

# Optimiranje postupka inkapsulacije eteričnog ulja komorača

---

Cegledi, Karla

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*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:159:340051>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski studij Nutricionizam**

**Karla Cegledi  
0058216214**

**OPTIMIRANJE POSTUPKA INKAPSULACIJE  
ETERIČNOG ULJA KOMORAČA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Naziv znanstveno-istraživačkog ili stručnog projekta:** “Izolacija i enkapsulacija bioaktivnih molekula samonikle i kultivirane koprive i komorača i učinci na fiziologiju organizma” (PlantBioPower, IP-01-2018-4924) financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost

**Mentor:** doc.dr.sc. Ivona Elez Garofulić

**Zagreb, 2022.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski sveučilišni studij Nutricionizam

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo  
Laboratorij za procese konzerviranja i preradu voća i povrća

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Nutricionizam

### Optimiranje postupka inkapsulacije eteričnog ulja komorača

Karla Cegledi, 0058216214

**Sažetak:** Eterično ulje komorača pokazuje mnoga antimikrobna i antioksidativna svojstva. Široko je primjenjivo u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji, no zbog hlapljivosti i podložnosti oksidaciji, primjena mu je ograničena. Stoga je cilj ovog rada bio ispitati kako odabrani uvjeti sušenja raspršivanjem (temperatura od 120-200 °C i različiti omjeri nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina 1:1, 3:1, 1:3) utječu na fizikalno-kemijska svojstva (suhu tvar, topljivost, veličinu čestica, higroskopnost, iskorištenje, zadržavanje ulja i učinkovitost) praha eteričnog ulja komorača te odrediti optimalne uvjete za proizvodnju praha najboljih svojstava. Općenito, povećanjem temperature i udjela nosača maltodekstrina, raste topljivost, veličina čestica, higroskopnost, zadržavanje ulja i učinkovitost, dok porastom temperature i udjela nosača  $\beta$ -ciklodekstrina raste iskorištenje procesa. Sadržaj suhe tvari raste porastom temperature, dok udio nosača nije imao signifikantan utjecaj. Optimalni uvjeti za proizvodnju praha najboljih fizikalno-kemijskih svojstava su temperatura sušenja od 200 °C i udio nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina 3:1.

**Ključne riječi:** komorač, eterično ulje, sušenje raspršivanjem, fizikalno-kemijska svojstva

**Rad sadrži:** 35 stranica, 14 slika, 5 tablica, 49 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

**Mentor:** doc.dr.sc. Ivona Elez Garofulić

**Pomoć pri izradi:** Erika Dobrosravić, mag. nutr.

**Datum obrane:** 8. srpnja 2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

University of Zagreb  
Faculty of Food Technology and Biotechnology  
University undergraduate study Nutrition

Department of Food Engineering  
Laboratory for Technology of Fruits and Vegetables Preservation and Processing

Scientific area: Biotechnical Sciences  
Scientific field: Nutrition

### Optimization of fennel essential oil encapsulation process

Karla Cegledi, 0058216214

**Abstract:** Fennel essential oil shows many antimicrobial and antioxidant properties. It is widely applicable in the food and pharmaceutical industries, but due to its volatility and susceptibility to oxidation, its application is limited. Therefore, the aim of this study was to examine how the selected spray drying conditions (temperature of 120-200 °C and different ratios of maltodextrin and  $\beta$ -cyclodextrin carriers 1: 1, 3:1, 1:3) affect the physicochemical properties (dry matter, solubility, particle size, hygroscopicity, yield, oil retention and efficiency) of fennel essential oil powder and determine the optimal conditions to produce powder of the best properties. In general, increase of the temperature and content of maltodextrin carrier increases solubility, particle size, hygroscopicity, oil retention and efficiency, while increasing the temperature and content of  $\beta$ -cyclodextrin carrier increases process yield. The dry matter content increased with increase of the temperature, while the ratio of carriers did not have a significant effect. The optimal conditions for the production of powder with the best physicochemical properties are a drying temperature of 200 °C and a ratio of maltodextrin and  $\beta$ -cyclodextrin carriers of 3: 1.

**Keywords:** fennel, essential oil, spray drying, physicochemical properties

**Thesis contains:** 35 pages, 14 figures, 5 tables, 49 references

**Original in:** Croatian

Thesis is deposited in printed and electronic form in the Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

**Mentor:** PhD Ivona Elez Garofulić, Assistant Professor

**Technical support and assistance:** Erika Dobroslavić, MSc.

**Thesis defended:** July 8, 2022.

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	<b>2</b>
2.1. KOMORAČ.....	2
2.1.1. Sjemenke komorača.....	3
2.1.2. Eterično ulje sjemenki komorača.....	5
2.1.3. Svojstva eteričnog ulja sjemenki komorača.....	6
2.2. INKAPSULACIJA ETERIČNOG ULJA SUŠENJEM RASPRŠIVANJEM.....	7
2.2.1. Sušenje raspršivanjem.....	7
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	<b>10</b>
3.1. MATERIJAL.....	10
3.1.1. Eterično ulje komorača.....	10
3.1.2. Kemikalije i standardi.....	10
3.1.3. Aparatura i pribor.....	10
3.2. METODE RADA.....	11
3.2.1. Proizvodnja prahova eteričnog ulja komorača postupkom sušenja raspršivanjem.....	11
3.2.2. Fizikalno-kemijske metode analize prahova eteričnog ulja komorača.....	14
3.2.2.1. Sadržaj suhe tvari.....	14
3.2.2.2. Topljivost.....	15
3.2.2.3. Veličina čestica.....	15
3.2.2.4. Higroskopnost.....	16
3.2.2.5. Iskorištenje postupka sušenja.....	16
3.2.2.6. Zadržavanje ulja.....	17
3.2.2.7. Učinkovitost procesa.....	17
3.2.3. Statistička obrada rezultata.....	18
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	<b>19</b>
4.1. UTJECAJ POSTUPKA SUŠENJA RASPRŠIVANJEM NA SADRŽAJ SUHE TVARI, TOPLJIVOST, VELIČINU ČESTICA I HIGROSKOPNOST.....	19
4.1.1. Sadržaj suhe tvari.....	22
4.1.2. Topljivost.....	23
4.1.3. Veličina čestica.....	23
4.1.4. Higroskopnost.....	24
4.2. UTJECAJ POSTUPKA SUŠENJA RASPRŠIVANJEM NA ISKORIŠTENJE PROCESA, ZADRŽAVANJE ULJA I UČINKOVITOST PROCESA.....	25
4.2.1. Iskorištenje procesa.....	27
4.2.2. Zadržavanje ulja.....	28
4.2.3. Učinkovitost procesa.....	29
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>30</b>
<b>6. LITERATURA</b> .....	<b>31</b>

## 1. UVOD

Komorač (*Foeniculum vulgare* Mill.) je višegodišnja ljekovita biljka iz obitelji štitarki (lat. *Apiaceae*). Najpoznatije sorte komorača su gorki, slatki i firentinski komorač. Izvorno se smatra autohtonom biljkom s obala Sredozemlja, ali je danas široko rasprostranjen u mnogim dijelovima svijeta. Ima uspravnu stabljiku, peraste listove i sitne žućkaste cvjetove. Plodovi komorača su zelenkasto do sivo-smeđe sjemenke duljine 4-10 mm. Komorač se od davnina upotrebljavao u narodnoj medicini i kulinarstvu, a danas je široko rasprostranjen u farmaceutskoj, prehrambenoj i kozmetičkoj industriji. Pogodan je za liječenje abdominalnih bolova, kašlja, oboljenja usne šupljine, jetrenih i bubrežnih tegoba. Ljekovitost komorača rezultat je antioksidativnih, antikancerogenih, hepatoprotektivnih, protuupalnih djelovanja svih dijelova biljke, ali posebice sjemenki komorača koje su karakteristične po tome što sadrže najviše eteričnog ulja od svih dijelova biljke.

Eterična ulja su hlapljive smjese spojeva karakterističnog mirisa i okusa koja se dobivaju iz biljnih sirovina. Imaju široku primjenu u aromaterapiji, parfemskoj i kozmetičkoj industriji. Budući da eterično ulje sjemenki komorača ima antibakterijska i antioksidativna svojstva, u današnje vrijeme vidljiv je sve veći interes za njegovu primjenu u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji. Međutim, njegova visoka hlapljivost i podložnost oksidaciji u prisutnosti svjetlosti, zraka i vlage ograničava njegovu upotrebu u navedenim industrijama. Stoga inkapsulacija predstavlja pogodnu metodu za produljenje stabilnosti eteričnih ulja i zadržavanje njihovih funkcionalnih svojstava. Jedna od često korištenih metoda inkapsulacije je metoda sušenja raspršivanjem. To je pouzdana, brza i učinkovita metoda koja se uspješno koristi za prevladavanje navedenih izazova, gdje se u struji vrućeg zraka tekuća namirnica prevodi u formu praha.

Zbog toga je cilj ovog istraživanja bio ispitati kako navedeni uvjeti procesa sušenja raspršivanjem (temperatura od 120-200 °C i različiti omjeri nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina 1:1, 3:1, 1:3) utječu na fizikalno-kemijska svojstva (suhu tvar, topljivost, veličinu čestica, higroskopnost, iskorištenje, zadržavanje ulja i učinkovitost) praha eteričnog ulja komorača te odrediti optimalne uvjete za proizvodnju praha najboljih svojstava.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Komorač

Komorač (*Foeniculum vulgare* Mill.) je ljekovita višegodišnja zeljasta biljka toplog podneblja iz obitelji štitarki (lat. *Apiaceae*) (Ahmad i sur., 2018). Najpoznatije sorte komorača uključuju *piperitum* ili gorki komorač (*F. vulgare* var. *vulgare*) koji posjeduje gorko sjeme iz kojeg se dobiva eterično ulje, *dulce* ili slatki komorač (*F. vulgare* var. *dulce*) koji se koristi kao začim i *azoricum* ili firentinski komorač (*F. vulgare* var. *azoricum*) koji se koristi kao povrće (Malhotra, 2012). U narodu se komorač još naziva i morač, slatki kopar, anason, rezen i koromač (Grlić, 1990).

Komorač (Slika 1) je biljka ugodna i aromatična mirisa, uspravne stabljike, višestruko perastih listova te može narasti do 2 m u visinu (Slika 1a). Biljka cvate od srpnja do rujna, gdje se prilikom cvatnje na vrhu stabljike nalaze sitni žućkasti cvjetovi složeni u velike sastavljene štitove (Slika 1b). Plod komorača je kalavac koji se sastoji od dvije suhe sjemenke duljine 4-10 mm. Općenito se smatra autohtonom biljkom s obala Sredozemnog mora, no postao je široko rasprostranjen u mnogim dijelovima svijeta, posebno na suhim tlima u blizini morskih i riječnih obala (Díaz-Maroto i sur., 2006).

a)



b)



**Slika 1.** Komorač (*Foeniculum vulgare* Mill.) a) stabljika i listovi (prema Javed i sur., 2020)  
b) cvijet (prema Badgujar i sur., 2014)

Stabljika, plod, lišće i sjemenke komorača se od davnina intenzivno upotrebljavaju u tradicionalnoj medicini za liječenje abdominalnih bolova, gastritisa, kašlja, oboljenja usne šupljine, jetrenih i bubrežnih tegoba i dr. (Badgular i sur., 2014). Stari Grci, Egipćani i Rimljani su uzgajali komorač zbog aromatičnih sjemenki i jestivih mesnatih izbojaka. Ljekovitost komorača očituje se u njegovoj širokoj primjeni u farmaceutskoj, prehrambenoj i kozmetičkoj industriji zbog njegovih antioksidativnih, antikancerogenih, hepatoprotektivnih, protuupalnih te mnogih drugih protektivnih svojstava (Badgular i sur., 2014). Osim u medicinske svrhe, komorač se široko primjenjuje u kulinarstvu. Mlado lišće, lisni rukavci i stabljika konzumiraju se sirovi, kuhani ili kao začim u raznim salatama, juhama i umacima. Komorač se također upotrebljava pri izradi alkoholnih pića, biljnih čajeva i konzerviranju hrane zbog specifične arome slične anisu, radi poboljšanja organoleptičkih svojstava proizvoda (Barros i sur., 2010).

### 2.1.1. Sjemenke komorača

Sjemenke komorača (Slika 2) su zelenkasto do sivo-smeđe boje te zadržavaju klijavost dvije do tri godine. Razvijaju se iz cvjetova koji rastu na kraju stabljike u obliku obrnutog kišobrana. Dozrelo sjeme ima karakteristična uzdužna rebra koja sadrže najviše eteričnog ulja od svih dijelova biljke, između 3-6 % (Badgular i sur., 2014; Šilješ i sur., 1992).



**Slika 2.** Sjemenke komorača (*Foeniculum vulgare* Mill.) (prema Javed i sur., 2020)

Sjeme komorača bogato je proteinima, mastima, ugljikohidratima, vlaknima, mineralima poput kalcija, kalija i fosfora te vitaminima A, B i C (Tablica 1). U rezultatima istraživanja Koudela i Petrikova (2008) sjemenke komorača sadržavale su kalij (4,24–5,85 mg kg<sup>-1</sup>), fosfor (500 mg



kg<sup>-1</sup>), kalcij (5,6–363 mg kg<sup>-1</sup>), magnezij (8,2–389 mg kg<sup>-1</sup>) i natrij (7,7–512 mg kg<sup>-1</sup>). Nadalje, prema Bukhari i sur. (2014) udio proteina u sjemenkama komorača je iznosio 9,38 %, udio masti 9,76 %, udio vlakna 18,21 %, a udio vode 6,24 %. Navode i vrijednosti kalcija (580,6 mg 100 g<sup>-1</sup>), kalija (852,45 mg 100 g<sup>-1</sup>), natrija (16,21 mg 100 g<sup>-1</sup>) i željeza (9,72 mg 100 g<sup>-1</sup>), koje su niže od vrijednosti USDA podataka. Naime, kemijski sastav i biološka aktivnost sjemenki može se razlikovati ovisno o vremenu berbe i sorti komorača (Marotti i sur., 1994).

**Tablica 1.** Nutritivna vrijednost 100 g sjemenki komorača (prema USDA National Nutrient data base)

SASTAVNICE	NUTRITIVNA VRIJEDNOST
Energetska vrijednost	345 kcal
Proteini	15,8 g
Masti	14,9 g
Ugljikohidrati	52,3 g
Vlakna	39,8 g
Voda	8,81 g
Kalcij	1200 mg
Željezo	18,5 mg
Magnezij	385 mg
Kalij	1690 mg
Fosfor	487 mg
Natrij	88 mg
Cink	3,7 mg
Mangan	6,53 mg
Bakar	1,07 mg
Tiamin	0,408 mg
Riboflavin	0,353 mg
Niacin	6,05 mg
Vitamin B6	0,47 mg
Vitamin C	21 mg
Vitamin A	135 IU

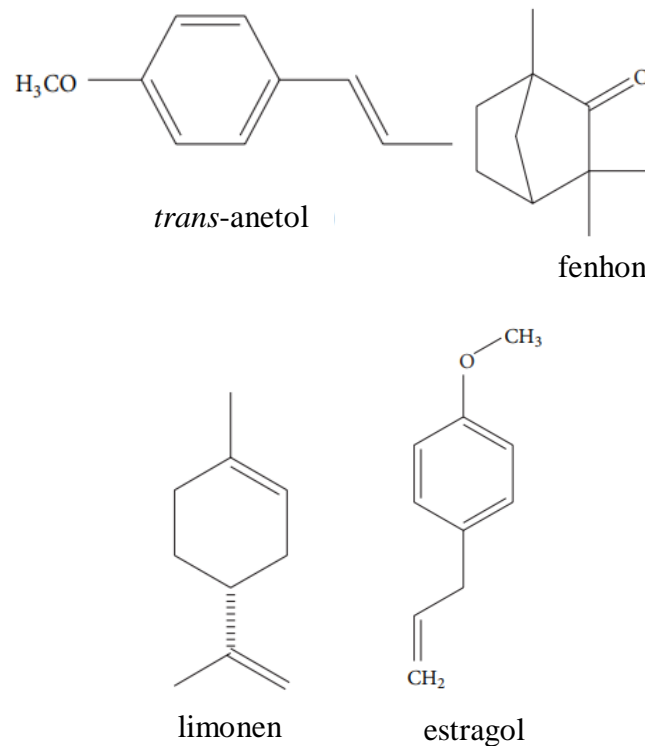
Sjemenke komorača karakteristične su po visokom sadržaju eteričnog ulja te biološki aktivnih molekula. Prema istraživanju El-Awadi i Hassan (2010), sjemenke komorača sadrže 0,79 % eteričnog ulja, 5,82 % nehlapljivog ulja i 1,17 % ukupnih fenolnih spojeva. Reiter i sur. (1998) navode kako su u ulju sjemenki komorača najzastupljene petroselinska kiselina (73,9 g 100 g<sup>-1</sup>)

<sup>1</sup>), linolna kiselina (16,3 g 100 g<sup>-1</sup>), oleinska kiselina (4,8 g 100 g<sup>-1</sup>) i palmitinska kiselina (4,4 g 100 g<sup>-1</sup>). Također je u sjemenkama komorača zastupljeno 9,91 g mononezasićenih (18:1), 1,69 g polinezasićenih (18:2) i 0,48 g zasićenih (16:0) masnih kiselina (USDA, 2019).

### 2.1.2. Eterično ulje sjemenki komorača

Eterično ulje je hlapljiva smjesa spojeva karakterističnog mirisa i okusa koje se dobiva iz biljnih sirovina. Teško je topljivo u vodi, ali je dobro topljivo u organskim otapalima poput alkohola ili etera. Najvažnije biljne obitelji koje imaju sposobnost stvaranja eteričnog ulja su *Apiaceae*, *Pinaceae*, *Lauraceae*, *Lamiaceae*, *Myrtaceae*, *Piperaceae*, *Rutaceae*, *Zingiberaceae* itd. (Kalođera i sur., 1998). Eterično ulje ima široku primjenu u aromaterapiji, parfemskoj i kozmetičkoj industriji zbog njegovog antioksidativnog, antimikrobnog i antifungalnog djelovanja. Pohranjeno je u različitim dijelovima aromatičnih biljki kao što su cvjetovi, listovi, korijenje, sjemenke, plodovi, drvo i kora. Biljkama eterična ulja služe kao kemijski signali koji privlače kukce za oprašivanje ili tjeraju predatore te omogućuju komunikaciju između biljaka (Hanif i sur., 2019). Više od 500 kemijskih spojeva ulazi u sastav eteričnih ulja, dok jedna uljna vrsta može sadržavati i više od 60 različitih komponenti. Dominacija jedne komponente u većine eteričnih ulja uvjetuje njegov opći karakter, odnosno fizikalna i kemijska svojstva. Prema strukturi ugljikovodika, spojevi eteričnih ulja obično se dijele u 3 velike skupine, a to su terpeni, fenilpropanoidi i ostali spojevi (Kalođera i sur., 1998).

Sastav i udio eteričnog ulja varira tijekom različitih stadija sazrijevanja biljke (Anka i sur., 2020). Prema istraživanju Anwar i sur. (2009a) udio eteričnog ulja u zrelim sjemenkama komorača iznosi 3,5 %, a u nezrelim 2,8 %, dok Anka i sur. (2020) navode da se sa zrelošću sjemenki smanjuje udio eteričnog ulja. Šilješ i sur. (1992) navode da sjemenke komorača mogu sadržavati do 6 % eteričnog ulja. Iz njega je izolirano 87 hlapljivih spojeva, a glavne zabilježene komponente su *trans*-anetol (69,87 %), fenhon (10,23 %), estragol (5,45 %) i limonen (5,10 %) (Badgular i sur., 2014; Anwar i sur., 2009b). Ahmad i sur. (2018) zabilježili su 16 komponenti u eteričnom ulju sjemenki komorača, od kojih je također *trans*-anetol (70,7 %) najzastupljeniji, a slijedi ga fenhon (5,72 %). Varijacije u kemijskom sastavu eteričnog ulja sjemenki komorača dolaze iz različitih uvjeta uzgoja, zrelosti biljke te klimatskih i geografskih čimbenika područja uzgajanja komorača (Ahmad i sur., 2018). Na Slici 3 prikazane su kemijske strukture nekih od najzastupljenijih hlapljivih spojeva u eteričnom ulju sjemenki komorača.



**Slika 3.** Kemijska struktura hlapljivih spojeva eteričnog ulja sjemenki komorača (prema Badgubar i sur., 2014)

### 2.1.3. Svojstva eteričnog ulja sjemenki komorača

Eterično ulje sjemenki komorača odlikuje se značajnim antimikrobnim i antioksidativnim svojstvima (Anka i sur., 2020). Sayed-Ahmad i sur. (2017) navode da eterično ulje sjemenki komorača ima veće antimikrobno djelovanje na gram pozitivne bakterije *Staphylococcus aureus* nego na gram-negativne bakterije *Escherichia coli* te da viša koncentracija ulja dovodi do većeg dijametra zone inhibicije. Antibakterijsko djelovanje eteričnog ulja sjemenki komorača odlikuje se u njegovu djelovanju na integritet membrane bakterija što dovodi do promjene njezine propusnosti i posljedičnog izlaska staničnog materijala van stanice te smrti bakterije (Diao i sur., 2014). U istraživanju Javed i sur. (2012) također su dokazana značajna antifungalna svojstva protiv tri soja gljivica *Alternaria alternate*, *Fusarium oxysporum* i *Aspergillus flavus*. Eterično ulje komorača pokazalo je antifungalno djelovanje protiv *Candida albicans*, što čini komorač potencijalnim kandidatom kao antifungalno sredstvo za kandidijazu i druge gljivične bolesti (Badgubar i sur., 2014). Hlapljivi spoj *trans*-anetol povezan je s antioksidativnim svojstvima eteričnog ulja sjemenki komorača. Sorte komorača *dulce* i *azoricum* pokazuju puno veću antioksidativnu aktivnost i sadržaj *trans*-anetol (61 i 46 %) od

sorte *vulgare* (5 %) (Shahat i sur., 2011). Rezultati navedenih istraživanja omogućuju korištenje eteričnog ulja iz sjemenki komorača za aromatiziranje hrane i napitaka zbog prisutnosti *trans*-anetola, estragola i limonena koji su odgovorni za karakteristični miris anisa u sjemenkama komorača te su pogodni za korištenje kao prirodni konzervansi jer smanjuju brzinu oksidacije bez ikakvih promjena u boji i strukturi proizvoda (Sayed-Ahmad i sur., 2017; Mariod, 2016). Eterično ulje sjemenki komorača se može koristiti pri izradi farmaceutskih pripravaka zbog njegovog pozitivnog utjecaja na zdravlje. Za većinu farmakoloških učinaka zaslužni su fenolni spojevi, dok neke studije navode da su farmakološki aktivne tvari zapravo polimeri anetola, kao što su dianetol i fotoanetol (Rather i sur., 2012).

## **2.2. Inkapsulacija eteričnog ulja sušenjem raspršivanjem**

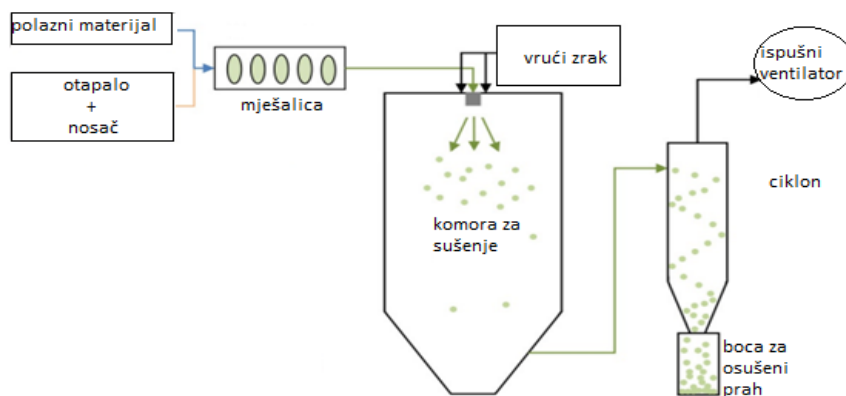
Inkapsulacija je postupak kojim se stvara barijera oko aktivne komponente koja inhibira kemijske interakcije te štiti od djelovanja okolišnih čimbenika kao što su pH, temperatura, enzimi i kisik (Dias i sur., 2017). Može se definirati kao proces pakiranja čvrstog, tekućeg ili plinovitog materijala unutar drugog materijala. Tvar koja se inkapsulira zove se jezgra, aktivni agens, unutarnja faza ili punjenje, a tvar u koju se inkapsulira naziva se membrana, ljuska, vanjska faza, omotač, matriks ili premaz (Zuidam i Shimoni, 2010). Budući da mnoga eterična ulja imaju antibakterijska i antioksidativna svojstva, u današnje vrijeme vidljiv je sve veći interes za njihovu primjenu u obliku prirodnih konzervansa. Međutim, njihova visoka hlapljivost i podložnost oksidaciji u prisutnosti svjetlosti, zraka i vlage ograničava njihovu upotrebu u industriji. Stoga inkapsulacija predstavlja pogodnu metodu za produljenje stabilnosti eteričnih ulja i zadržavanje njihovih funkcionalnih svojstava tijekom manipulacije, obrade i skladištenja. Jedna od često korištenih metoda inkapsulacije je metoda sušenja raspršivanjem. To je pouzdana metoda koja se uspješno koristi za prevladavanje navedenih izazova u prehrambenoj industriji (Veiga i sur., 2019).

### **2.2.1. Sušenje raspršivanjem**

Sušenje raspršivanjem je brza i učinkovita metoda za inkapsuliranje aktivnih komponenti poput eteričnih ulja, prirodnih bojila, vitamina i probiotika (Dias i sur., 2017). Princip sušenja temelji se na otapanju jezgre u disperziji odabranog matriksa, koja se zatim atomizira u struji vrućeg zraka, što potiče brzo uklanjanje vode te se kao finalni proizvod dobije prah. Cilj postupka sušenja je dobivanje kvalitetnog praha s poželjnim svojstvima, manje mase i volumena kako bi

se omogućio lakši transport i skladištenje (De Vos i sur., 2020; Tonon i sur., 2008). Relativno niska temperatura proizvoda u odnosu na relativno visoku temperaturu ulaznog zraka, prilikom čega materijal koji se dehidratira ne dolazi u kontakt s toplom metalnom površinom, neke su od specifičnih karakteristika iz kojih proizlaze prednosti ovog postupka (Lovrić, 2003). Također, vrlo kratko vrijeme izvođenja, ekonomičnost i veliki kapacitet proizvodnje čine ovu metodu jednom od najčešće korištenih metoda za inkapsuliranje u prehrambenoj industriji (De Vos i sur., 2020). Glavni nedostaci metode su visoka temperatura ulaznog zraka koja može dovesti do degradacije osjetljivih sastojaka hrane, složenost opreme, neujednačeni uvjeti u komori za sušenje i otežana kontrola veličine čestica (Nedović i sur., 2013).

Postupak sušenja raspršivanjem može se podijeliti u četiri osnovne faze (Slika 4): raspršivanje namirnica (atomizacija), ostvarivanje kontakta raspršene namirnice sa zrakom kojim se vrši sušenje, isparavanje vode iz raspršenih kapljica i odvajanje osušenog praha od izlazećeg zraka (Lovrić, 2003). Kako bi se postigla visoka učinkovitost postupka, potrebno je osigurati optimalne uvjete ulazne i izlazne temperature u komori za sušenje, brzine protoka zraka i brzine dovoda do raspršivača (Bakry i sur., 2015).



**Slika 4.** Shematski prikaz postupka sušenja raspršivanjem (prema Chávarri i sur., 2012)

Varijable postupka sušenja raspršivanjem koji utječu na fizikalno-kemijska svojstva dobivenih prahova su: karakteristike tekućine (viskoznost, veličina čestica i brzina protoka) i zraka za sušenje (tlak i temperatura) te vrsta raspršivača (Tonon i sur., 2008). Za dobivanje konačnog proizvoda s visokim iskorištenjem i stupnjem inkapsulacije, potrebno je optimirati sami proces sušenja (Bakry i sur., 2015).

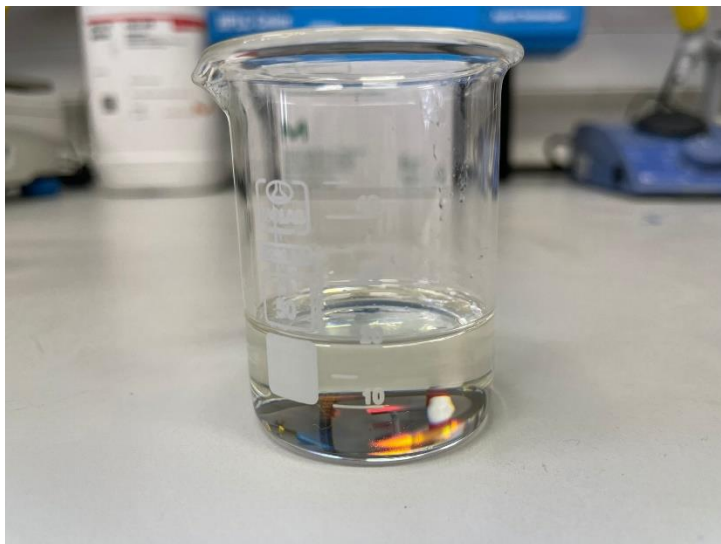
Još jedan od ključnih koraka za sušenje raspršivanjem je izbor odgovarajućeg nosača i temperature sušenja. Idealan nosač za postupak inkapsulacije eteričnog ulja sušenjem raspršivanjem trebao bi imati nisku viskoznost pri visokoj koncentraciji, nisku higroskopnost radi lakšeg rukovanja i izbjegavanja aglomeracije, imati emulgirajuće svojstvo, biti topljiv u odgovarajućem otapalu, blagog okusa i niske cijene. Nosači koji se najčešće koriste su polisaharidi (hidrolizati škroba, maltodekstrini, ciklodekstrini i gume), lipidi (voskovi, parafini, stearinska kiselina, ulja i masti) i proteini (kazein, želatina, albumini i peptidi) (Veiga i sur., 2019). U istraživanju koje su proveli de Barros Fernandes i sur. (2013) proučavan je utjecaj temperature (135-195 °C) i udjela arapske gume (10-30 %) na fizikalno-kemijska svojstva prahova eteričnog ulja ružmarina dobivenih postupkom sušenja raspršivanjem. Povećanje temperature rezultiralo je smanjenjem sadržaja vlage i higroskopnosti praha, dok je povećanje koncentracije arapske gume rezultiralo smanjenjem higroskopnosti prahova, no pri vrlo visokim koncentracijama ponovno je počelo upijanje vode, vjerojatno zbog higroskopnosti arapske gume. S druge strane, povećanje temperature i udjela nosača nije utjecalo na topljivost prahova.

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. MATERIJAL

##### 3.1.1. Eterično ulje komorača

U ovom istraživanju korišteno je eterično ulje komorača (Ireks Aroma d.o.o., Hrvatska). Ulje (Slika 5) je pohranjeno pri +4 °C do provedbe eksperimenta.



**Slika 5.** Uzorak eteričnog ulja komorača (vlastita fotografija)

##### 3.1.2. Kemikalije i standardi

- $\beta$ -ciklodekstrin 98 %, Acros organics, Belgija
- Maltodekstrin DE 4-7, Biosynth, Bratislava
- Kvarcni pijesak (sitno zrnat), Gram-mol, Zagreb
- Bezvodni natrijev sulfat, Gram-mol, Zagreb
- Natrijev klorid, Lachner, Češka
- Emulgator, Tween 20 za molekularnu biologiju, Applichem, Njemačka

##### 3.1.3. Aparatura i pribor

*Aparatura:*

- Uređaj za mjerenje veličine čestica Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Worcestershire, Ujedinjeno Kraljevstvo

- Laboratorijski sušionik Heratherm OMH 100, Thermo scientific, Njemačka
- Vodena kupelj Büchi Heating Bath B-490, Švicarska
- Analitička vaga Ohaus, SAD
- Tehnička vaga PS 4500 R2, Redwag Wagi Elektroniczne, Poljska
- Uređaj za sušenje raspršivanjem Büchi Mini Spray Dryer B-290, Švicarska
- Magnetska miješalica HSC Ceramic Hot Top-Plate Stirrer, Velp, Italija
- Ultra turrax IKA T25 D, Njemačka
- Vortex MS2 Minishaker, IKA, SAD
- Centrifuga ROTOFIX 32, Hettich Zentrifugen, Njemačka
- Eksikator
- Aparatura po Clevengeru

*Pribor:*

- Staklene čaše
- Stakleni štapići
- Metalne hvataljke
- Metalna spatula
- Metalna žličica
- Tikvice s okruglim dnom (500 mL)
- Aluminijski lončići
- Plastične Falcon kivete (50 mL)
- Stakleni lijevak
- Menzura (100 mL)
- Pipete Eppendorf (5 mL, 1000 µL)
- Magnet za magnetsku miješalicu

## **3.2. METODE RADA**

### **3.2.1. Proizvodnja prahova eteričnog ulja komorača postupkom sušenja raspršivanjem**

Sušenje raspršivanjem eteričnog ulja komorača provedeno je na uređaju za sušenje raspršivanjem Büchi Mini Spray Dryer B-290, Švicarska (Slika 6) sa specifikacijama navedenim u Tablici 2.



**Tablica 2.** Specifikacije uređaja Buchi Mini Spray Dryer B-290

<b>Potrošnja energije</b>	max. 2900 W
<b>Napon</b>	200-230 V $\pm$ 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. of 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 $\mu$ m
<b>Dimenzije (W x H x D)</b>	65 x 110 x 70 cm
<b>Težina</b>	46 kg

Tijekom provedbe postupka sušenja raspršivanjem konstantni parametri bili su sljedeći: 80 % kapaciteta aspiratora čiji je maksimum 35 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, 15 % kapaciteta pumpe te čišćenje mlaznice na stupnju 4.



**Slika 6.** Mini Spray Dryer B-290 (vlastita fotografija)

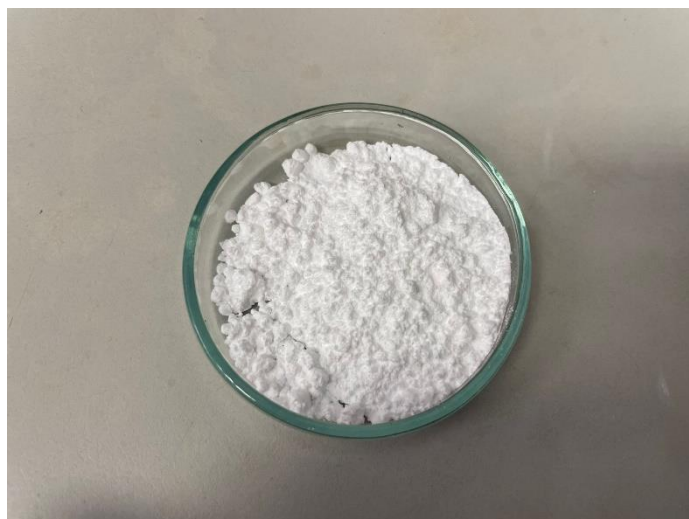
Proizvedeno je 9 prahova (Slika 7) prema planu pokusa navedenom u Tablici 3. Sušenje raspršivanjem odvijalo se pri temperaturama 120, 160 i 200 °C te su korišteni različiti omjeri nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina (1:1, 3:1 i 1:3). Udio eteričnog ulja komorača iznosio je 5 g na 100 mL otopine, odnosno 5 %. Omjer eteričnog ulja i nosača održavan je konstantnim u svim pokusima te je iznosio 1:4. Cilj pokusa bio je odrediti fizikalno-kemijska svojstva prahova (suha tvar, topljivost, veličina čestica, higroskopnost, iskorištenje, zadržavanje ulja i učinkovitost inkapsulacije) te odrediti optimalne uvjete procesa.

**Tablica 3.** Plan pokusa sušenja raspršivanjem primjenom različitog omjera nosača i različite temperature

BROJ UZORKA	VRSTA NOSAČA	OMJER NOSAČA	TEMPERATURA (°C)
1	M:C	1:1	120
2			160
3			200
4		1:3	120
5			160
6			200
7		3:1	120
8			160
9			200

*M:C = maltodekstrin: $\beta$ -ciklodekstrin*

Prije same provedbe procesa sušenja raspršivanjem, na analitičkoj vagi je odvagano 40 g nosača u laboratorijsku čašu te je dodano 200 mL destilirane vode. Korištena je smjesa dvaju nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina u različitim omjerima navedenim u planu pokusa. Uzorak je nakon pripreme stavljen na magnetsku miješalicu na 30 min kako bi se nosači ravnomjerno otopili. Zatim je stvorena emulzija miješanjem pomoću ultra turraxa kroz 5 min, prilikom čega je polagano dodano 10 g eteričnog ulja komorača s 0,5 g emulgatora. Udio emulgatora iznosio je 5 % na masu eteričnog ulja. Nakon toga je proveden proces sušenja raspršivanjem. Dobiveni prahovi su skladišteni u hermetički zatvorenim Falcon kivetama i čuvani u eksikatoru do daljnje provedbe analiza.



**Slika 7.** Prah eteričnog ulja komorača (vlastita fotografija)

### **3.2.2. Fizikalno-kemijske metode analize prahova eteričnog ulja komorača**

#### **3.2.2.1. Sadržaj suhe tvari**

Sadržaj suhe tvari (%) u prahovima proizvedenim iz eteričnog ulja komorača određen je sušenjem u sušioniku pri 105 °C do konstantne mase (AOAC, 1984).

U osušenu i izvaganu aluminijsku posudicu s poklopcem stavi se oko 1 g kvarcnog pijeska i stakleni štapić te se suši u sušioniku pri 105 °C oko 2 h sa skinutim poklopcem. Nakon sušenja posudica se zatvori poklopcem te hladi u eksikatoru, a zatim se izvaže s točnošću ±0,0002 g. U ohlađenu i izvaganu posudicu s pijeskom stavi se oko 1 g pripremljenog uzorka i dobro izmiješa pomoću staklenog štapića. Sve zajedno se važe s točnošću od ±0,0002 g. Aluminijska posudica s pijeskom i ispitivanom količinom uzorka stavi se u laboratorijski sušionik, prethodno zagrijan na 105 °C ± 0,5 °C te se zagrijava 1 h s otklopljenim poklopcem. Nakon hlađenja i vaganja sušenje se nastavlja toliko dugo dok razlika između dva uzastopna sušenja, u razmaku od 30 min ne bude manja od 0,001 g. Važe se ponovno s točnošću ± 0,0002g.

Sadržaj suhe tvari izračuna se prema sljedećoj formuli:

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

gdje je:

$m_0$  – masa posudice i pomoćnog materijala (pijesak, stakleni štapić, poklopac) (g)

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

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

### 3.2.2.2. Topljivost

Topljivost prahova određena je prema metodi koju su opisali Anderson i sur. (1969) s nekim modifikacijama. 1 g praha otopi se u epruveti u 10 mL destilirane vode miješanjem na vortex mješalici kroz 1 min, termostatira u vodenoj kupelji na 37 °C 30 min te potom centrifugira 20 min pri 5500 o/min. Dobiveni supernatant se sakupi i suši u sušioniku pri 105 °C do konstantne mase.

Topljivost (%) se izračuna prema sljedećoj jednadžbi:

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

gdje je:

$m_s$ - masa praha dobivenog sušenjem supernatanta do konstantne mase (g)

$m_p$ - masa praha uzetog za analizu (g)

### 3.2.2.3. Veličina čestica

Za određivanje veličine čestica korišten je uređaj Mastersizer 2000. Neposredno prije mjerenja postave se različiti parametri analize kao što su ime uzorka, broj mjerenja, pauza između dva mjerenja, optički parametri uzorka, osjetljivost instrumenta te modeli prema kojima će se kasnije analizirati podaci. Kada se prah stavi u kadicu, uzorak putuje prema otvoru zbog vibracija te prolaskom kroz otvor upada na sito koje sadrži kuglice kako bi se razbio aglomerat. Prolaskom kroz sito ubrzava se strujanje čestica djelovanjem stlačenog zraka. Zatim čestice ulaze kroz zračnu ćeliju u optičku jedinicu u kojoj se provodi mjerenje. Mjerenje veličine čestica uzorka započinje nakon što uređaj izmjeri pozadinsku sliku. Višak uzorka iz kadice se

očisti pomoću kista kako bi se kadica pripremila za novo mjerenje, a višak uzorka iz optičke jedinice izvlači se pomoću vakuuma. Pri završetku mjerenja, podaci o veličini čestica vidljivi su u digitalnom obliku na ekranu računala. Rezultati su prikazani kao srednji promjer čestica  $d(0,5)$ , budući da je više od 90 % čestica tog promjera.

#### 3.2.2.4. Higroskopnost

Higroskopnost prahova određena je po metodi koju su opisali Tonon i sur. (2008). Masa od 1 g mikrokapsula stavi se u otvorenu posudicu u eksikator sa zasićenom otopinom NaCl tijekom 7 dana na 25 °C pri vlažnosti zraka 75,29 %. Nakon 7 dana uzorak se izvaže te se higroskopnost izrazi kao grami adsorbirane vlage na 100 g mikrokapsula ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) prema sljedećoj jednadžbi:

$$\text{Higroskopnost (g } 100 \text{ g}^{-1}) = \left(\frac{m_7 - m_0}{m_0}\right) \cdot 100 \quad [3]$$

gdje je:

$m_7$ - masa izvaganog praha nakon 7 dana (g)

$m_0$ - početna masa praha (g)

Zadržavanje ulja određeno je prema metodi Marques i sur. (2021) s određenim modifikacijama. Odvažuje se 10 g praha i prenese u tikvicu s okruglim dnom volumena 500 mL. Zatim se doda 200 mL destilirane vode te se tikvica spoji na aparaturu za izolaciju eteričnih ulja po Clevengeru. Sadržaj tikvice se kontinuirano zagrijava, a destilacija traje 2 h od trenutka kada se prva kap destilata kondenzira na vodenom hladilu. Nakon destilacije, izolirano eterično ulje se ispusti u vialu te se doda bezvodni natrijev sulfat kako bi se uklonili eventualno ostaci vode.

#### 3.2.2.5. Iskorištenje postupka sušenja

Iskorištenje postupka sušenja raspršivanjem izračunato je prema sljedećoj jednadžbi:

$$\text{Iskorištenje (\%)} = \frac{P}{U+E+N} \cdot 100 \quad [4]$$

gdje je:

P- masa praha proizvedenog postupkom sušenja raspršivanjem u gramima,

U- masa ulja (g)

N- masa nosača (g)

E - masa emulgatora u (g)

### 3.2.2.6. Zadržavanje ulja

Zadržavanje ulja se promatra kao odnos između mase eteričnog ulja prisutne u prahu i početne mase ulja koja je uzeta za postupak sušenja, a izračunava se prema sljedećoj jednadžbi:

$$\text{Zadržavanje ulja (\%)} = \frac{\text{masa ulja nakon destilacije (g)}}{\text{početna masa ulja (g)}} \cdot 100 \quad [5]$$

### 3.2.2.7. Učinkovitost procesa

Učinkovitost inkapsulacije (%) promatra se kao omjer zadržavanja ulja (%) i iskorištenja postupka sušenja (%) te se računa prema sljedećoj formuli:

$$\text{Učinkovitost (\%)} = \frac{\text{zadržavanje ulja (\%)}}{\text{iskorištenje (\%)}} \cdot 100 \quad [6]$$

### **3.2.3. Statistička obrada rezultata**

Za eksperimentalni dizajn pokusa i statističku obradu podataka korišten je programski sustav Statistica 8 (StatSoft, Inc., Tulsa, SAD). Eksperimentalni dizajn korišten u ovom radu je puni faktorijalni dizajn s 2 faktora na tri razine. Ispitan je utjecaj temperature i omjera nosača na fizikalno-kemijske parametre praha eteričnog ulja komorača. Za usporedbu dobivenih uzoraka korištena je analiza varijance (ANOVA) i post-hoc Tukey test na 95 %-tnoj razini vjerojatnosti.

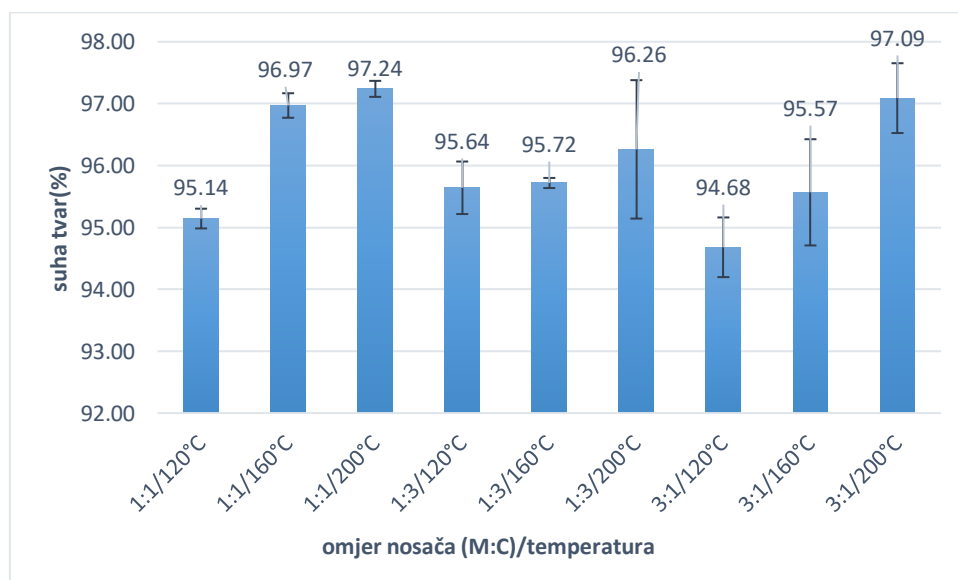
## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Provedbom procesa sušenja raspršivanjem eteričnog ulja komorača proizvedeno je 9 prahova pri različitim temperaturama sušenja te omjerima nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina. Fizikalno-kemijski parametri (sadržaj suhe tvari, topljivost, veličina čestica, higroskopnost, iskorištenje procesa, zadržavanje ulja i učinkovitost) prahova dobiveni sušenjem raspršivanjem prikazani su na Slikama 4-10. Eksperimentalni uvjeti sušenja raspršivanjem, odnosno omjer nosača i temperatura, navedeni su na apscisi svake slike.

Za statističku obradu dobivenih podataka korišten je programski sustav Statistica 8 (StatSoft, Inc., Tulsa, SAD). U Tablicama 4 i 5 nalaze se rezultati statističke analize varijance (ANOVA) i post-hoc Tukey testa na 95 %-tnoj razini vjerojatnosti za sve određivane fizikalno-kemijske parametre.

Cilj istraživanja bio je odrediti optimalne uvjete omjera nosača i temperature sušenja za dobivanje prahova eteričnog ulja komorača s najvećim iskorištenjem, suhom tvari te topljivosti.

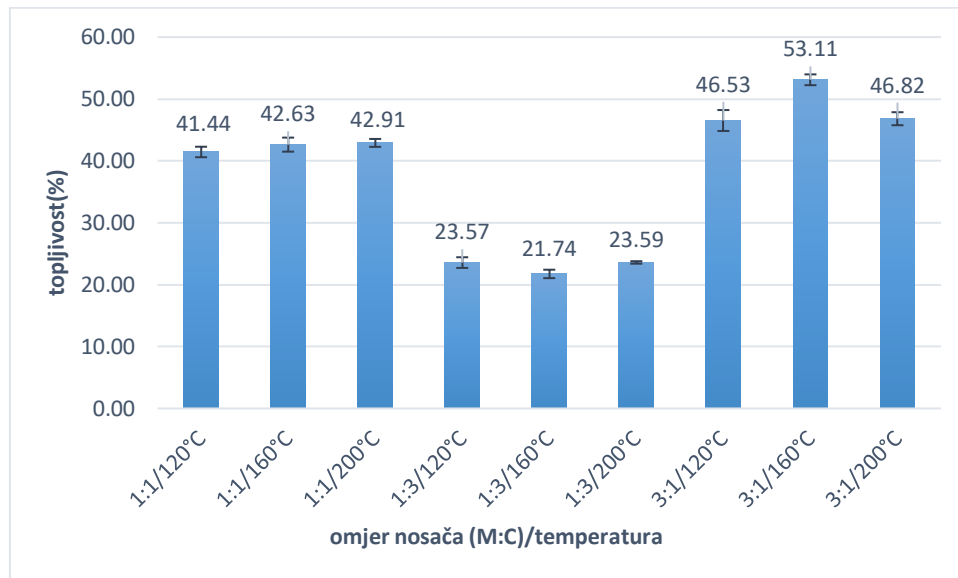
### 4.1. Utjecaj postupka sušenja raspršivanjem na sadržaj suhe tvari, topljivost, veličinu čestica i higroskopnost



**Slika 8.** Sadržaj suhe tvari u prahovima dobivenim sušenjem raspršivanjem eteričnog ulja komorača (M:C = maltodekstrin: $\beta$ -ciklodekstrin)

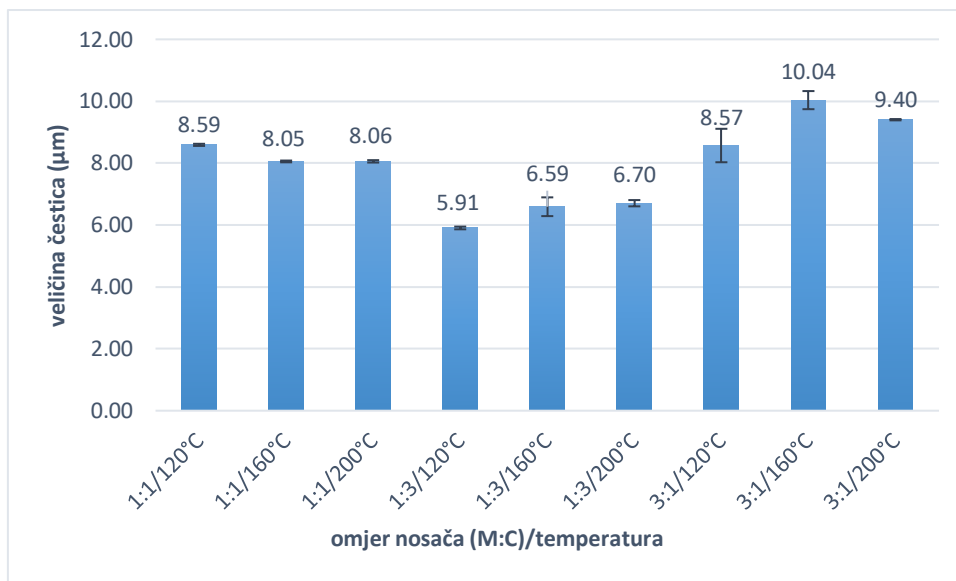


Sadržaj suhe tvari u prahovima eteričnog ulja komorača dobivenih sušenjem raspršivanjem iznosi od 94,68 do 97,24 % (Slika 8). Najveći sadržaj suhe tvari određen je pri temperaturi sušenja od 200 °C i omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 1:1. Najmanji sadržaj suhe tvari dobiven je pri uvjetima od 120 °C te omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1.



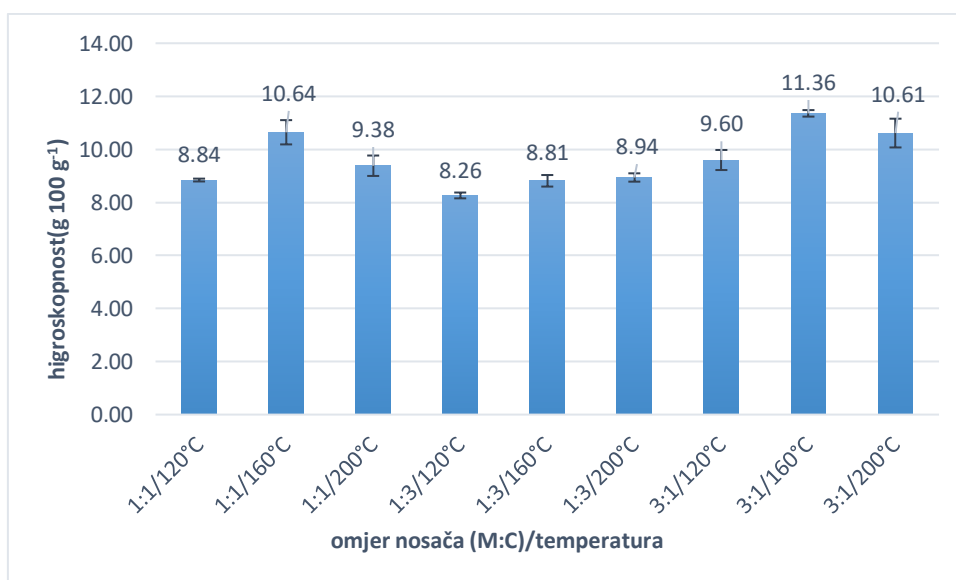
**Slika 9.** Topljivost prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem eteričnog ulja komorača (M:C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin)

Topljivost prahova eteričnog ulja komorača dobivenih sušenjem raspršivanjem prikazanih na Slici 9 iznosi od 21,74 do 53,11 %. Prah najveće topljivosti dobiven je pri uvjetima temperature od 160 °C te omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1, dok je prah najmanje topljivosti proizveden sušenjem na 160 °C i omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 1:3.



**Slika 10.** Veličina čestica prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem eteričnog ulja komorača (M:C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin)

Rezultati istraživanja veličine čestica prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem eteričnog ulja komorača prikazani su na Slici 11 kao srednji promjer čestica  $d(0,5)$  izraženi u  $\mu\text{m}$  te iznose od 5,91 do 10,04  $\mu\text{m}$ . Promjer najvećih čestica od 10,04  $\mu\text{m}$  dobiven je pri temperaturi sušenja od 160 °C i omjeru nosača nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1, dok su najmanje čestice od 5,91  $\mu\text{m}$  dobivene pri uvjetima sušenja od 120 °C i omjeru nosača nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 1:3.



**Slika 11.** Higroskopnost prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem eteričnog ulja komorača (M:C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin)

Higroskopsnost prahova dobivenih sušenjem raspršivanjem eteričnog ulja komorača prikazani su na Slici 10 i iznose od 8,26 do 11,36 g 100 g<sup>-1</sup>. Najveću higroskopsnost 11,36 g 100 g<sup>-1</sup> ima prah dobiven pri temperaturi sušenja od 160 °C te omjeru nosača nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1. Najmanju higroskopsnost 8,26 g 100 g<sup>-1</sup> ima prah proizveden na temperaturi sušenja od 120 °C i omjeru nosača nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 1:3.

**Tablica 4.** Rezultati statističke analize utjecaja temperature i udjela nosača na fizikalna svojstva praha eteričnog ulja sjemenki komorača

Izvor varijacije	Suha tvar (%)	Topljivost (%)	Veličina čestica d (0.5) μm	Higroskopsnost (g 100 g <sup>-1</sup> )
Temperatura	p < 0,01*	p < 0,01*	p < 0,01*	p < 0,01*
120°C	95,15 ± 0,23 <sup>a</sup>	37,18 ± 0,39 <sup>a</sup>	7,69 ± 0,09 <sup>a</sup>	8,90 ± 0,13 <sup>a</sup>
160°C	96,08 ± 0,23 <sup>b</sup>	39,16 ± 0,39 <sup>b</sup>	8,23 ± 0,09 <sup>b</sup>	10,27 ± 0,13 <sup>c</sup>
200°C	96,86 ± 0,23 <sup>b</sup>	37,77 ± 0,39 <sup>ab</sup>	8,06 ± 0,09 <sup>ab</sup>	9,64 ± 0,13 <sup>b</sup>
Udio nosača (M:C)	p = 0,13	p < 0,01*	p < 0,01*	p < 0,01*
1:1	96,45 ± 0,23 <sup>a</sup>	42,33 ± 0,39 <sup>b</sup>	8,23 ± 0,09 <sup>b</sup>	9,62 ± 0,13 <sup>b</sup>
1:3	95,87 ± 0,23 <sup>a</sup>	22,97 ± 0,39 <sup>a</sup>	6,40 ± 0,09 <sup>a</sup>	8,67 ± 0,13 <sup>a</sup>
3:1	95,78 ± 0,23 <sup>a</sup>	48,82 ± 0,39 <sup>c</sup>	9,34 ± 0,09 <sup>c</sup>	10,52 ± 0,13 <sup>c</sup>

M: C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost ± standardna pogreška.

\*Statistički značajna varijacija kod p ≤ 0,05. Srednje vrijednosti unutar kolone označene različitim slovima međusobno se statistički razlikuju na p ≤ 0,05.

Analiza varijance (ANOVA) za utjecaj temperature sušenja i udjela nosača na fizikalno-kemijska svojstva praha eteričnog ulja sjemenki komorača prikazana je u Tablici 4.

#### 4.1.1. Sadržaj suhe tvari

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da temperatura ima statistički signifikantan (p ≤ 0,05) utjecaj na sadržaj suhe tvari, dok udio nosača nije imao statistički signifikantan (p = 0,13) utjecaj na sadržaj suhe tvari. Povećanjem temperature sušenja sadržaj suhe tvari se povećava, što je vidljivo i u dobivenim rezultatima za najveći i najmanji sadržaj suhe tvari. Istraživanje utjecaja temperature sušenja (180, 200 i 220 °C) na prahu eteričnog ulja limete dobivenog sušenjem raspršivanjem od strane Bringas-Lantigua i sur. (2012) ukazuje da je sadržaj suhe tvari dobivenih prahova iznosio od 92,9 do 95,1 %, koristeći maltodekstrin u udjelu 51,2 % i arapsku gumu u udjelu 28,8 % kao nosače. Najveći sadržaj suhe tvari zabilježen je pri 220 °C jer je pri toj temperaturi vidljiva najveća brzina isparavanja vode. De Barros Fernandes i sur. (2013) su također istraživali utjecaj temperature (135-195 °C) na fizikalno-kemijska svojstva prahova

eteričnog ulja ružmarina dobivenih postupkom sušenja raspršivanjem. Sadržaj suhe tvari prahova iznosio je 96,84-99,74 % te su došli do zaključka da se povećanjem temperature povećava sadržaj suhe tvari u prahovima, što je u skladu s rezultatima ovog istraživanja. Kod viših temperatura ulaznog zraka postoji veći temperaturni gradijent između atomiziranih čestica i zraka za sušenje, što rezultira većim pokretačkim silama za isparavanje vode (Phisut, 2012).

#### **4.1.2. Topljivost**

Iz prikazanih rezultata analize, vidljivo je da je temperatura imala statistički signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na topljivost dobivenih prahova. Porastom temperature sa 120 na 160 °C topljivost je rasla, dok se daljnjim porastom temperature na 200 °C počela smanjivati. Kori i sur. (2022) proveli su istraživanje na prahu eteričnog ulja šipka dobivenog sušenjem raspršivanjem. Analiziran je utjecaj temperature sušenja 125 i 150 °C na fizikalno-kemijska svojstva praha uz upotrebu samog proteina sirutke i mješavine proteina sirutke i maltodekstrina kao nosača. Veća topljivost prahova (91 i 98 %) uočena je na temperaturi sušenja od 150 °C, dok je niža topljivost (84 i 86 %) uočena na temperaturi sušenja od 125 °C. Mogući razlog niže topljivosti na 125 °C je veća površina ulja koje je spriječilo njegovu topljivost zbog hidrofobnosti samog ulja. Signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na topljivost imao je i udio nosača. U istraživanju Da Costa i sur. (2013) proučavan je utjecaj nosača maltodekstrina, arapske gume i modificiranog škroba na kemijska svojstva prahova eteričnog ulja origana dobivenih postupkom sušenja raspršivanjem. Topljivost proizvedenih prahova iznosila je od 74,2-77,2 % te je uočeno da povećanje koncentracije maltodekstrina dovodi do povećane topljivosti prahova eteričnog ulja origana što je u skladu s rezultatima provedenog istraživanja. Povećanje topljivosti upotrebom većih udjela maltodekstrina se javlja jer maltodekstrin sadrži brojne hidroksilne skupine u svojoj strukturi, što ga čini lakše topljivim u vodi.

#### **4.1.3. Veličina čestica**

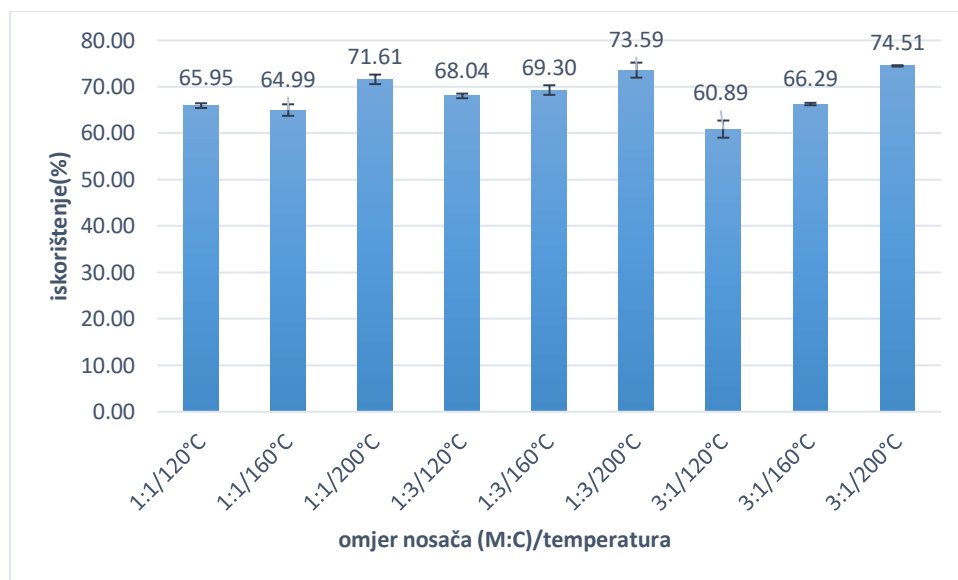
Temperatura sušenja imala je signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na veličinu čestica. Najveće čestice dobivene su pri temperaturi od 160 °C, a najmanje pri temperaturi od 120 °C. Botrel i sur. (2012) su proučavali utjecaj uvjeta sušenja raspršivanjem na fizikalno-kemijska svojstva praha dobivenog iz eteričnog ulja origana. Prilikom provedbe pokusa varirani parametar je bila temperatura sušenja uz nosače škrob, maltodekstrin i arapsku gumu. Veličina čestica iznosila je 5,741-10,099  $\mu\text{m}$  pri čemu su najmanje čestice dobivene pri temperaturi sušenja 160 °C, dok

su najveće čestice dobivene na 188 °C. Na veličinu čestica utjecaj ima visoka temperatura sušenja na kojoj će se proizvesti čestice većeg promjera. Kontrola veličine čestica praha važan je čimbenik jer uvelike utječe na izgled, protočnost i disperzibilnost praha. Također, pri visokoj temperaturi sušenja povećava se i brzina strujanja zraka za sušenje, što uzrokuje povećanje veličine čestica zbog kratkog zadržavanja čestica u komori za sušenje, što rezultira manjim uklanjanjem vlage i većim česticama. Signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na veličinu čestica imao je i omjer nosača, pri čemu je uočeno da povećanje udjela maltodekstrina uzrokuje stvaranje većih čestica praha. De Barros Fernandes i sur. (2016) proveli su istraživanje na prahu eteričnog ulja đumbira dobivenog sušenjem raspršivanjem koristeći maltodekstrin, arapsku gumu i inulin kao nosače. Veličina čestica dobivenog praha varirala je između 10,75-12,71  $\mu\text{m}$ . Veće čestice su dobivene kada su se kao nosači koristili mješavina maltodekstrina i arapske gume, dok su manje čestice dobivene kada su se kao nosač koristili mješavina inulina i arapske gume. Prema provedenom istraživanju može se zaključiti da dodatak maltodekstrina utječe na formiranje većih čestica praha.

#### **4.1.4. Higroskopnost**

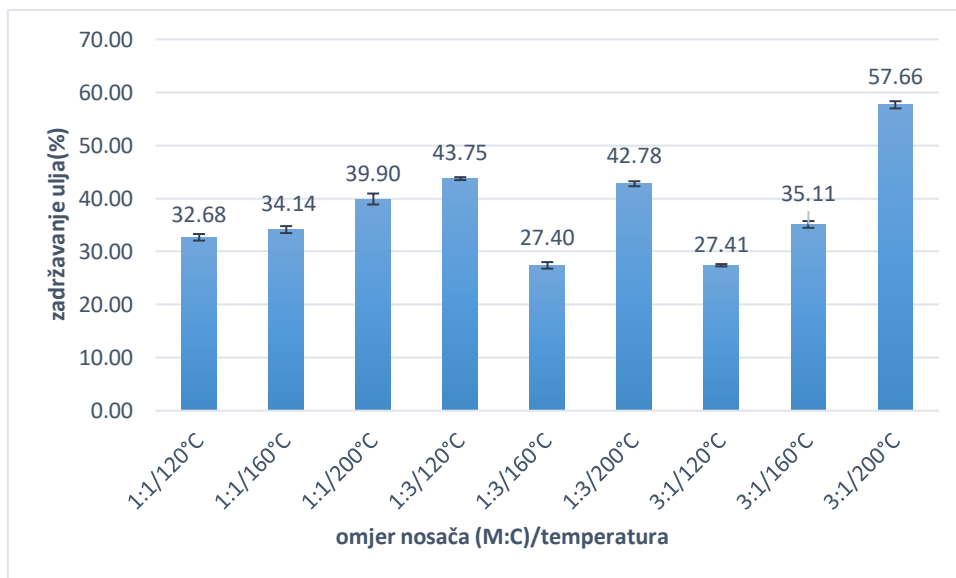
Statistički signifikantan utjecaj ( $p \leq 0,05$ ) na higroskopnost imala je temperatura sušenja. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da su najveću higroskopnost imali prahovi dobiveni pri temperaturi od 160 °C, a najmanju prahovi oni dobiveni pri temperaturi od 120 °C. Fernandes i sur. (2013) proučavali su utjecaj temperatura sušenja raspršivanjem (135-195 °C) na svojstva praha eteričnog ulja ružmarina. Dobivene vrijednosti higroskopnosti iznosile su od 15,87 do 18,90 %. Korištenjem najnižih temperatura (135 °C) sušenja dobiveni su prahovi s nižim vrijednostima higroskopnosti, što se može objasniti činjenicom da prah proizveden u tim uvjetima ima veći udio vlage i posljedično niži koncentracijski gradijent vode između praha i atmosfere. Signifikantan utjecaj na higroskopnost prahova pokazao je i udio nosača, uz smanjenje higroskopnosti prahova upotrebom većih udjela  $\beta$ -ciklodekstrina. Atefi i sur. (2017) istraživali su utjecaj arapske gume i  $\beta$ -ciklodekstrina na svojstva praha eteričnog ulja šafrana. Prema rezultatima rada, najveću higroskopnost imao je prah u kojem je korištena samo arapska guma kao nosač (10,21 %), a najmanju higroskopnost je imao prah u kojem je korišten samo  $\beta$ -ciklodekstrin (2,39 %). Za razliku od arapske gume,  $\beta$ -ciklodekstrin ima nižu higroskopnu prirodu, stoga je razumno da se higroskopnost povećava s količinom arapske gume kao nosača. Dobiveni rezultati u skladu su s ovim istraživanjem u kojem prahovi s većom količinom  $\beta$ -ciklodekstrina imaju nižu higroskopnost od prahova s manjom količinom  $\beta$ -ciklodekstrina.

#### 4.2. Utjecaj postupka sušenja raspršivanjem na iskorištenje procesa, zadržavanje ulja i učinkovitost procesa



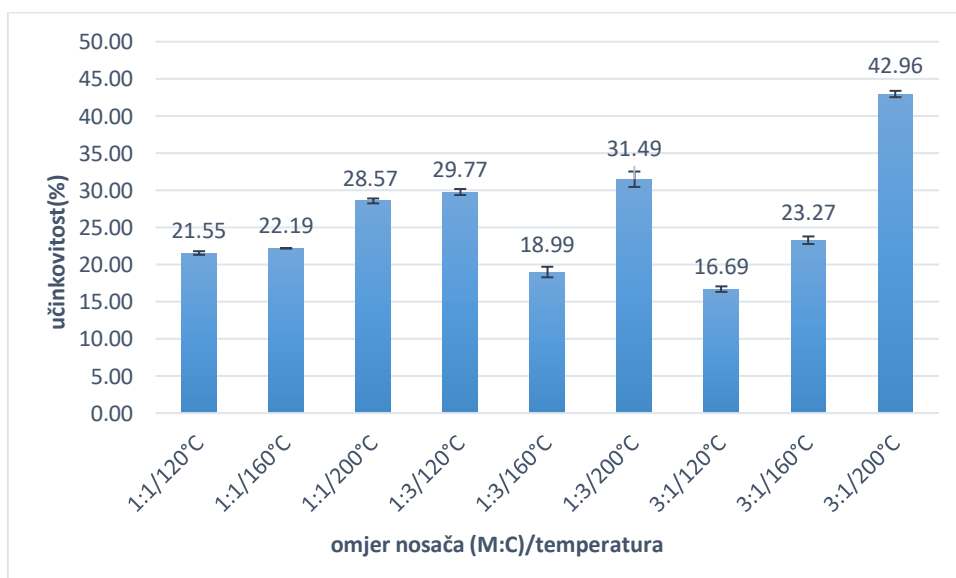
**Slika 12.** Iskorištenje procesa sušenja raspršivanjem eteričnog ulja komorača u dobivenim prahovima (M:C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin)

Na Slici 12 prikazani su rezultati iskorištenja procesa sušenja raspršivanjem eteričnog ulja komorača za svih 9 prahova. Rezultati iskorištenja iznose od 60,89 do 74,51 %. Najveće iskorištenje procesa u iznosu od 74,51 % ostvareno je pri uvjetima sušenja od 200 °C te omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1. Najmanje iskorištenje procesa iznosi 60,89 % pri temperaturi sušenja 120 °C i omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1.



**Slika 13.** Zadržavanje ulja u prahovima dobivenim sušenjem raspršivanjem eteričnog ulja komorača (M:C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin)

Na Slici 13 prikazani su rezultati zadržavanja ulja u prahovima dobivenim raspršivanjem eteričnog ulja komorača te se kreću od 27,40 do 57,66 %. Najbolje zadržavanje ulja 57,66 % vidljivo je pri temperaturi sušenja od 200 °C te omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1, dok je najmanje zadržavanje ulja 27,40 % dobiveno pri temperaturi sušenja od 160 °C i omjeru nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 1:3.



**Slika 14.** Učinkovitost procesa sušenja raspršivanjem (M:C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin)

Učinkovitost procesa sušenja raspršivanjem prikazana je na Slici 14. Učinkovitost se kretala u rasponu od 18,99 do 42,96 %. Najveća učinkovitost procesa od 42,96 % vidljiva je pri uvjetima sušenja od 200 °C i omjeru nosača nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 3:1. Najmanja učinkovitost procesa od 18,99 % vidljiva je pri temperaturi sušenja od 160 °C i omjeru nosača nosača maltodekstrina i β-ciklodekstrina 1:3.

**Tablica 5.** Rezultati statističke analize utjecaja temperature i udjela nosača na iskorištenje, zadržavanje ulja i učinkovitost inkapsulacije eteričnog ulja sjemenki komorača sušenjem raspršivanjem

Izvor varijacije	Iskorištenje (%)	Zadržavanje ulja (%)	Učinkovitost (%)
Temperatura	p < 0,01*	p < 0,01*	p < 0,01*
120°C	64,96 ± 0,44 <sup>a</sup>	34,61 ± 0,25 <sup>b</sup>	24,10 ± 0,21 <sup>a</sup>
160°C	66,86 ± 0,44 <sup>b</sup>	32,22 ± 0,25 <sup>a</sup>	26,75 ± 0,21 <sup>b</sup>
200°C	73,24 ± 0,44 <sup>c</sup>	46,78 ± 0,25 <sup>c</sup>	27,64 ± 0,21 <sup>c</sup>
Udio nosača (M:C)	p < 0,01*	p < 0,01*	p < 0,01*
1:1	67,52 ± 0,44 <sup>a</sup>	35,57 ± 0,25 <sup>a</sup>	22,67 ± 0,21 <sup>b</sup>
1:3	70,31 ± 0,44 <sup>b</sup>	37,97 ± 0,25 <sup>b</sup>	21,48 ± 0,21 <sup>a</sup>
3:1	67,23 ± 0,44 <sup>a</sup>	40,06 ± 0,25 <sup>c</sup>	34,34 ± 0,21 <sup>c</sup>

M:C = maltodekstrin:β-ciklodekstrin

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost ± standardna pogreška.

\*Statistički značajna varijacija kod  $p \leq 0,05$ . Srednje vrijednosti unutar kolone označene različitim slovima međusobno se statistički razlikuju na  $p \leq 0,05$ .

Analiza varijance (ANOVA) za utjecaj temperature sušenja i udjela nosača na iskorištenje, zadržavanje ulja i učinkovitost inkapsulacije eteričnog ulja sjemenki komorača sušenjem raspršivanjem prikazana je u Tablici 5.

#### 4.2.1. Iskorištenje procesa

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da je statistički signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na iskorištenje procesa imala temperatura sušenja pri čemu se povećanjem temperature povećava iskorištenje procesa. Ren i sur. (2020) proveli su istraživanje o utjecaju temperature sušenja (110, 130, 150, 170 i 190 °C) na fizikalno-kemijska svojstva mikrokapsula ulja citrusa. Najniže iskorištenje procesa (41,5 %) dobiveno je pri temperaturi od 110 °C zbog visokog sadržaja vlage te se povećanjem temperature povećavalo i iskorištenje procesa, a sadržaj vlage smanjivao. Najviše



iskorištenje (51,4 %) je dobiveno pri temperaturi od 150 °C, nakon čega je zabilježen pad (23,5 %) pri temperaturi sušenja od 190 °C. Moguća razlika u dobivenim rezultatima je u tome što navedeni autori nisu koristili mješavinu nosača, nego samo maltodekstrin koji se pri visokim temperaturama sušenja počeo topiti te stvarati ljepljivu površinu mikrokapsula praha koje su se zadržavale na unutarnjim stijenkama komore za sušenje. Signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na iskorištenje ima i udio nosača. Najveće iskorištenje procesa vidljivo je pri omjeru nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina 1:3. Razlog tomu je što formiranje kompleksa s  $\beta$ -ciklodekstrinom može zaštititi lipofilne komponente koje su osjetljive na degradaciju uzrokovanu toplinom, kisikom ili svjetlom jer  $\beta$ -ciklodekstrin ima najmanju topljivost u vodi od svih ciklodekstrina zbog stvaranja intramolekularnih vodikovih veza te hidrofobnu šupljinu koja omogućuje lako vezanje lipofilnih komponenti (Astray i sur., 2009).

#### **4.2.2. Zadržavanje ulja**

Statistički signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na zadržavanje ulja ima temperatura sušenja. Najveće zadržavanje ulja vidljivo je pri temperaturi od 200 °C, a najmanje pri temperaturi od 120 °C. Bringas-Lantigua i sur. (2012) proveli su istraživanje utjecaja temperature sušenja (180, 200 i 220 °C) na prahu eteričnog ulja limete dobivenog sušenjem raspršivanjem koristeći maltodekstrin u udjelu 51,2 % i arapsku gumu u udjelu 28,8 % kao nosače. Najveće zadržavanje ulja pokazali su prahovi dobiveni pri temperaturi sušenja od 220 °C, dok su najmanje zadržavanje ulja pokazali prahovi dobiveni pri temperaturi sušenja od 180 °C. Iz dobivenih rezultata je vidljivo da je povećanje temperature pogodovalo zadržavanju ulja, zbog toga što povećanje temperature sušenja dovodi do brzog stvaranja polupropusne membrane oko emulzije, čime se osigurava bolje zadržavanje hlapljivih tvari. Udio nosača također ima signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na zadržavanje ulja, što potvrđuje istraživanje Ribeiro i sur. (2020) koji su ispitivali utjecaj različitih udjela nosača maltodekstrina na fizikalno-kemijska svojstva mikrokapsula bogatih karotenoidima dobivenih sušenjem raspršivanjem buriti uljnih emulzija. Vrijednosti zadržavanja ulja su rasle kako se povećavao udio maltodekstrina što je u skladu s navedenim rezultatima istraživanja te je najveća vrijednost zadržavanja ulja od 56,38 % dobivena pri omjeru suhe tvari emulzije i maltodekstrina 1:1,25, dok je najmanja vrijednost zadržavanja ulja dobivena pri omjeru suhe tvari emulzije i maltodekstrina 1:0,75. Poznato je da maltodekstrin brzo formira gustu mrežu tijekom sušenja, pružajući tako dobru zaštitu materijalu jezgre čime je smanjen gubitak ulja i posljedično karotenoida.

### 4.2.3. Učinkovitost procesa

Dobiveni rezultati pokazuju da temperatura i udio nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina imaju signifikantan ( $p \leq 0,05$ ) utjecaj na učinkovitost procesa te se učinkovitost povećava s povećanjem temperature i upotrebom većeg udjela maltodekstrina kao nosača. Rezultati su u skladu s Alves i sur. (2013) koji su proveli istraživanje o inkapsulaciji eteričnog ulja iz biljke *Pterodonemarginatus* uz maltodekstrin i arapsku gumu kao nosače. Najveća učinkovitost procesa (98,63 %) uočena je pri temperaturi sušenja od 160 °C i omjeru eteričnog ulja, arapske gume i maltodekstrina 1:3:3,6, dok je najmanja učinkovitost procesa (84,89 %) vidljiva pri temperaturi sušenja od 130 °C i omjeru eteričnog ulja i arapske gume 1:2. Iz rezultata je vidljivo da se upotrebom maltodekstrina i povećanjem temperature povećava učinkovitost procesa. Fernandes i sur. (2016) također su došli do zaključka da povećanje udjela maltodekstrina utječe na povećanje učinkovitosti procesa u prahovima eteričnog ulja đumbira dobivenim sušenjem raspršivanjem koristeći maltodekstrin, arapsku gumu i inulin kao nosače. Najmanja učinkovitost procesa od 48,0 % dobivena je kada su se kao nosači koristili arapska guma i inulin, dok je najveća učinkovitost procesa od 93,0 % dobivena kada su se kao nosači koristili arapska guma i maltodekstrin. Priroda nosača je jedan od glavnih čimbenika za visoku učinkovitost procesa inkapsulacije ulja. Sukladno navedenom, mješavina nosača koja je sadržavala maltodekstrin je pokazala najveću učinkovitost procesa zbog toga što on pruža dobru zaštitu inkapsuliranih materijala te ugradnja ovog ugljikohidrata u zaštitni sloj poboljšava svojstva sušenja jezgre, najvjerojatnije povećanjem stvaranja suhe kore oko kapljica za sušenje, smanjenjem propusnosti kisika i eventualnim popunjavanjem praznih prostora u jezgri za kapsuliranje.

## 5. ZAKLJUČAK

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

1. Primjena procesa sušenja raspršivanjem eteričnog ulja komorača pokazala se učinkovitom u proizvodnji praha poželjnih fizikalno-kemijskih svojstava.
2. Vrijednosti udjela suhe tvari proizvedenih prahova kretale su se u rasponu od 94,68 do 97,24 %, topljivosti od 21,74 do 53,11 %, veličine čestica  $d(0,5)$  od 5,91 do 10,04  $\mu\text{m}$  i higroskopnosti od 8,26 do 11,36  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ .
3. Vrijednosti iskorištenja postupka sušenja raspršivanjem kretale su se od 60,89 do 74,51 %, zadržavanja ulja od 27,40 do 57,66 %, dok se učinkovitost postupka kretala od 18,99 do 42,96 %.
4. Povećanjem temperature sušenja povećao se sadržaj suhe tvari, topljivost, higroskopnost i veličina čestica. Povećanje udjela nosača maltodekstrina pozitivno je utjecalo na topljivost, higroskopnost i veličinu čestica, dok na sadržaj suhe tvari udio nosača nije imao signifikantan utjecaj.
5. Prema statističkoj obradi rezultata, za proizvodnju prahova najboljih fizikalno-kemijskim svojstava mogu se izdvojiti sljedeći uvjeti procesa: temperatura sušenja 160 °C te omjer nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina 3:1.
6. Povećanje temperature sušenja rezultiralo je povećanjem iskorištenja procesa, zadržavanja ulja i učinkovitosti procesa. Nadalje, povećanjem udjela nosača maltodekstrina, povećalo se zadržavanje ulja i učinkovitost procesa, dok se povećanjem udjela nosača  $\beta$ -ciklodekstrina povećava iskorištenje procesa.
7. Prema statističkoj obradi rezultata, za proizvodnju prahova s najboljim zadržavanjem ulja i učinkovitosti mogu se izdvojiti sljedeći uvjeti procesa: temperatura sušenja 200 °C te omjer nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina 3:1, dok se za najbolje iskorištenje mogu izdvojiti temperatura sušenja 200 °C i omjer nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina 1:3.
8. Uzevši u obzir sve promatrane parametre može se zaključiti da su optimalni uvjeti za proizvodnju praha eteričnog ulja komorača najboljih fizikalno-kemijskih svojstava temperatura sušenja 200 °C te primjena nosača maltodekstrina i  $\beta$ -ciklodekstrina u omjeru 3:1.

## 6. LITERATURA

Ahmad BS, Talou T, Saad Z, Hijazi A, Cerny M, Kanaan H, i sur. (2018) Fennel oil and by-products seed characterization and their potential applications. *Ind Crops Prod* **111**, 92-98. doi:10.1016/j.indcrop.2017.10.008

Alves SF, Borges LL, dos Santos TO, de Paula JR, Conceiçã, EC, Bara MT (2014) Microencapsulation of essential oil from fruits of *Pterodon emarginatus* using gum arabic and maltodextrin as wall materials: composition and stability. *Dry Technol* **32(1)**, 96-105. DOI: 10.1080/07373937.2013.816315

Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin JR (1969) Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci Today* **14** , 4–11.

Anka ZM, Gimba SN, Nanda A, Salisu L (2020) Phytochemistry and Pharmacological Activities of *Foeniculum Vulgare*. *IOSR J Pharm* **10**, 1-10.

Anwar F, Ali M, Hussain AI, Shahid M (2009b) Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Pakistan. *Flavour Fragr J* **24(4)**, 170-176. doi:10.1016/j.indcrop.2012.10.012

Anwar F, Hussain AI, Sherazi STH, Bhangar MI (2009a) Changes in composition and antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) fruit at different stages of maturity. *J Herbs Spices Med Plants* **15(2)**, 187-202. doi:10.1080/10496470903139488

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

Astray G, Gonzalez-Barreiro C, Mejuto JC, Rial-Otero R, Simal-Gándara J (2009) A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocoll* **23(7)**, 1631–1640. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.01.001

Atefi M, Nayebzadeh K, Mohammadi A, Mortazavian AM (2017) Using  $\beta$ -cyclodextrin and Arabic Gum as Wall Materials for Encapsulation of Saffron Essential Oil. *Iran J Pharm Res*, **16(1)**, 93–102.

- Badgujar SB, Patel VV, Bandivdekar AH (2014) *Foeniculum vulgare* Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed Res Int* **2014**, 1-33. <https://doi.org/10.1155/2014/842674>
- Bakry AM, Abbas S, Ali B, Majeed H, Abouelwafa MY, Mousa A, i sur. (2016) Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Compr. Rev Food Sci Food Saf* **15(1)**, 143–182. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>
- Barros L, Carvalho AM, Ferreira IC (2010) The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences. *LWT-Food Sci Technol* **43(5)**, 814-818. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.010>
- Botrel DA, Borges SV, Fernandes RVDB, Viana AD, Gomes da Costa JM, Marques GR (2012) Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. *Int J Food Sci Technol* **47(11)**, 2289–2296. doi:10.1111/j.1365-2621.2012.03100.x
- Bringas-Lantigua M, Valdés D, Pino JA (2012) Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated lime essential oil. *Int J Food Sci Technol* **47(7)**, 1511–1517. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02999.x>
- Bukhari H, Shehzad A, Saeed K, Sadiq BM, Tanveer S, Iftikhar T (2014) Compositional profiling of fennel seed. *Pak J Food Sci* **24(3)**, 132-6.
- Chávarri M, Marañón I, Villarán MC (2012) Encapsulation technology to protect probiotic bacteria. U: Rigobelo EC (ured.) *Probiotics*, IntechOpen, London, str. 501-540. 10.5772/50046
- Da Costa JMG, Borges SV, Hijo AACT, Silva EK, Marques GR, Cirillo M, i sur. (2013). Matrix structure selection in the microparticles of essential oil oregano produced by spray dryer. *J Microencapsul* **30(8)**, 717–727. doi:10.3109/02652048.2013.778909
- De Vos P, Faas MM, Spasojevic M, Sikkema J (2010) Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *Int Dairy J* **20(4)**, 292–302. doi:10.1016/j.idairyj.2009.11.008
- Diao WR, Hu QP, Zhang H, Xu JG (2014) Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Food control* **35(1)**, 109-116. doi:10.1016/j.foodcont.2013.06.056

- Dias DR, Botrel DA, Fernandes RVDB, Borges SV (2017) Encapsulation as a tool for bioprocessing of functional foods. *Curr Opin Food Sci* **13**, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.02.001>
- Díaz-Maroto MC, Pérez-Coello MS, Esteban J, Sanz J (2006) Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare* Mill.) from Central Spain. *J Agric Food Chem* **54(18)**, 6814–6818. <https://doi.org/10.1021/jf0609532>
- El-Awadi ME, Hassan EA (2010) Physiological Responses of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) Plants to Some Growth Substances: The Effect of Certain Amino Acids and a Pyrimidine Derivative. *J Am Sci* **6(7)**, 120-125.
- Fernandes RVDB, Borges SV, Botrel DA (2013) Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. *Food Sci Technol* **33**, 171-178.
- Fernandes RVDB, Borges SV, Silva EK, da Silva YF, de Souza HJB, do Carmo E, Botrel DA (2016) Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. *Ind Crops Prod* **94**, 413-423. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.010>
- Grlić Lj (1990) Enciklopedija samoniklog jestivog bilja, 2. izd., August Cesarec, Zagreb, str. 225 - 226.
- Hanif MA, Nisar S, Khan GS, Mushtaq Z, Zubair M (2019) Essential Oils. U: Malik S (ured.) Essential Oil Research. Springer, Cham, str. 3-17. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_1).
- Javed R, Hanif MA, Ayub MA, Rehman R (2020) Fennel. U: Hanif MA, Nawaz H, Khan MM, Byrne HJ (ured.) Medicinal Plants of South Asia, Elsevier, Amsterdam, str. 241-256.
- Javed S, Mushtaq S, Khokhar I, Ahmad R, Haider MS (2012) Comparative antimicrobial activity of clove and fennel essential oils against food borne pathogenic fungi and food spoilage bacteria. *Afr J Biotechnol* **11(94)**, 16065-16070. DOI: 10.5897/AJB11.3058
- Kalođera Z, Blažević N, Salopek N, Jurišić R (1998) Eterična ulja (aetherolea). *Farmaceutski glasnik* **54(6)**, 195-210.
- Kori AH, Mahesar SA, Khaskheli AR, Sherazi STH, Laghari ZH, Panhwar T, i sur. (2022) Effect of Wall Material and Inlet Drying Temperature on Microencapsulation and Oxidative Stability of Pomegranate Seed Oil Using Spray Drying. *J Oleo Sci* **71(1)**, 31-41. doi:10.5650/jos.ess21105. PMID: 35013037

Koudela M, Petříková K (2008) Nutritional compositions and yield of sweet fennel cultivars *Foeniculum vulgare* Mill. ssp. *Vulgare* var. *azoricum* (Mill.) Thell. *Hort Sci* **35**(1), 1-6.

Lovrić T (2003) Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, Hinus, Zagreb, str. 179-204.

Malhotra SK (2012) Fennel and fennel seed. U: Peter KV (ured.) Handbook of Herbs and Spices, 2. izd, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, str. 275 – 302.

Mariod AA (2016) Effect of essential oils on organoleptic (smell, taste, and texture) properties of food. U: Preedy VR (ured.) Essential oils in food preservation, flavor and safety, Academic Press, Cambridge, 131-137. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00013-4>

Marotti M, Piccaglia R, Giovanelli E, Deans SG, Eaglesham E (1994) Effects of Variety and Ontogenic Stage on the Essential Oil Composition and Biological Activity of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *J Essent Oil Res* **6**(1), 57–62. <https://doi.org/10.1080/10412905.1994.9698325>

Marques GR, Fernandes RVDB, Lago AMT, Borges SV, Bertolucci SKV, Lima ADJ B, i sur. (2021) Spray-dried thyme essential oil microparticles using different polymeric matrices. *Dry Technol* **39**(12), 1883-1894. DOI: 10.1080/07373937.2021.1871917

Nedović V, Kalusevic A, Manojlović V, Petrovic T, Bugarski B (2013) Encapsulation systems in the food industry. U: Yanniotis i sur. (ured.) Advances in food process engineering research, Springer Science Business Media, New York, str. 229-253.

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.

Rather MA, Dar BA, Sofi SN, Bhat BA, Qurishi MA (2012) *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arab J Chem* **9**, 1-10. doi:10.1016/j.arabjc.2012.04.011

Reiter B, Lechner M, Lorbeer E (1998) The fatty acid profiles—including petroselinic and cis-vaccenic acid—of different Umbelliferae seed oils. *Lipid Fett* **100**(11), 498–502. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4133\(199811\)100:11<498::AID-LIPI498>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4133(199811)100:11<498::AID-LIPI498>3.0.CO;2-7)

Ren W, Tian G, Zhao S, Yang Y, Gao W, Zhao C, i sur. (2020) Effects of spray-drying temperature on the physicochemical properties and polymethoxyflavone loading efficiency of

citrus oil microcapsules. *LWT- Food Sci Technol* **133**, 109954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109954>

Ribeiro MLFF, Roo YH, Ribeir APB, Nicoletti VR (2020) Effects of maltodextrin content in double-layer emulsion for production and storage of spray-dried carotenoid-rich microcapsules. *Food Bioprod Process* **124**, 208-221. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.09.004>

Sayed-Ahmad B, Talou T, Saad Z, Hijazi A, Merah O (2017) The Apiaceae: Ethnomedicinal family as source for industrial uses. *Ind Crop Prod* **109**, 661-671. doi:10.1016/j.indcrop.2017.09.027

Shahat A, Ibrahim A, Hendawy S, Omer E, Hammouda F, Abdel-Rahman F, i sur. (2011) Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Essential Oils from Organically Cultivated Fennel Cultivars. *Molecules* **16(2)**, 1366-1377. doi:10.3390/molecules16021366

Šilješ I, Grozdanić D, Grgesina I (1992) Poznavanje, uzgoj i prerada ljekovitog bilja, 1. izd., Školska knjiga, Zagreb, str. 53 – 58.

Tonon RV, Brabet C, Hubinge MD (2008) Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *J Food Eng* **88(3)**, 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>

USDA (2019) Spices, fennel seed. USDA - U.S. Department of Agriculture, <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171323/nutrients>. Pristupljeno 1. travnja 2022.

Veiga RDSD, Aparecida Da Silva-Buzanello R, Corso MP, Canan C (2019) Essential oils microencapsulated obtained by spray drying: a review. *J Essent Oil Res* **31(6)**, 457-473. DOI: 10.1080/10412905.2019.1612788

Zuidam NJ, Shimoni E (2010) Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. U: Zuidam NJ, Nedović V (ured.) Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing, Springer Science & Business Media, New York, str. 3-29. DOI 10.1007/978-1-4419-1008-0



## Izjava o izvornosti

Ja Karla Cegledi izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.



---

Vlastoručni potpis