/02, Hrvatska)
- vortex miješalica (MS2 Minishaker, IKA, SAD)
- vodena kupelj rotavapora (Heating Bath B-490, Büchi, Švicarska)

### 3.1.5. Pribor

- aluminijski lončići
- stakleni štapići
- menzura volumena 10 mL
- metalna špatula
- metalna žlica
- laboratorijske čaše volumena 50, 200 i 1000 mL
- pipeta od 10 mL
- Falcon kivete volumena 15 mL

- filter papir
- staničevina
- plastične lađice za vaganje
- lijevak
- Büchnerov lijevak
- Petrijeve zdjelice

## 3.2. METODE

### 3.2.1. Priprema ekstrakta

Na analitičkoj vagi odvagano je 50 g usitnjenog lista koprive te pomiješano sa 700 mL destilirane vode pomoću staklenog štapića. Ekstrakcija je provedena uz pomoć ultrazvučne kupelji u trajanju od 15 min pri temperaturi od 60 °C, a dobiveni ekstrakti su centrifugirani 10 min pri 5000 o/min. Supernatanti su dodatno profiltrirani uz primjenu filter papira veličine pora 0,45 µm te uz upotrebu Büchnerovog lijevka nakon čega su sakupljeni u plastičnu bocu s čepom do ukupnog volumena od 7,2 L potrebnog za inkapsulaciju. Do provođenja postupka inkapsulacije ekstrakt je hermetički zatvoren i skladišten u hladnjaku pri temperaturi oko 4 °C.

### 3.2.2. Proizvodnja prahova koprive iz ekstrakta sušenjem raspršivanjem

Prahovi ekstrakta koprive proizvedeni su pomoću laboratorijskog uređaja za sušenje raspršivanjem Büchi Mini Spray Dryer B-290. Specifikacije uređaja za raspršivanje navedene su u tablici 2.

**Tablica 2.** Specifikacije uređaja Büchi Mini Spray Dryer B-290 (prema BÜCHI, 2022)

<b>Potrošnja energije</b>	max. 2900 W
<b>Napon</b>	200 - 230 V ± 10 %
<b>Frekvencija</b>	50/60 Hz
<b>Kapacitet sušenja</b>	1,0 L h <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O, veći za organska otapala
<b>Pumpa</b>	peristaltička
<b>Protok zraka</b>	max. 35 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
<b>Max. temperatura</b>	220 °C
<b>Kapacitet grijača</b>	2300 W
<b>Plin za sušenje</b>	komprimirani zrak ili dušik; 200 - 800 L h <sup>-1</sup> ; 5-8 bar
<b>Promjer mlaznice</b>	0,7 mm
<b>Raspon promjera čestica</b>	1 - 25 μm
<b>Dimenzije</b>	65 x 110 x 70 cm
<b>Težina</b>	46 kg

Konstantni parametri tijekom provedbe sušenja raspršivanjem bili su: temperatura sušenja 120 °C, kapacitet pumpe 15 %, kapacitet aspiratora 80 % i rang 4 za čišćenje mlaznice. Omjer maltodekstrina (MD) i arapske gume (AG) iznosio je 1:1 te je smjesa nosača (MD + AG) bila dodana u 500 mL tekućeg ekstrakta koprive (sadržaja suhe tvari 1,60 %) neposredno prije sušenja raspršivanjem. Omjer suhe tvari nosača i suhe tvari ekstrakta bio je 2:1. Tekući ekstrakt sa smjesom nosača je zatim homogeniziran na magnetnoj miješalici pri temperaturi od 50 °C dok se nosači nisu potpuno otopili. Tijekom sušenja raspršivanjem tekući ekstrakt s nosačem bio je postavljen na magnetnu miješalicu i temperaturu od 50 °C do kraja provedbe dobivanja praha. Uređaj Büchi Mini Spray Dryer B-290 sa postavljenim parametrima i uzorkom spremnim za sušenje raspršivanjem prikazan je na slici 6.

Prema prethodno definiranim optimalnim uvjetima sušenja raspršivanjem, pri temperaturi 120 °C te omjeru smjese nosača (MD + GA) i suhe tvari ekstrakta koprive 2:1, proizveden je prah ekstrakta koprive u 11 serija ukupne mase 198,4 grama.



**Slika 6.** Laboratorijski uređaj za sušenje raspršivanjem Büchi Mini Spray Dryer B-290, Švicarska (*vlastita fotografija*)

### 3.2.3. Fizikalne analize prahova koprive

#### 3.2.3.1. *Udio suhe tvari*

Suha tvar (%) prahova ekstrakta lista koprive određuje se sušenjem u sušioniku pri 105 °C do konstantne mase (AOAC, 1984).

U osušenu i izvaganu aluminijsku posudicu sa staklenim štapićem i poklopcem stavi se oko 1 g kvarcnog pijeska te se suši u sušioniku tijekom 2 h bez poklopca pri temperaturi od 105 °C. Nakon sušenja zatvori se poklopcem te se hladi u eksikatoru i važe s točnošću od  $\pm 0,0002$  g. U ohlađenu i izvaganu aluminijsku posudicu s pijeskom odvažuje se 1 g inkapsulata koprive s točnošću od  $\pm 0,0002$  g i dobro izmiješa staklenim štapićem. Nakon što se posudica s pijeskom i ispitivanim prahom koprive izvažuje stavi se u laboratorijski sušionik na 105 °C te se zagrijava 1 h sa skinutim poklopcem. Nakon hlađenja u eksikatoru i vaganja sušenje se nastavi toliko dugo dok razlika između dva uzastopna sušenja (svakih 30 min) ne bude manja od 0,001 g, odnosno

do konstantne mase. Aluminijska posudica se na kraju važe s točnošću  $\pm 0,0002$  g.

Udio suhe tvari (%) izračuna se prema formuli [1]:

$$\text{udio suhe tvari (\%)} = \left( \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \right) \cdot 100 \quad [1]$$

gdje je:

$m_0$  – masa posudice, pijeska, štapića i poklopca (g),

$m_1$  – masa posudice s ispitivanim inkapsulatom prije sušenja (g),

$m_2$  – masa posudice s ostatkom nakon sušenja (g).

### 3.2.3.2. Topljivost

Topljivost praha određuje se prema dijelom modificiranoj metodi Andersona i sur. (1969). Analiza topljivosti provodi se tako da se 1 g praha otopi u 10 mL destilirane vode u Falcon epruveti i homogenizira na Vortex mješalici tijekom 1 min. Termostatira se u vodenoj kupelji 30 min pri 37 °C te se zatim centrifugira 20 min pri 5500 o/min. Dobiveni supernatant dekantira se u aluminijsku posudicu s pijeskom, štapićem i poklopcem, prethodno osušenu u sušioniku n pri 105 °C, ohlađenu u eksikatoru, nakon čega se suši do konstantne mase u sušioniku pri 105 °C te se nakon toga izvaže s točnošću  $\pm 0,0002$  g.

Topljivost (%) se izračuna se prema formuli [2]:

$$\text{toplјivost (\%)} = \frac{m_s}{m_p} \cdot 100 \quad [2]$$

gdje je:

$m_s$  – masa ostatka dobivenog sušenjem supernatanta do konstantne mase (g),

$m_p$  – masa izvaganog praha za analizu (g).

### 3.2.3.3. Higroskopnost

Prema metodi koju su opisali Tonon i sur. (2008) higroskopnost prahova određuje se tako da se 1 g praha odvaže u otvorenu posudicu (Petrijevu zdjelicu) koja se stavi u eksikator zajedno sa zasićenom otopinom NaCl. Zasićena otopina NaCl pripremi se tako da se na

analitičkoj vagi izvaže 36 g NaCl i potpuno otopi u laboratorijskoj čaši sa 150 mL destilirane vode. Posudica s prahom stoji u eksikatoru 7 dana pri temperaturi od 25 °C i vlažnosti zraka 75,29 %. Posudica s uzorkom se važe prije stavljanja u eksikator te se ponovno izvaže nakon 7 dana.

Higroskopnost se tako izrazi kao količina adsorbirane vlage na 100 g praha prema formuli [3]:

$$\text{higroskopnost} \left[ \frac{g}{100 g} \right] = \left( \frac{m_7 - m_0}{m_0} \right) \cdot 100 \quad [3]$$

gdje je:

$m_7$  – masa izvaganog praha nakon 7 dana (g),

$m_0$  – masa izvaganog praha prije stavljanja u eksikator (g).

#### 3.2.3.4. Nasipna gustoća

Nasipna gustoća prahova ispituje se prema djelomično modificiranoj metodi Beristeina i sur. (2001). Odvaže se 1 g praha lista koprive u graduirani cilindar postavljen na vortex miješalicu kroz 1 min kako bi se čestice praha ravnomjerno rasporedile. Potom se cilindar stavi na čvrstu i ravnu podlogu te se očita volumen praha.

Nasipna gustoća predstavlja omjer mase i volumena praha, a izračunava se prema formuli [4]:

$$\rho_n \left( \frac{g}{mL} \right) = \frac{m}{V} \quad [4]$$

gdje je:

$m$  – masa izvaganog praha (g),

$V$  – očitani volumen praha u graduiranom cilindru (mL).



### 3.3. SKLADIŠTENJE INKAPSULATA

Inkapsulirani prah koprive pakira se i hermetički zatvori u vrećice i skladišti na suhom i tamnom mjestu pri sobnoj temperaturi (oko 25 °C) i temperaturi hladnjaka (oko 4 °C). Za potrebe daljnjih analiza pakirane su 24 vrećice praha koprive u ambalažu PET/AL/PE i 24 vrećice praha koprive u ambalažu PP/PP<sub>met</sub>. Plan skladištenja i analiziranja praha prikazan je u tablici 3.

**Tablica 3.** Plan skladištenja i analiziranja praha

Temperaturni uvjeti skladištenja [°C]	Ambalaža	Broj uzoraka za analizu					
		1. mjesec	2. mjesec	3. mjesec	4. mjesec	5. mjesec	6. mjesec
25	PET/AL/PE	2	2	2	2	2	2
	PP/PP <sub>met</sub>	2	2	2	2	2	2
4	PET/AL/PE	2	2	2	2	2	2
	PP/PP <sub>met</sub>	2	2	2	2	2	2

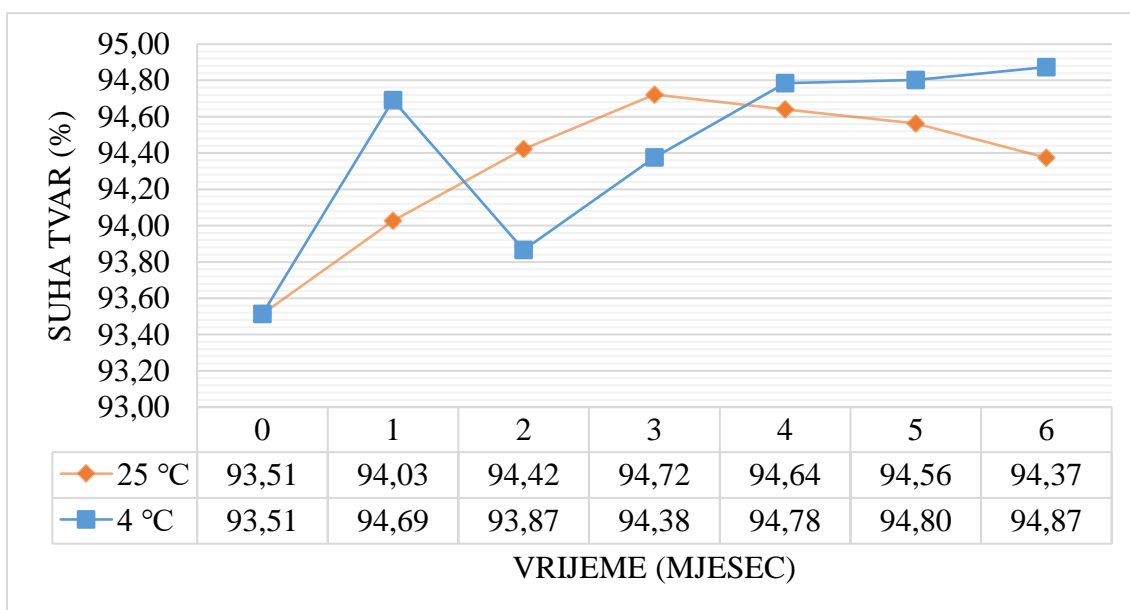
### 3.4. OBRADA PODATAKA

Za eksperimentalni dizajn pokusa i statističku obradu podataka korišten je programski sustav Statistica 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, SAD). Eksperimentalni dizajn korišten u ovom radu je puni faktorijski dizajn s 1 faktorom na 6 razina i 2 faktora na dvije razine. Ispitan je utjecaj vremena skladištenja (mjesec), temperature skladištenja i vrste ambalaže na fizikalne parametre dobivenog praha. Za usporedbu dobivenih uzoraka korištena je analiza varijance (ANOVA) i post-hoc Tukey test na 95 %-tnoj razini vjerojatnosti.

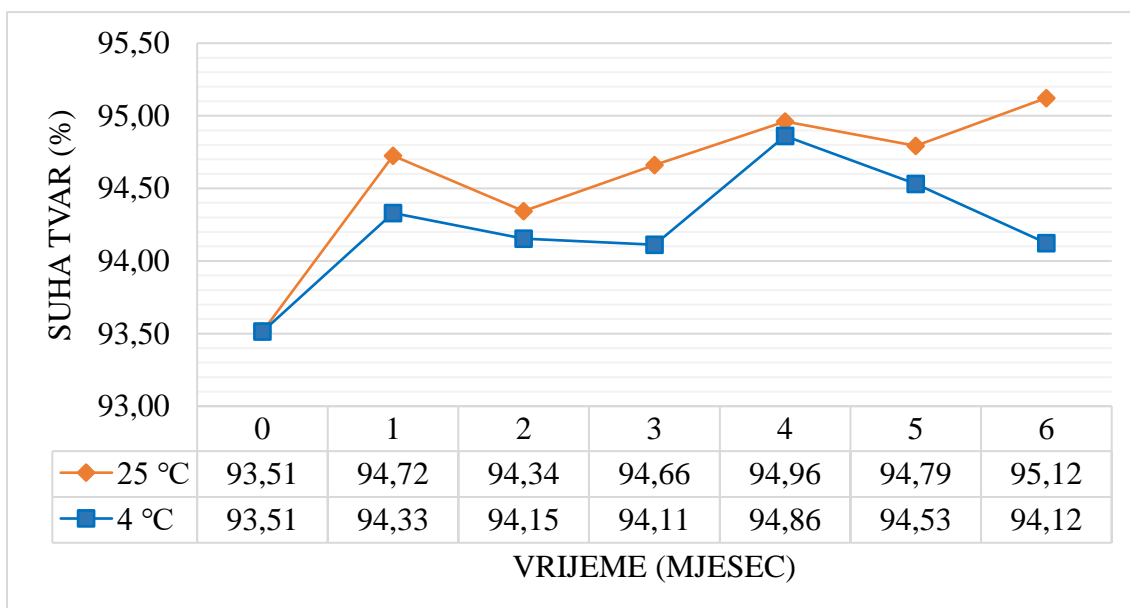
## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Primjenom sušenja raspršivanjem ekstrakta listova koprive proizveden je inkapsulat koprive pri temperaturi od 120 °C i udjelu smjese nosača (MD + GA, 50:50) i suhe tvari 2:1 te je pakiran u PET/AL/PE i PP/PP<sub>met</sub> laminirane folije. Određivani fizikalni parametri dobivenog inkapsulata su: udio suhe tvari, topljivost, higroskopnost i nasipna gustoća čestica praha. Dobiveni rezultati daju uvid u potencijal primjene inkapsuliranog praha koprive s obzirom na mogućnost skladištenja i očuvanja stabilnosti fizikalnih svojstava. Rezultati su prikazani grafički i tablično.

#### 4.1. UDIO SUHE TVARI PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA



**Slika 7.** Udio suhe tvari (%) inkapsuliranog praha koprive pakiranog u PET/AL/PE ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C



**Slika 8.** Udio suhe tvari (%) inkapsuliranog praha koprive pakiranog u PP/PP<sub>met</sub> ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C

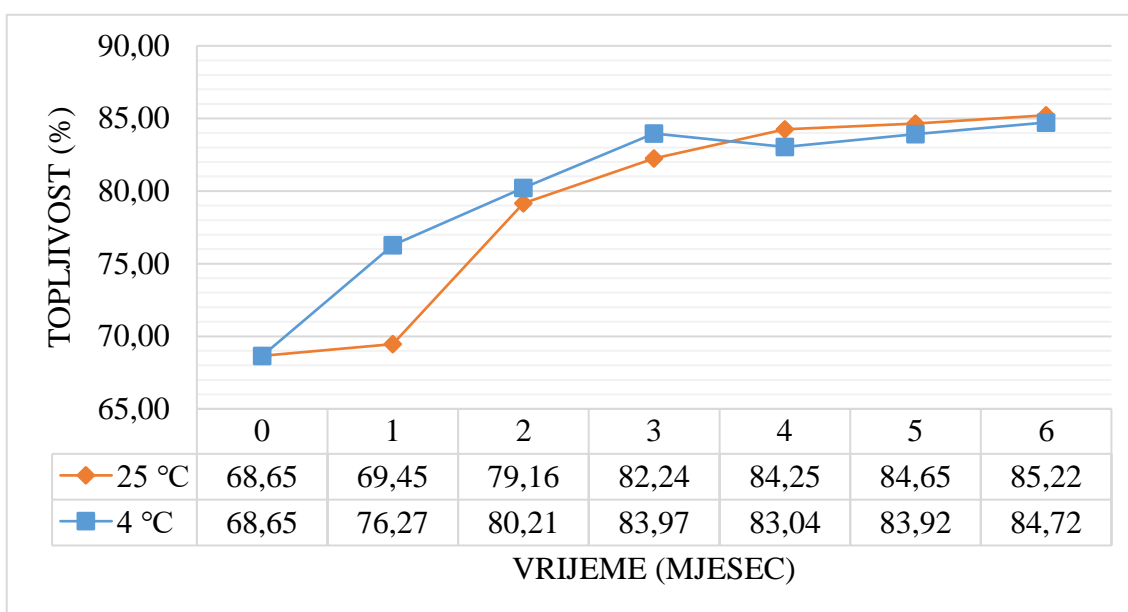
Udio suhe tvari inkapsuliranog praha ekstrakta lista koprive kroz 6 mjeseci u PET/AL/PE ambalaži iznosio je od 93,51 % do 94,87 %, dok je u prahu ekstrakta lista koprive pakiranog u

PP/PP<sub>met</sub> ambalažu udio suhe tvari iznosio od 93,51 % do 95,12 % što je vidljivo iz prikaza podataka na slikama 7 i 8. Najniža vrijednost suhe tvari od 93,51 % određena je u početnom uzorku prije skladištenja, dok je najviša vrijednost suhe tvari od 95,12 % bila određena za prah skladišten u PP/PP<sub>met</sub> ambalaži 6 mjeseci pri 25 °C. Blagi porast udjela suhe tvari u skladištenim prahovima koprive slaže se s istraživanjem Muzaffar i Kumar (2016) koji su skladištili prah pulpe tamarinda i pokazali kako povećavanjem temperature skladištenja smanjuje ravnotežni udio vlage pri stalnoj aktivnosti vode što objašnjava i nešto veće vrijednosti suhe tvari praha skladištenog pri 25 °C. Ovakvi rezultati mogu biti posljedica smanjenja ukupnog broja aktivnih mjesta za vezanje vode kao rezultat fizikalnih i/ili kemijskih promjena praha uzrokovanih temperaturom (Muzaffar i Kumar, 2016).

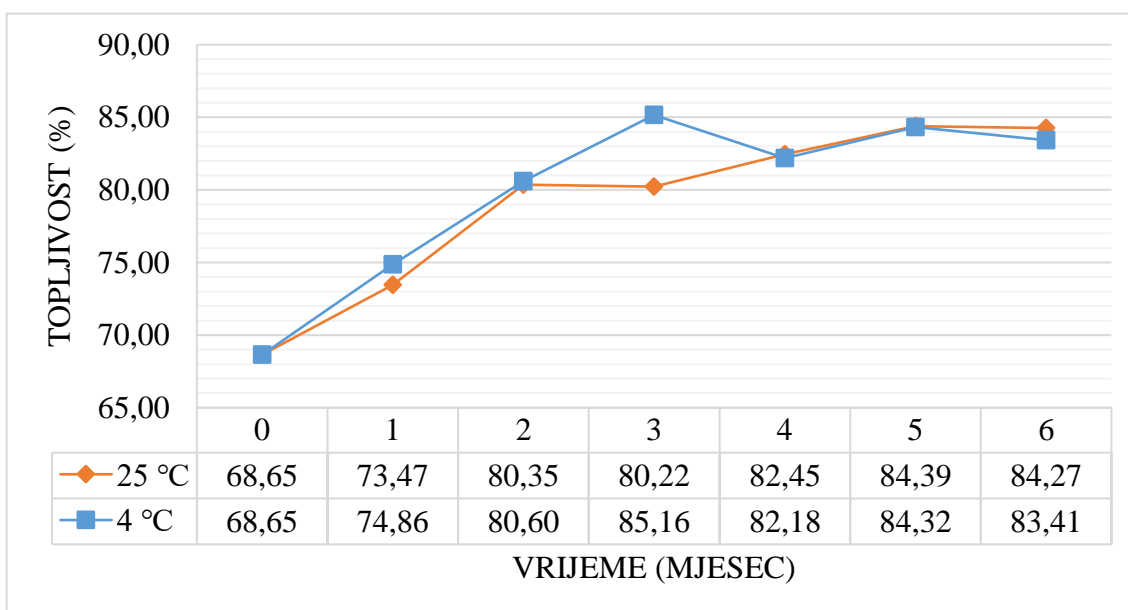
Višeslojnost i metaliziranost laminata u koje je prah pakiran pružaju dobru zaštitu od propusnosti na vlagu što objašnjava dobivene rezultate (Robertson, 2013). Slične rezultate udjela suhe tvari u prahu koprive dobivenom sušenjem raspršivanjem pri različitim temperaturama i različitim omjerima nosača i suhe tvari u vrijednosti od 92,77 do 98,30 % u svom istraživanju prikazala je Mikulić (2021). Tijekom skladištenja prahova drugih biljaka uglavnom je zabilježeno sniženje udjela suhe tvari odnosno povećanje udjela vode tijekom vremena, ali je i dalje udio vode iznosio < 10 % što se smatra niskim udjelom vode u skladištenim prahovima (Luo i sur.,2020). U istraživanju Tan i sur. (2020) tijekom 6 mjeseci skladištenja praha dinje dobivenog sušenjem raspršivanjem na dvije temperature zabilježen je porast udjela vlage s 5,05 – 6,19 %. Slični rezultati zabilježeni su u istraživanju Breda i sur. (2012) koji su istraživali stabilnost skladištenja praha pulpe *Campomanesia adamantium*.

U analiziranim prahovima samo jedan prah je imao vrijednost udjela suhe tvari veću od 95 %, a prema Şahin - Nadeem (2013) udio suhe tvari proizvedenih prahova bi trebao biti veći od 95 % kako bi oni mogli biti stabilni i koristiti se u tehnološke svrhe. S obzirom da su razlike u udjelu suhe tvari tijekom skladištenja 6 mjeseci minimalne, a raspon udjela suhe tvari dobivenih i skladištenih prahova (93,51 – 95,12 %) je iznad praga koji se može tolerirati za dugotrajno skladištenje pri sobnoj temperaturi (iznad 90 %), može se zaključiti da je prah ekstrakta lista koprive dobiven sušenjem raspršivanjem stabilan duži vremenski period.

## 4.2. TOPLJIVOST PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA



**Slika 9.** Topljivost (%) inkapsuliranog praha koprive pakiranog u PET/AL/PE ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C



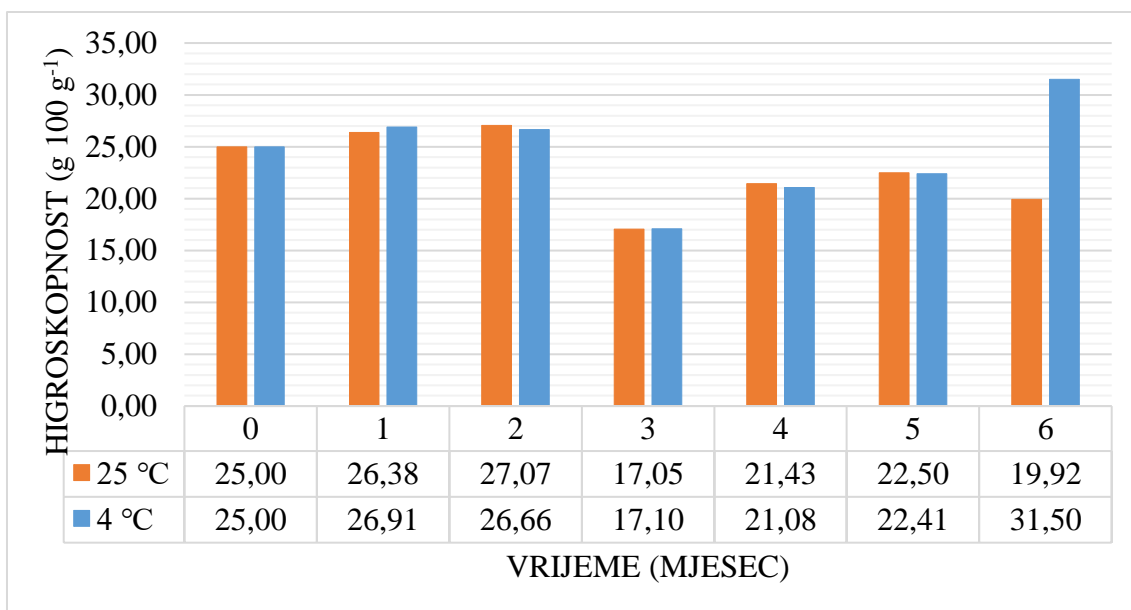
**Slika 10.** Topljivost (%) inkapsuliranog praha koprive pakiranog u PP/PP<sub>met</sub> ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C

Topljivost je jedan od općih kriterija za određivanje kvalitete rekonstrukcije praha te je važno da ona bude brza i potpuna (Jafari i sur., 2017). Topljivost prahova utječe na dostupnost

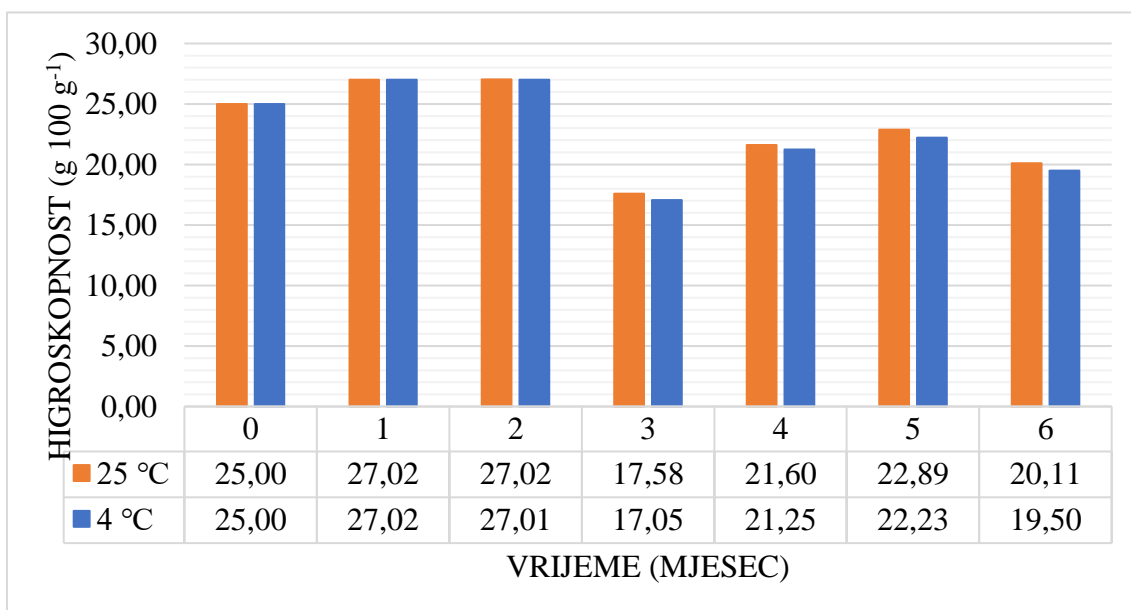
inkapsuliranih komponenti kada se prah ukomponira na hranu. Slabija topljivost može uzrokovati poteškoće pri daljnjoj preradi praha (Daza i sur., 2016).

Prema slikama 9 i 10 topljivost inkapsuliranog praha koprive s vremenom skladištenja je rasla te je najviša dobivena vrijednost topljivosti određena u prahu skladištenom pri 25 °C u PET/AL/PE ambalaži (85,22 %). Najniža određena topljivost bila je u početnom prahu prije skladištenja te je iznosila 68,65 %. Dobivene vrijednosti topljivosti slažu se s rezultatima istraživanja fizikalno – kemijskih svojstava inkapsulata ekstrakta lista koprive gdje je pri omjeru ekstrakta i nosača 1:2 i pri temperaturi sušenja od 120 °C topljivost iznosila 84,63 % (Mikulić, 2021). Vrijednosti topljivosti pokazuju da su dobiveni prahovi i nakon dužeg vremena skladištenja dobro topljivi, a s obzirom da su za proizvodnju prahova korišteni visoko topljivi nosači ovakvi rezultati su i očekivani.

### 4.3. HIGROSKOPNOST PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA



**Slika 11.** Higroskopnost ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) inkapsuliranog praha pakiranog u PET/AL/PE ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C



**Slika 12.** Higroskopnost ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) inkapsuliranog praha koprive pakiranog u PP/PP<sub>met</sub> ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C

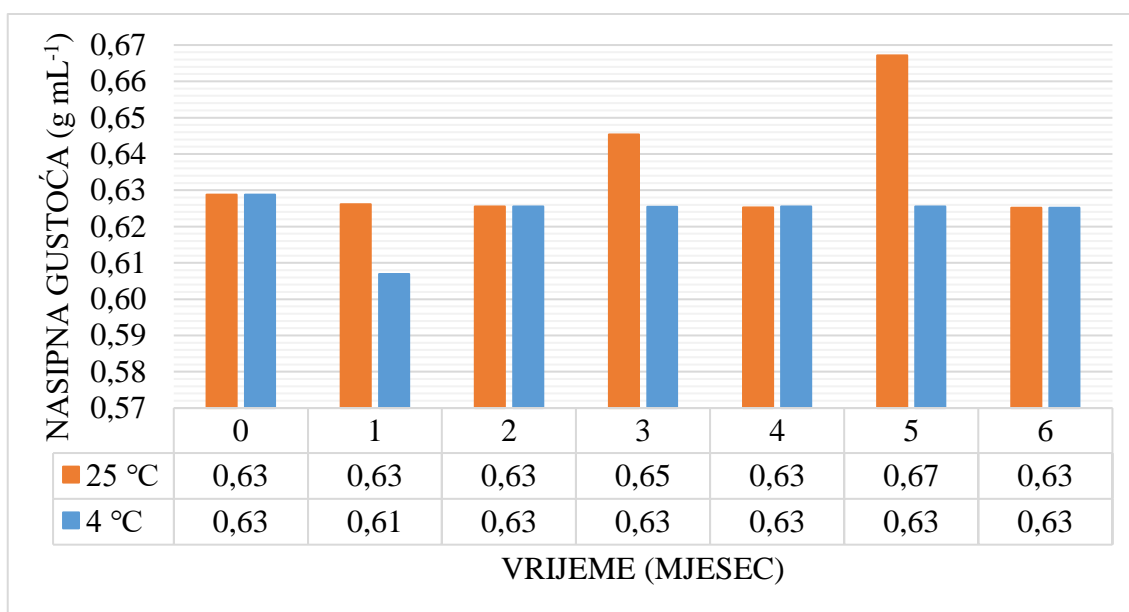
Najnižu vrijednost higroskopnosti od  $17,05 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  pokazao je prah nakon 3 mjeseca skladištenja, dok je najveću higroskopnost od  $31,50 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  imao prah nakon 6 mjeseci

skladištenja. Iz grafičkog prikaza na slikama 11 i 12 vide se neujednačene vrijednosti higroskopnosti za prahove skladištene u obje ambalaže i na obje temperature. Tijekom prva dva mjeseca skladištenja zabilježen je porast higroskopnosti što se može usporediti s rezultatima Suhag i Nanda (2017) koji su zabilježili linearan porast higroskopnosti praha meda dobivenog sušenjem raspršivanjem tijekom vremena skladištenja. U analiziranim uzorcima nema konstantnog porasta niti smanjivanja vrijednosti tijekom 6 mjeseci skladištenja zbog čega je teško usporediti rezultate s drugim istraživanjima stabilnosti biljnih prahova tijekom skladištenja, gdje je uglavnom zabilježeno smanjivanje higroskopnosti tijekom vremena. U istraživanju Tan i sur. (2020) početna vrijednost higroskopnosti praha dinje dobivenog sušenjem raspršivanjem je bila  $21,89 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  te se vremenom smanjivala do vrijednosti  $21,42 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  i  $18,86 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  tijekom skladištenja 6 mjeseci u ambijentalnim ( $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) i uvjetima ubrzanog kvarenja ( $38 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

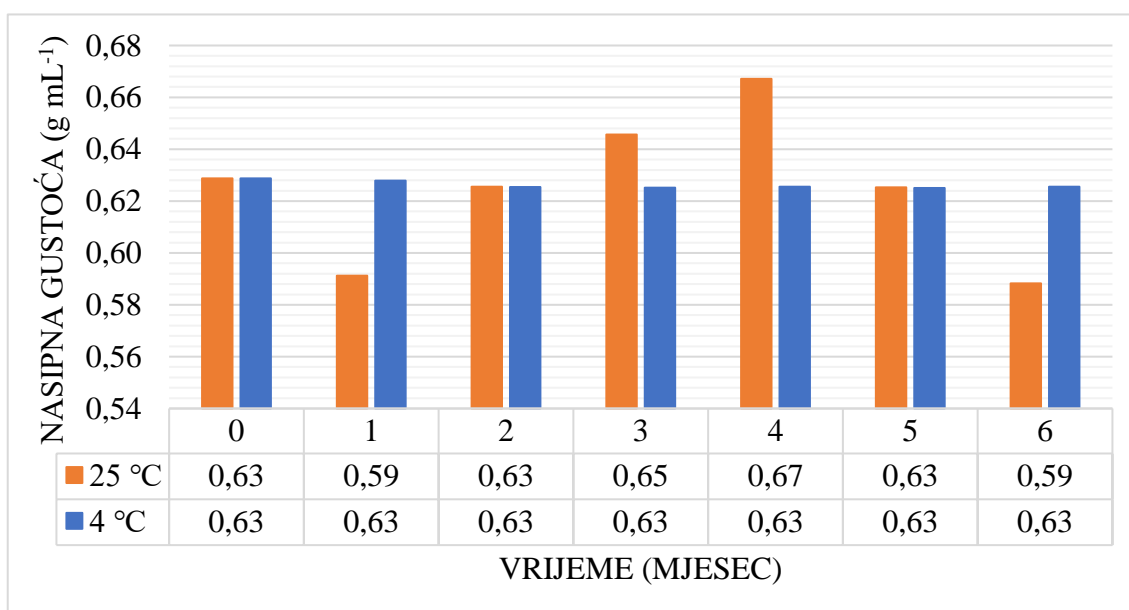
Vrijednosti skladištenih prahova analiziranih za svaki mjesec skladištenja pri obje temperature i u obje ambalaže su slične, s iznimkom za prah skladišten 6 mjeseci pri temperaturi hladnjaka ( $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ) u PET/AL/PE ambalažu što se može objasniti time da ambalaža tijekom skladištenja nije bila pravilno hermetički zatvorena što je uzrokovalo značajno veću vrijednost higroskopnosti praha.



#### 4.4. NASIPNA GUSTOĆA PRAHA KOPRIVE TIJEKOM SKLADIŠTENJA



**Slika 13.** Nasipna gustoća ( $\text{g mL}^{-1}$ ) inkapsuliranog praha koprive pakiranog u PET/AL/PE ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C



**Slika 14.** Nasipna gustoća ( $\text{g mL}^{-1}$ ) inkapsuliranog praha koprive pakiranog u PP/PP<sub>met</sub> ambalažu tijekom 6 mjeseci skladištenja pri 25 i 4 °C

Zbog funkcionalnih i ekonomskih razloga nasipna gustoća je važno svojstvo proizvoda u prahu. Poželjno je da nasipna gustoća bude visoka kako bi se smanjila veličina volumena za određenu masu, a time i veličinu pakiranja čime se olakšava skladištenje i transport prahova. Manja nasipna gustoća utječe na druga svojstva prahova kao što su protočnost ili instantna topljivost (Barbosa - Cánovas i Juliano, 2005).

Nasipna gustoća praha ekstrakta lista koprive u početnom prahu prije skladištenja iznosila je  $0,63 \text{ g mL}^{-1}$ . Određivane vrijednosti nasipne gustoće (slike 14 i 15) kretale su se između  $0,59$  i  $0,67 \text{ g mL}^{-1}$  pri čemu je najniža vrijednost nasipne gustoće praha zabilježena u uzorku skladištenom pri  $25 \text{ °C}$  nakon 1 i 6 mjeseci skladištenja, a najviša zabilježena vrijednost nasipne gustoće u uzorcima skladištenim pri  $25 \text{ °C}$  nakon 4 i 5 mjeseci skladištenja. Nasipna gustoća uzoraka tijekom vremena nije se značajnije mijenjala te ako se uspoređi s drugim prahovima može se zaključiti da je nasipna gustoća praha ekstrakta lista koprive visoka. Nasipna gustoća praha ekstrakta lista zelenog čaja dobivenog sušenjem raspršivanjem pri istim omjerima MD i GA iznosila je od  $0,22 - 0,28 \text{ g mL}^{-1}$  (Zokti i sur., 2016), a nasipna gustoća prahova Nipa palminog octa varirala je od  $0,43 - 0,48 \text{ g mL}^{-1}$  (Palachum i sur., 2022). Vrijednost nasipne gustoće prahova uvelike ovisi i o načinu i uvjetima dobivanja praha. Viša temperatura sušenja smanjuje nasipnu gustoću, dok je veći dodatak nosača (od 40 %) povećava (Elez Garofulić i sur., 2016). Nallan Chakravartula i sur. (2021) su izvijestili da je vrijednost nasipne gustoće prahova dobivenih različitom pripremom uzorka i različitim metodama sušenja iznosila od  $0,18 - 0,42 \text{ g mL}^{-1}$  što se uvelike razlikuje od prikazanih rezultata.

#### **4.5. UTJECAJ AMBALAŽE, VREMENA I TEMPERATURE SKLADIŠTENJA NA ISPITIVANE PARAMETRE**

**Tablica 4.** Utjecaj vremena (mjeseci), temperature i ambalaže te njihovih kombinacija na udio suhe tvari, topljivost, higroskopnost i nasipnu gustoću praha ekstrakta lista koprive

	N	Udio suhe tvari (%)	Topljivost (%)	Higroskopnost (g 100 g <sup>-1</sup> )	Nasipna gustoća (g mL <sup>-1</sup> )
<b>Mjesec</b>		p = 0,07	p < 0,01	p < 0,01	p = 0,02
1	8	94,44 ± 0,14 <sup>a</sup>	73,51 ± 0,16 <sup>a</sup>	26,83 ± 0,14 <sup>d</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>a</sup>
2	8	94,20 ± 0,14 <sup>a</sup>	80,08 ± 0,16 <sup>b</sup>	26,94 ± 0,14 <sup>d</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
3	8	94,47 ± 0,14 <sup>a</sup>	82,90 ± 0,16 <sup>c</sup>	17,20 ± 0,14 <sup>a</sup>	0,64 ± 0,01 <sup>a</sup>
4	8	94,81 ± 0,14 <sup>a</sup>	82,90 ± 0,16 <sup>c</sup>	21,34 ± 0,14 <sup>b</sup>	0,64 ± 0,01 <sup>a</sup>
5	8	94,67 ± 0,14 <sup>a</sup>	84,32 ± 0,16 <sup>d</sup>	22,51 ± 0,14 <sup>c</sup>	0,64 ± 0,01 <sup>a</sup>
6	8	94,62 ± 0,14 <sup>a</sup>	84,40 ± 0,16 <sup>d</sup>	22,76 ± 0,14 <sup>c</sup>	0,62 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Temp. skladištenja</b>		p = 0,19	p < 0,01	p < 0,01	p = 0,22
25 °C	24	94,61 ± 0,08 <sup>a</sup>	80,84 ± 0,09 <sup>a</sup>	22,54 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,63 ± 0,00 <sup>a</sup>
4 °C	24	94,46 ± 0,08 <sup>a</sup>	81,89 ± 0,09 <sup>b</sup>	23,31 ± 0,08 <sup>b</sup>	0,62 ± 0,00 <sup>a</sup>
<b>Ambalaža</b>		p = 0,68	p = 0,37	p < 0,01	p = 0,36
PET/AL/PE	24	94,51 ± 0,08 <sup>a</sup>	81,43 ± 0,09 <sup>a</sup>	23,33 ± 0,08 <sup>b</sup>	0,63 ± 0,00 <sup>a</sup>
PP/PP <sub>met</sub>	24	94,56 ± 0,08 <sup>a</sup>	81,31 ± 0,09 <sup>a</sup>	22,52 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,62 ± 0,00 <sup>a</sup>
<b>Mjesec x Temp. skladištenja</b>		p = 0,65	p < 0,01	p < 0,01	p = 0,07
1 x 25 °C	4	94,37 ± 0,19 <sup>a</sup>	71,46 ± 0,22 <sup>a</sup>	26,70 ± 0,20 <sup>g</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>a</sup>
1 x 4 °C	4	94,51 ± 0,19 <sup>a</sup>	75,56 ± 0,22 <sup>b</sup>	26,97 ± 0,20 <sup>g</sup>	0,62 ± 0,01 <sup>a</sup>
2 x 25 °C	4	94,38 ± 0,19 <sup>a</sup>	79,75 ± 0,22 <sup>c</sup>	27,05 ± 0,20 <sup>g</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
2 x 4 °C	4	94,01 ± 0,19 <sup>a</sup>	80,40 ± 0,22 <sup>cd</sup>	26,83 ± 0,20 <sup>g</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
3 x 25 °C	4	94,69 ± 0,19 <sup>a</sup>	81,23 ± 0,22 <sup>d</sup>	17,32 ± 0,20 <sup>a</sup>	0,65 ± 0,01 <sup>a</sup>
3 x 4 °C	4	94,24 ± 0,19 <sup>a</sup>	84,56 ± 0,22 <sup>g</sup>	17,07 ± 0,20 <sup>a</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
4 x 25 °C	4	94,80 ± 0,19 <sup>a</sup>	83,35 ± 0,22 <sup>ef</sup>	21,52 ± 0,20 <sup>cd</sup>	0,65 ± 0,01 <sup>a</sup>
4 x 4 °C	4	94,82 ± 0,19 <sup>a</sup>	82,61 ± 0,22 <sup>e</sup>	21,16 ± 0,20 <sup>c</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
5 x 25 °C	4	94,68 ± 0,19 <sup>a</sup>	84,52 ± 0,22 <sup>g</sup>	22,70 ± 0,20 <sup>e</sup>	0,65 ± 0,01 <sup>a</sup>
5 x 4 °C	4	94,67 ± 0,19 <sup>a</sup>	84,12 ± 0,22 <sup>fg</sup>	22,32 ± 0,20 <sup>de</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
6 x 25 °C	4	94,75 ± 0,19 <sup>a</sup>	84,74 ± 0,22 <sup>g</sup>	20,01 ± 0,20 <sup>b</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>a</sup>
6 x 4 °C	4	94,50 ± 0,19 <sup>a</sup>	84,07 ± 0,22 <sup>fg</sup>	25,05 ± 0,20 <sup>f</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Mjesec x Ambalaža</b>		p = 0,94	p < 0,01	p < 0,01	p = 0,14
1 x PET/AL/PE	4	94,36 ± 0,20 <sup>a</sup>	72,86 ± 0,22 <sup>a</sup>	26,64 ± 0,20 <sup>ef</sup>	0,62 ± 0,01 <sup>a</sup>
1 x PP/PP <sub>met</sub>	4	94,53 ± 0,20 <sup>a</sup>	74,16 ± 0,22 <sup>b</sup>	27,02 ± 0,20 <sup>f</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>a</sup>
2 x PET/AL/PE	4	94,14 ± 0,20 <sup>a</sup>	79,69 ± 0,22 <sup>c</sup>	26,86 ± 0,20 <sup>f</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
2 x PP/PP <sub>met</sub>	4	94,25 ± 0,20 <sup>a</sup>	80,47 ± 0,22 <sup>c</sup>	27,01 ± 0,20 <sup>f</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
3 x PET/AL/PE	4	94,55 ± 0,20 <sup>a</sup>	83,10 ± 0,22 <sup>def</sup>	17,08 ± 0,20 <sup>a</sup>	0,64 ± 0,01 <sup>a</sup>
3 x PP/PP <sub>met</sub>	4	94,39 ± 0,20 <sup>a</sup>	82,69 ± 0,22 <sup>de</sup>	17,32 ± 0,20 <sup>a</sup>	0,64 ± 0,01 <sup>a</sup>
4 x PET/AL/PE	4	94,71 ± 0,20 <sup>a</sup>	83,64 ± 0,22 <sup>efg</sup>	21,26 ± 0,20 <sup>c</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
4 x PP/PP <sub>met</sub>	4	94,91 ± 0,20 <sup>a</sup>	82,31 ± 0,22 <sup>d</sup>	21,42 ± 0,20 <sup>c</sup>	0,65 ± 0,01 <sup>a</sup>
5 x PET/AL/PE	4	94,68 ± 0,20 <sup>a</sup>	84,29 ± 0,22 <sup>gh</sup>	22,46 ± 0,20 <sup>d</sup>	0,65 ± 0,01 <sup>a</sup>
5 x PP/PP <sub>met</sub>	4	94,66 ± 0,20 <sup>a</sup>	84,36 ± 0,22 <sup>gh</sup>	22,56 ± 0,20 <sup>d</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
6 x PET/AL/PE	4	94,62 ± 0,20 <sup>a</sup>	84,97 ± 0,22 <sup>h</sup>	25,71 ± 0,20 <sup>e</sup>	0,63 ± 0,01 <sup>a</sup>
6 x PP/PP <sub>met</sub>	4	94,62 ± 0,20 <sup>a</sup>	83,84 ± 0,22 <sup>fgh</sup>	19,80 ± 0,20 <sup>b</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Ambalaža x Temp. skladištenja</b>		p = 0,03	p = 0,27	p < 0,01	p = 0,11
PET/AL/PE x 25 °C	12	94,46 ± 0,11 <sup>a</sup>	80,83 ± 0,13 <sup>a</sup>	22,39 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,64 ± 0,00 <sup>a</sup>
PET/AL/PE x 4 °C	12	94,57 ± 0,11 <sup>a</sup>	82,02 ± 0,13 <sup>a</sup>	24,27 ± 0,11 <sup>b</sup>	0,62 ± 0,00 <sup>a</sup>
PP/PP <sub>met</sub> x 25 °C	12	94,76 ± 0,11 <sup>a</sup>	80,86 ± 0,13 <sup>a</sup>	22,70 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,62 ± 0,00 <sup>a</sup>
PP/PP <sub>met</sub> x 4 °C	12	94,35 ± 0,11 <sup>a</sup>	81,76 ± 0,13 <sup>a</sup>	22,34 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,63 ± 0,00 <sup>a</sup>

\*a, b, c, d, e, f, g - različite oznake unutar stupca odnose se na statistički značajne razlike razmatrane na razini 95 %-tnog intervala pouzdanosti

#### 4.5.1. Utjecaj uvjeta skladištenja na udio suhe tvari praha koprive

Utjecaj vremena, temperature i ambalaže skladištenog inkapsulata ekstrakta lista koprive analizirani analizom varijance (tablica 4) nisu se pokazali statistički značajnima na udio suhe tvari praha čime se dolazi do zaključka da je proizvedeni prah bio stabilan tijekom skladištenja. Ostali parametri kao što su kombinacija vremena i temperature skladištenja te vremena i vrste ambalaže, također nisu imali statistički značajan utjecaj na stabilnost praha ekstrakta lista koprive tijekom skladištenja ambalaža, što znači da tijekom skladištenja nije došlo do značajnijeg povećanja udjela vlage koja bi uzrokovala nestabilnost praha.

#### 4.5.2. Utjecaj uvjeta skladištenja na topljivost praha koprive

Analizom varijance (tablica 4) pokazano je da su prahovi skladišteni na nižoj temperaturi imali veću topljivost (81,89 %) u odnosu na prahove skladištene na višoj temperaturi (80,84 %). Liu i sur. (2010) su zabilježili značajne promjene kvalitete praha rajčice pri različitim uvjetima skladištenja. Tijekom 5 mjeseci skladištenja najmanje promjene topljivosti praha rajčice osušenog raspršivanjem bile su pri najnižoj temperaturi (0 °C), dok je pri višim temperaturama skladištenja (25 i 37 °C) zabilježeno značajno veće smanjivanje topljivosti.

Anema i sur. (2006) su uočili da topljivost mlijeka u prahu opada eksponencijalno s temperaturom skladištenja pri čemu se brzina reakcije povećava s porastom temperature što se povezuje s Maillardovim reakcijama posmeđivanja odnosno vezanja reducirajućih šećera na aminokiseline što posljedično dovodi do gubitka topljivosti praha koprive. Druga istraživanja navode da su promjene topljivosti prahova popraćene i promjenama proteina, osobito pri visokim razinama vlage (De Castro – Morel i Harper, 2002). Navedene promjene nisu uočene tijekom skladištenja praha koprive s obzirom na to da se topljivost prahova nije smanjivala nego povećavala.

Utvrđeno je i to da vrsta ambalaže nije značajno utjecala na topljivost prahova (81,43 % za PET/AL/PE i 81,31 % za PP/PP<sub>met</sub>), a ako promatramo trend za kombinaciju utjecaja vremena i ambalaže te vremena i temperature skladištenja (tablica 4) primjećuje se da vrijednost topljivosti tijekom vremena raste. Povećanje topljivosti tijekom vremena skladištenja može se objasniti usavršavanjem izvedbe metode za određivanje topljivosti tijekom vremena što i dalje ne opovrgava to da je topljivost prahova bez obzira na uvjete skladištenja bila visoka te da je proizvedeni prah imao dobra fizikalna svojstva.

#### 4.5.3. Utjecaj uvjeta skladištenja na higroskopnost praha koprive

Analiza varijance (tablica 4) je pokazala značajan utjecaj temperature skladištenja prahova na higroskopnost pri čemu se higroskopnost prahova skladištenih pri sobnoj temperaturi pokazala nižom u usporedbi s prahovima skladištenim na temperaturi hladnjaka. Uočeno je i da je higroskopnost prahova skladištenih u PET/AL/PE ambalažu imala nešto više vrijednosti što može značiti da ima veću propusnost na vlagu od PP/PP<sub>met</sub> ambalaže. Razlika između prikazanih rezultata i onih prijavljenih u drugim istraživanjima mogla bi biti povezana s prirodom proizvoda osušenog raspršivanjem i s uvjetima sušenja raspršivanjem.

#### 4.5.4. Utjecaj uvjeta skladištenja na nasipnu gustoću praha koprive

Značajniji učinak vremena, temperature i ambalaže skladištenja na nasipnu gustoću praha ekstrakta lista koprive nije uočen što je potvrđeno analizom varijance prikazanom u tablici 4. Može se zaključiti da je tijekom skladištenja prahova pri obje temperature i u obje ambalaže nasipna gustoća bila slična što dovodi do zaključka da nije bilo promjena u stabilnosti bioaktivnih sastojaka praha koje bi rezultirale promjenom nasipne gustoće. Kada je nasipna gustoća veća, površina izložena djelovanju zraka, vlage ili drugih utjecaja postaje manja čime se i smanjuje mogućnost degradacije biološki aktivnih sastojaka i povećava stabilnost proizvoda (Zokti i sur., 2016).

# 1. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja, prikazanih rezultata i rasprave može se zaključiti sljedeće:

1. Inkapsulacija ekstrakta lista koprive sušenjem raspršivanjem pokazala se izrazito učinkovitom u proizvodnji praha poželjnih fizikalnih svojstava.
2. Eksperimentalno su određeni najviši udio suhe tvari 95,12 % i topljivost 85,22 %, najniža higroskopnost 17,05 g 100 g<sup>-1</sup> te najveća nasipna gustoća 0,67 g mL<sup>-1</sup>.
3. Prema statističkoj obradi podataka uočen je značajan učinak skladišnih uvjeta na topljivost. Kao bolji uvjet za višu topljivost prahova koprive istaknula se niža temperatura skladištenja (4 °C) i duže vrijeme skladištenja, dok značajan učinak vrste ambalaže nije zabilježen.
4. Za nižu higroskopnost prahova, prema statističkoj obradi podataka, pokazala se boljom PP/PP<sub>met</sub> ambalaža koja je pri obje temperature skladištenja prahova imala niže vrijednosti higroskopnosti.
5. Proizvedeni prah ekstrakta lista koprive pokazao se stabilnim kroz vremenski period od 6 mjeseci pri obje temperature skladištenja (25 i 4 °C), zadržao je visok udio suhe tvari, topljivost i nasipnu gustoću. Suha tvar i nasipna gustoća su imale visoke vrijednosti bez značajnijeg utjecaja vremena, ambalaže ili temperature skladištenja, dok se topljivost prahova povećavala vremenom, čime se potvrđuje da je proizvedeni prah ekstrakta lista koprive dobro inkapsuliran i da ima stabilna fizikalna svojstva tijekom dužeg vremena skladištenja.

## 2. LITERATURA

Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin JR (1969) Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci Today* **14**, 4–11. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>

Anema SG, Pinder DN, Hunter RJ, Hemar Y (2006) Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). *Food Hydrocoll* **20**, 386 – 393. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.03.015>

AOAC (1984) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 14. izd., Washington DC, Association of Official Analytical Chemists.

Asgarpanah J, Mohajerani R (2012) Phytochemistry and pharmacologic properties of *Urtica dioica* L. *J Med Plants Res* **6** (46), 5714-5719. <https://doi.org/10.5897/JMPR12.540>

Ashurst PR (2005) Chemistry and Technology of Soft Drinks and Fruit Juices, 2.izd., Blackwell Publishing, Hereford, UK.

Barbosa - Cánovas GV, Juliano P (2005) Physical and chemical properties of food powders. U: Onwulata C (ured.), Encapsulated and powdered foods, CRC Press, Boca Raton, str. 40 – 66.

Bednarska MA, Janiszewska-Turak E (2020) The influence of spray drying parameters and carrier material on the physico-chemical properties and quality of chokeberry juice powder. *J Food Sci Technol* **57**, 564–577. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04088-8>

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

Bnouham M, Mekhfi H, Legssyer A, Ziyat A (2002) Medicinal plants used in the treatment of diabetes in morocco. *Int J Diabetes Metab* **10**, 33-50. <https://doi.org/10.1159/000497550>

Breda CA, Sanjinez-Argandoña EJ, de A C Correia C (2012) Shelf life of powdered *Campomanesia adamantium* pulp in controlled environments. *Food Chem* **135**(4), 2960 - 2964. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.029>

Brennan JG (2003) Spray Drying. U: Caballero B, Trugo LC, Finglas PM (ured.) Encyclopedia of Food Science and Nutrition, 2. izd. Academic Press, London, str. 1929- 1938.

BÜCHI (2022) B-290 Mini Spray Dryer Operation Manual, Büchi Labortechnik AG, [https://assets.buchi.com/image/upload/v1605800030/pdf/Operation-Manuals/OM\\_093001\\_B-290\\_en.pdf](https://assets.buchi.com/image/upload/v1605800030/pdf/Operation-Manuals/OM_093001_B-290_en.pdf) Pristupljeno 12.8.2022.

BÜCHI (2023) Spray Drying & Encapsulation Solutions, Büchi Labortechnik AG, [https://assets.buchi.com/image/upload/v1629464470/pdf/Brochures/SB\\_11592837\\_Spray\\_Drying\\_Encapsulation\\_en.pdf](https://assets.buchi.com/image/upload/v1629464470/pdf/Brochures/SB_11592837_Spray_Drying_Encapsulation_en.pdf) Pristupljeno 23.3.2023.

Caili F, Haijun T, Quanhong L, Tongyi C, Wenjuan D (2006) Ultrasound assisted extraction of xyloglucan from apple pomace. *Ultrason Sonochem* **13**, 511-516. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2005.09.007>

Carvalho AR, Costa G, Figueirinha A, Liberal J, Prior JAV, Lopes MC, i sur. (2017) *Urtica* spp.: Phenolic composition, safety, antioxidant and anti-inflammatory activities. *Food Res Int* **99**, 94–485. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.008>

Champagne CP, Fustier P (2007) Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Curr Opinion in Biotechnol*, **18**, 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.03.001>

Chemat F, Tomao V, Virot M (2008) Ultrasound assisted extraction in food analysis. U: Ötles S (ured.) Handbook of food analysis instruments, CRC Press, Boca Raton, str. 85- 103.

Chemat F, Vian MA, Cravotto G (2012) Green extraction of natural products: Concept and principles. *Int J Mol Sci* **13**, 8615–8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>



Daoudi A, Benboubker H, Bousta D, Aarab L (2008) Screening of fourteen Moroccan medicinal plants for immunomodulating activities. *Moroccan J Biol*, **4** (5), 24-30.

Daza LD, Fujita A, Fávoro-Trindade CS, Rodrigues-Ract JN, Granato D, Genovese MI (2016) Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food Bioprod Process* **97**, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.10.001>

De Barros Fernandes RV, Borges SV, Botrel DA (2014) Gum arabic/starch/ maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydr polym* **101**, 524-532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>

De Castro-Morel M, Harper WJ (2002) Basic functionality of commercial milk protein concentrates. *Milchwissenschaft*, **57**(7), 367-370.

De Souza VB, Thomazini M, Balieiro JCDC, Fávoro-Trindade CS (2015) Effect of Spray Drying on the Physicochemical Properties and Color Stability of the Powdered Pigment Obtained from Vinification Byproducts of the Bordo Grape (*Vitis labrusca*). *Food Bioprod Process* **93**, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.11.001>

Dias DR, Botrel DA, Fernandes R, Borges SV (2017) Encapsulation as a tool for bioprocessing of functional foods. *Curr Opinion in Food Sci*, **13**, 31 – 37. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.02.001>

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

Đorđević V, Balanč B, Belščak-Cvitanović A, Lević S, Trifković K, Kalušević A, i sur. (2015a) Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. *Food Eng Rev*, **7**, 452–490. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9106-7>

Dorđević V, Paraskevopoulou A, Mantzouridou F, a Laolu S, Pantić M, Bugarski B i sur. (2015b) Encapsulation Technologies for Food Industry. U: Nedović V, Raspor P, Lević J, Tumbas Šaponjac V, Barbosa – Cánovas G (ured.) Emerging and Traditional Technologies for Safe, Healthy and Quality Food, Food Engineering Series, Springer, Cham, str. 329 – 382. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4_18)

Đurović S (2018) Savremene metode ekstrakcije koprive (*Urtica dioica* L.), sastav i primena ekstrakata (doktorski rad), Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.

Elez Garofulić I, Zorić Z, Pedisić S, Dragović-Uzelac V (2016) Optimization of Sour Cherry Juice Spray Drying as Affected by Carrier Material and Temperature. *Food Technol Biotechnol* **54** (4), 441-449. <https://doi.org/10.17113%2Fftb.54.04.16.4601>

Elez Garofulić I, Zorić Z, Pedisić S, Dragović-Uzelac V (2017) Retention of polyphenols in encapsulated sour cherry juice in dependence of drying temperature and wall material. *LWT* **83**, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.017>

Fang Z, Bhandari B (2010) Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends Food Sci Technol* **21** (10), 510-523. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>

Fazaeli M, Emam-Djomeh Z, Ashtari AK, Omid M (2012) Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food Bioprod Process* **90**, 667-675. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>

Fernandes RV, Borges SV, Botrel DA (2014) Gumarabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydr Polym* **101**, 524-532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>

Forenbacher S (1998) Otrovnne biljke i otrovanja životinja. Školska knjiga, Zagreb.

Grauso L, de Falco B, Lanzotti V, Motti R (2020) Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: Botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochem* **19**, 1341–1377. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09680-x>

Guajardo-Flores D, Rempel C, Gutiérrez-Urbe JA, Serna-Saldívar SO (2015) Influence of excipients and spray drying on the physical and chemical properties of nutraceutical capsules containing phytochemicals from black bean extract. *Molecules* **20**, 21626-21635. <https://doi.org/10.3390/molecules201219792>

Guil-Guerrero JL, Reboloso-Fuentes MM, Isasa MT (2003) Fatty acids and carotenoids from stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *J Food Compos Anal* **16** (2), 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(02\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(02)00172-2)

Henríquez C, Córdova A, Lutz M, Saavedra J (2013) Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. *Ind Crops Prod* **45**, 121 - 127. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.032>

Jafari SM (2017) An overview of nanoencapsulation techniques and their classification. U: Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries, Academic Press, str. 1–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809436-5.00001-X>

Jafari SM, Ghaleñoi MG, Dehnad D (2017) Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. *Powder Technol* **311**, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>

Joshi BC, Mukhija M, Kalia AN, (2014) Pharmacognostical review of *Urtica dioica* L. *Int J Green Pharm* **8**, 201–209. <https://doi.org/10.4103/0973-8258.142669>

Jukić Z, Mužek MN (2018) Priprava tekućeg organskog gnojiva fermentacijom korpive (*Urtica dioica* L.) i kamilice (*Chamomilla recutita* L Rauschert), *Kem Ind* **67** (13), 115 - 118. <https://doi.org/10.15255/KUI.2018.017>

Keil FJ, Swamy KM (1999) Reactors for sonochemical engineering-present status. *Rev Chem Eng* **15**, 85-155.

Kha TC, Nguyen MH, Roach PD (2010) Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *J Food Eng* **98**, 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.016>

Klungbookrong V, Lamsal BP, Phoungchandang S (2018) Changes and degradation kinetics of some bioactive compounds in dried *Orthosiphon aristatus* (Java tea) leaves during elevated temperature storage. *J Sci Food Agricult* **99**(2), 933 – 940. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9268>

Kregiel D, Pawlikowska E, Antolak H (2018) *Urtica* spp.: Ordinary plants with extraordinary properties. *Molecules* **23**, 1–21. <https://doi.org/10.3390/molecules23071664>

Liu F, Cao X, Wang H, Liao X (2010) Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technol* **204** (1), 159 – 166. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.002>

Lv G, Zhang Z, Pan H, Fan L (2014) Effect of Physical Modification of Mushroom (*A. chaxingu*) Powders on their Physical and Chemical Properties. *Food Sci Technol Res* **20**, 731-738. <https://doi.org/10.3136/fstr.20.731>

Luo D, Mu TH, Sun H, Chen J (2020) Optimization of the formula and processing of a sweet potato leaf powder-based beverage. *Food Sci Nutr* **8** (6), 2680 - 2691. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1555>

Mahdi AA, Mohammed JK, Al-Ansi W, Ghaleb ADS, Al-Maqtari QA, Ma M, i sur. (2020) Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. *Int J Bio Macromol* **152**, 1125–1134. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.201>

Mason TJ (1998) Power ultrasound in food processing- the way forward. U: Povey MJW i Mason TJ (ured.) *Ultrasound in Food Processing*, Blackie Academic & Professional, London, str. 105-126.

McVicar J (2006) *Ljekovito i začinsko bilje*. Uliks, Rijeka.

Mikulić A (2021) *Inkapsulacija fenolnih spojeva koprive primjenom sušenja raspršivanjem* (diplomski rad), Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Mokwena KK, Tang J (2012) Ethylene Vinyl Alcohol: A Review of Barrier Properties for Packaging Shelf Stable Foods. *Cri Rev Food Sci* **52**, 640–650. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.504903>

Muzaffar K, Kumar P (2016) Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder technol* **291**, 322 - 327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>

Nallan Chakravartula SS, Moschetti R, Farinon B, Vinciguerra V, Merendino N, Bedini G i sur. (2021) Stinging Nettles as Potential Food Additive: Effect of Drying Processes on Quality Characteristics of Leaf Powders. *Foods* **10**, 1152. <https://doi.org/10.3390/foods10061152>

Nandiyanto ABD, Okuyama K (2011) Progress in developing spray-drying methods for the production of controlled morphology particles: From the nanometer to submicrometer size ranges. *Adv Powder Technol* **22**(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2010.09.011>

Nedović V, Kalusević A, Manojlović V, Lević S, Bugarski B (2011) An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Sci* **1**, 1806-1815. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265>

Orčić D, Francišković M, Bekvalac K, Svirčev E, Beara I, Lesjak M, i sur. (2014) Quantitative determination of plant phenolics in *Urtica dioica* extracts by high-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometric detection. *Food Chem* **143**, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.097>

Palma M, Barbero GF, Pineiro Z, Liazid A, Barroso CG, Rostagno MA, i sur. (2013) Extraction of Natural Products: Principles and Fundamental Aspects. U: Rostagno MA, Prado JM (ured.) Natural Product Extraction Principles and Application, RSC Publishing, Cambridge, str. 58–88.

Phisut N (2012) Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *Int Food Res J* **19** (4), 1297–1306.

Potisate Y, Kerr WL, Phoungchandang S (2015) Changes during storage of dried *Moringa oleifera* leaves prepared by heat pump-assisted dehumidified air drying. *Int J Food Sci Tech* **50** (5), 1224 – 1233. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12744>

Pua CK, Sheikh Abd Hamid N, Tan CP, Mirhosseini H, Abd Rahman R, Rusul G (2008) Storage stability of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder packaged in aluminium laminated polyethylene and metallized co-extruded biaxially oriented polypropylene during storage. *J Food Eng* **89**, 419 – 428. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.05.023>

Quek SY, Chok NK, Swedlund P (2007) The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chem Eng Process* **46**, 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>

Radman S (2015) Utjecaj gnojidbe dušikom i načina uzgoja na kemijska svojstva dvodomne koprive (*Urtica dioica* L.) (doktorski rad), Agronomski fakultet u Zagrebu, Zagreb.

Raman R (2018) 6 Evidence-based benefits of stinging nettle. <https://www.healthline.com/nutrition/stinging-nettle>. Pristupljeno 8. kolovoza 2022.

Randelović D, Lazić V, Tepić A, Mošić I (2014) The influence of packaging materials protective properties and applying modified atmosphere on packed dried apricot quality changes. *Hem ind*, **68** (3), 289 – 295. <https://doi.org/10.2298/HEMIND130226053R>

Repajić M, Cegledi E, Zorić Z, Pedisić S, Elez Garofulić I, Radman S, i sur. (2021) Bioactive Compounds in Wild Nettle (*Urtica dioica* L.) Leaves and Stalks: Polyphenols and Pigments upon Seasonal and Habitat Variations. *Foods (Basel, Switzerland)*, **10** (1), 190. <https://dx.doi.org/10.3390/foods10010190>

Robards K, Prenzler PD, Tucker G, Swatsitang P, Glover W (1999) Phenolic Compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem* **66**, 401 - 436. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00093-X)

Robertson GL (2013) Food Packaging – Principles and Practice, 3. izd. CRC Press, New York.

Saavedra-Leos Z, Leyva-Porras C, Araujo-Diaz SB, Toxqui-Teran A, Borrás-Enríquez AJ (2015) Technological application of maltodextrins according to the degree of polymerization. *Molecules* **20** (12), 21067 – 21081. <https://doi.org/10.3390/molecules201219746>

Şahin - Nadeem H, Dinçer C, Torun M, Topuz A, Özdemir F (2013) Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT* **52**, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.007>

Said AAH, Otmani ISE, Derfoufi S, Benmoussa A, (2015) Highlights on nutritional and therapeutic value of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Int J Pharm Pharmaceut Sci* **7** (10), 8 - 14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09717>

Santos D, Maurício AC, Sencadas V, Santos JD, Fernandes MH, Gomes PS (2018) Spray Drying: An Overview. U:Pignatello R, Musumeci T (ured.) Biomaterials - Physics and Chemistry - New Edition, IntechOpen, London, str. 9 – 35.

Savić Lj (2014) Metode ekstrakcije biljnih materijala: usporedna analiza cirkulatorne ekstrakcije i ekstrakcije primenom superkritičnog ugljen-dioksida, Institut za proučavanje lekovitog bilja "Dr Josif Pančić", Beograd.

Shonte TT, Duodu KG, De Kock HL (2020) Effect of drying methods on chemical composition and antioxidant activity of underutilized stinging nettle leaves. *Heliyon* **6**, e03938. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03938>

Stanojević LP, Stanković MZ, Cvetković DJ, Cakić MD, Ilić DP, Nikolić VD, Stanojević JS (2016) The effect of extraction techniques on yield, extraction kinetics, and antioxidant activity of aqueous-methanolic extracts from nettle (*Urtica dioica* L.) leaves. *Sep Sci Technol* **51**, 1817–1829. <https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1178774>

Sugri I, Maalekuu B, Kusi F, Gaveh E (2017) Quality and shelf-life of sweet potato as influenced by storage and postharvest treatments. *Trends Hortic Res* **7**, 1–10. <https://dx.doi.org/10.3923/thr.2017.1.10>

Suhag Y, Nanda V (2017) Degradation kinetics of ascorbic acid in encapsulated spray dried honey powder packaged in aluminium laminated polyethylene and high-density polyethylene. *Int J Food Prop* **20**(3), 645-653. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1174939>

Tan SL, Sulaiman R, Rukayadi Y, Ramli NS (2020) Physical, chemical, microbiological properties and shelf life kinetic of spray – dried cantaloupe juice powder during storage. *LWT* **140**, 110597. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110597>

Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD (2008) Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *J Food Eng* **88**, 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>

Upton R (2013) Stinging nettles leaf (*Urtica dioica* L.): Extraordinary vegetable medicine. *J Herb Med* **3** (1), 9-38. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2012.11.001>



Vardin H, 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.x>

Vidović SS, Vladić JZ, Vaštag ŽG, Zeković ZP, Popović LM (2014) Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technol* **258**, 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.03.038>

Vilkhu K, Mawson R, Simons L, Bates D (2008) Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry — A review. *Innovat Food Sci Emerg Tech* **9**, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.014>

Vinatoru M (2001) An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrason Sonochem.* **8**, 303-313. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(01\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(01)00071-2)

Vinceković M, Viskić M, Jurić S, Giacometti J, Bursać Kovačević D, Putnik P, i sur. (2017) Innovative technologies for encapsulation of Mediterranean plants extracts. *Trends Food Sci Technol* **69**, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.001>

Waterhouse GIN, Sun-Waterhouse D, Su G, Zhao H, Zhao M (2017) Spray-drying of antioxidant-rich blueberry waste extracts; interplay between waste pretreatments and spray-drying process. *Food and Bioproc Technol* **10** (6), 1074–1092. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1880-9>

Yousefi S, Emam-Djomeh Z, Mousavi SM (2011) Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *J Food Sci Technol* **48**, 677-684. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0195-x>

Zokti JA, Baharin BS, Mohammed AS, Abas F (2016) Green Tea Leaves Extract: Microencapsulation, Physicochemical and Storage Stability Study. *Molecules* **21** (8), 940. <https://doi.org/10.3390/molecules21080940>

Zorić Z, Pelaić Z, Pedisić S, Elez Garofulić I, Bursać Kovačević D, Dragović – Uzelac V (2017) Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. *LWT* **79**, 251 – 259. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.049>

Zorić Z (2014) Stabilnost biološki aktivnih spojeva dehidratiranih proizvoda višnje maraske tijekom skladištenja (doktorski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

## IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja (IVANA BOŠNJAK) 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.

*Ivana Bošnjak*  
Vlastoručni potpis