

Inkapsulacija soka aronije tehnikom sušenja raspršivanjem

Magnabosca, Ivan

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:159:594561>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-15**



Repository / Repozitorij:

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



**Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

Ivan Magnabosca
1191242938

**Inkapsulacija soka aronije tehnikom sušenja
raspršivanjem**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Kemija i tehnologija voća i povrća

Mentor: doc. dr. sc. Maja Repajić

Zagreb, 2022.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambeno – tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za kemiju i tehnologiju voća i povrća

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Inkapsulacija soka aronije tehnikom sušenja raspršivanjem

Ivan Magnabosca, 1191242938

Sažetak: Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj omjera suhe tvari soka aronije i maltodekstrina (1:2 i 1:3) te temperature sušenja (120, 150 i 180 °C) na prinos procesa sušenja raspršivanjem te udio vlage, udio ukupnih antocijana i boju prahova soka aronije. Iskorištenje postupka sušenja soka aronije raspršivanjem određeno je u rasponu: 52,59-66,93 %; udio vlage 2,43-3,49 %; udio ukupnih antocijana 244,6-358,2 mg/100 g suhe tvari soka, dok su parametri boje određeni u rasponu: L^* 51,74-54,20, a^* 1,95-3,12, b^* 0,45-0,68, C^* 2,06-3,15 i H^* 0,14-0,33. Viši udio maltodekstrina i viša temperatura sušenja pozitivno su tjecali na iskorištenje procesa, dok je niži udio maltodekstrina bio bolji za očuvanje antocijana u prahu soka aronije. Zaključno, omjer suhe tvari soka i maltodekstrina 1:2 te temperatura sušenja 150 °C pokazali su se kao optimalni uvjeti procesa.

Ključne riječi: sušenje raspršivanjem, antocijani, prah, aronija, inkapsulacija

Rad sadrži: 31 stranica, 8 slika, 10 tablica, 35 literaturnih navoda, 0 priloga

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. Maja Repajić

Pomoć pri izradi: Sanja Lončarić, mag. ing.

Datum obrane: 7. rujna 2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

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

Department of Food Engineering
Laboratory for Chemistry and Technology of Fruits and Vegetables

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

Encapsulation of chokeberry juice with spray drying technique

Ivan Magnabosca, 1191242938

Abstract: The aim of this study was to examine the influence of juice dry matter and maltodextrin ratio (1:2 and 1:3) and drying temperature (120, 150 and 180 °C) on the yield of the spray-drying process, as well as on the moisture content, total anthocyanins content and color of the chokeberry juice powder. The yield of the process was determined in the range: 52.59-66.93%; moisture content 2.43-3.49%; total anthocyanins content: 244.6-358.2 mg/100 g of juice dry matter, while color parameters were determined in a range: L^* 51.74-54.20, a^* 1.95-3.12, b^* 0.45-0.68, C^* 2.06-3.15 and H^* 0.14-0.33. Higher maltodextrin content and higher drying temperature had a positive effect on process yield, while lower maltodextrin content was better for the retention of anthocyanins in chokeberry juice powder. In conclusion, the ratio of dry matter of juice and maltodextrin 1:2 and the drying temperature 150 °C proved to be optimal process conditions.

Keywords: spray-drying, anthocyanins, powder, chokeberry, encapsulation

Thesis contains: 31 pages, 8 figures, 10 tables, 35 references, 0 supplements

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: Maja Repajić, PhD, Assistant Professor

Technical support and assistance: Sanja Lončarić, MSc

Thesis defended: September 7th, 2022

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. ARONIJA.....	2
2.2. KEMIJSKI SASTAV PLODA ARONIJE	2
2.3. ANTOCIJANI	3
2.3.1 ANTOCIJANI U PLODU ARONIJE	5
2.4. INKAPSULACIJA	5
2.4.1. SUŠENJE RASPRŠIVANJEM	7
2.5. INKAPSULACIJA SOKOVA SUŠENJEM RASPRŠIVANJEM.....	9
3. EKSPERIMENTALNI DIO	11
3.1. MATERIJALI.....	11
3.1.1. SOK ARONIJE	11
3.1.2. APARATURA	11
3.1.3. PRIBOR.....	11
3.1.4. KEMIKALIJE	12
3.2. METODE RADA	12
3.2.1. PRIPREMA UZORKA.....	12
3.2.2. ODREĐIVANJE ISKORIŠTENJA POSTUPKA SUŠENJA RASPRŠIVANJEM.....	15
3.2.3. ODREĐIVANJE SADRŽAJA VLAGE	15
3.2.4. EKSTRAKCIJA ANTOCIJANA	16

3.2.5. ODREĐIVANJE MONOMERNIH ANTOCIJANA PH DIFERENCIJALNOM METODOM	16
3.2.6. ODREĐIVANJE BOJE KOLORIMETROM.....	17
3.2.7. OBRADA REZULTATA.....	18
4. REZULTATI I RASPRAVA	19
4.1. ODREĐIVANJE ISKORIŠTENJA POSTUPKA SUŠENJA RASPRŠIVANJEM.....	19
4.2. ODREĐIVANJE SADRŽAJA VLAGE	21
4.3. ODREĐIVANJE UDJELA UKUPNIH ANTOCIJANA	22
4.4. ODREĐIVANJE PARAMETARA BOJE	24
5. ZAKLJUČCI.....	27
6. LITERATURA	28

1. UVOD

Aronija se već se dugo koristi u prehrambenoj industriji zbog svoje antioksidativne aktivnosti koja se prepisuje visokom udjelu antocijana, polifenola, fenolnih kiselina, flavonoida, te vitamina C. Unatoč mnogim dobrobitima, zbog trpkog okusa rijetko se konzumira svježa već se prerađuje u sokove, sirupe, namaze, prah, čaj i dr. (Kulling i Rawel, 2008). Međutim, u tekućem obliku aktivni sastojci su nestabilni te kako bi se očuvali, sok je moguće inkapsulirati. Jedan od načina inkapsulacije je sušenje raspršivanjem. Ovom tehnikom dobiva se prah niskog sadržaja vlage te se tako bioaktivni sastojci mogu bolje očuvati.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj udjela maltodekstrina (1:2 i 1:3) i temperature sušenja (120, 150 i 180 °C) na prinos procesa sušenja raspršivanjem te udio vlage, udio ukupnih antocijana i boju dobivenih prahova soka aronije.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Aronija

Aronija (*Aronia melanocarpa* L.) je višegodišnji grm iz obitelji Rosaceae. Porijeklom je iz istočnih dijelova Sjeverne Amerike, ali je prenesena u Europu početkom 20. stoljeća. Aronija je grm koji može narasti i do 3 m. Listovi koji pokrivaju grane su ovalni. Upotrebljivi dijelovi aronije uglavnom su plodovi koji dozrijevaju krajem kolovoza i u rujnu. Zreli plodovi aronije crno-plave su boje, a na presjek okruglog oblika (slika 1). Ovisno o sorti, njihov promjer se kreće od 6,1 do 17,8 mm, dok se masa 100 plodova kreće od 32 do 111,7 g, ponekad čak i oko 280 g (Ochmian i sur., 2012).



Slika 1. Aronija (prema Anonymus 1)

2.2. Kemijski sastav ploda aronije

Sastav i nutritivna vrijednost ploda aronije ovisi o mnogim čimbenicima, npr. sorti, zrelosti te ekološkim i klimatskim uvjetima. Prema istraživanju Mayer-Miebach i sur. (2012) udio suhe tvari ploda aronije iznosio je 17,9-26 %, soka 11,1-17,4 %, a komine 44,6-50 %. Udio proteina u plodu je nizak i iznosi 3,7 g/100 g suhe tvari (Červenka, 2011). Ukupni sadržaj lipida u svježem plodu iznosi 0,09-0,07 %, a najviši udjeli pronađeni su u koštici (13,9 %) i pokožici (2,9-9,8 %) (Sójka i sur., 2013). Od ugljikohidrata aronija uglavnom sadrži šećere i vlakna. Istraživanja su pokazala da se ukupni sadržaj ugljikohidrata u svježem plodu kreće od 6,21 do 20,92 g/100 g, a ukupni reducirajući šećeri između 5,71 i 19,36 g/100 g, uključujući fruktozu (1,38-4,71 g/100 g), glukoze (1,09-5,70 g/100 g) i saharozu (0-1,53 g/100 g). Više od 60 %

prehrambenih vlakana aronije su netopljive tvari (lignin, celuloza, hemiceluloza) (Šnebergrová i sur., 2014; Ochmian i sur., 2012; Borycka i Stachowiak, 2008).

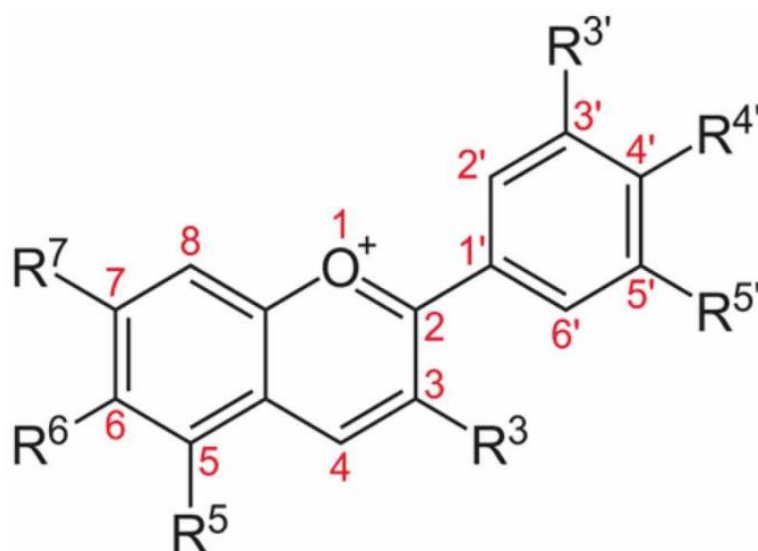
Arginin, tirozin, histidin, lizin, cistein, α -alanin, asparagin, serin, glutaminska kiselina i treonin neke su od aminokiselina prisutnih u aroniji. Većina aminokiselina, uključujući i esencijalne, pronađena je u komini (Tanaka i Tanaka, 2001).

Plodovi aronije jedan su najbogatijih izvora polifenola koji su odgovorni za njenu visoku antioksidacijsku aktivnost. Od polifenola u aroniji možemo pronaći antocijane, flavonole, flavanole, fenolne kiseline i proantocijanidine (Oszmianski i Lachowicz, 2016).

Prema Ochmian i sur. (2012) udio ukupnih polifenola u plodu aronije iznosi 819,2-1329,5 mg/100 g svježeg ploda.

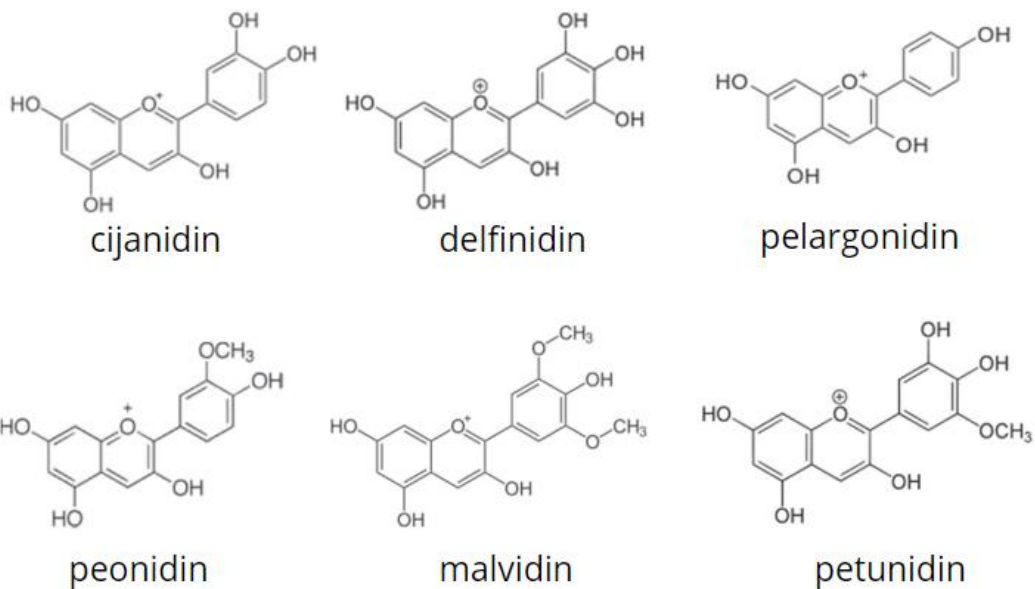
2.3. Antocijani

Antocijani su plavi, crveni ili ljubičasti pigmenti koji se nalaze u biljkama, posebno u cvijeću, voću i gomoljima. U kiselim uvjetima, antocijani se pojavljuje kao crveni pigment, dok plavi pigment antocijana postoji u alkalnim uvjetima. Antocijani se smatraju flavonoidima iako imaju pozitivan naboj na atomu kisika C-prstena osnovne flavonoidne strukture, prikazane na slici 2 (Khoo i sur., 2017).



Slika 2. Osnovna struktura antocijana (prema Khoo i sur. 2017.)

Cijanidin, delfinidin, pelargonidin, peonidin, malvidin i petunidin najčešći su antocijani u biljkama. Njihova kemijska struktura prikazana je na slici 3.



Slika 3. Kemijska struktura nekih antocijana (prema Khoo i sur. 2017.)

Mnoga istraživanja povezala su ove spojeve s antioksidativnim, protuupalnim i antikarcinogenim svojstvima. Otkrivena je obrnuta korelacija između konzumacije polifenolnih spojeva i učestalosti, ne samo određenih vrsta raka, već i kardiovaskularnih, metaboličkih i drugih degenerativnih bolesti (Wang i Stoner, 2008; Zafra-Stone i sur., 2007). Bräunlich i sur. (2013) navode da sok aronije može biti koristan u prevenciji i kontroli dijabetesa tipa II te svim komplikacijama povezanih s dijabetesom. Antioksidativno djelovanje aronije započinje u gastrointestinalnom traktu gdje antocijani mogu služiti kao hvatači slobodnih radikala. Mehanizmi *in vivo* antioksidativne aktivnosti polifenola aronije nakon apsorpcije uključuju suzbijanje stvaranja ROS (reaktivnih vrsta kisika) i RNS (reaktivnih dušikovih vrsta) te obnavljanje antioksidativnih enzima. Međutim, potrebna su dodatna istraživanja kako bi se u potpunosti razumjeli točni mehanizmi antioksidativnog djelovanja aronije *in vivo* (Denev i sur., 2019).

2.3.1 Antocijani u plodu aronije

Tamnoplava boja ploda aronije potječe od visokih koncentracija antocijana, koji uključuju cijanidin-3-glukozid, -3-galaktozid, -3-ksilozid i -3-arabinozid. U nižem udjelu prisutni su pelargonidin-3-galaktozid i pelargonidin-3-arabinozid (Veberic i sur., 2015).

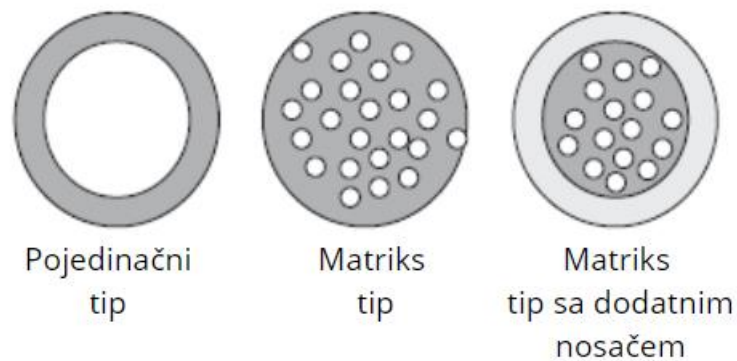
U usporedbi s kupinom, malinom i jagodom, aronija sadrži najveće količine polifenola i antocijana. Ukupna količina antocijana u svježem plodu aronije iznosi između 357 i 461 mg/100 g svježeg ploda (Jakobek i sur., 2007; Benvenuti i sur., 2004).

2.4. Inkapsulacija

U prehrambenoj industriji, inkapsulacija je proces obavijanja sastojaka hrane jestivim omotačem. Materijal koji se inkapsulira naziva se jezgra, aktivni materijal, punjenje ili unutarnja faza, dok se materijal korišten za inkapsulaciju jezgre naziva omotač, kapsula, membrana, nosač ili vanjska faza. Kao konačni proizvod dobivaju se kapsule veličine od nekoliko nm do nekoliko mm (Timilsena i sur., 2020). Inkapsulacija je veoma korisna metoda za inkorporaciju bioaktivnih molekula (antioksidansa, minerala, vitamina, fitosterola, luteina, masnih kiselina i likopena) te mikroorganizama (probiotika) u hranu (Zuidam i Nedović, 2010). Inkapsulacijom su aktivni sastojci zaštićeni od utjecaja topline i vlage, a rukovanje je lakše jer je materijal preveden iz tekućeg u čvrsti oblik (Gibbs i sur., 1999)

Razlikujemo dva osnovna tipa kapsula, pojedinačni tip (eng. *reservoir type*) i matriks tip (eng. *matrix type*). Pojedinačni tipovi još se nazivaju monojezgre ili mononuklearne kapsule. Kod pojedinačnog tipa postoji omotač oko aktivnog materijala, a pri utjecaju visokog tlaka može doći do loma te ispuštanja sadržaja iz kapsule zbog čega se češće primjenjuje matriks tip.

Matriks tip se još naziva polijejzgrene ili polinuklearne kapsule. Kod matriks tipa aktivni materijal raspršen je unutar nosača u obliku kapljica ili je na molekularnog razini jednako raspoređen unutar kapsule. Često se primjenjuju i dodatni nosači (Zuidam i Nedović, 2010). Tipovi kapsula prikazani su na slici 4.



Slika 4. Osnovne tipovi kapsula (*prema* Zuidam i Nedović, 2010)

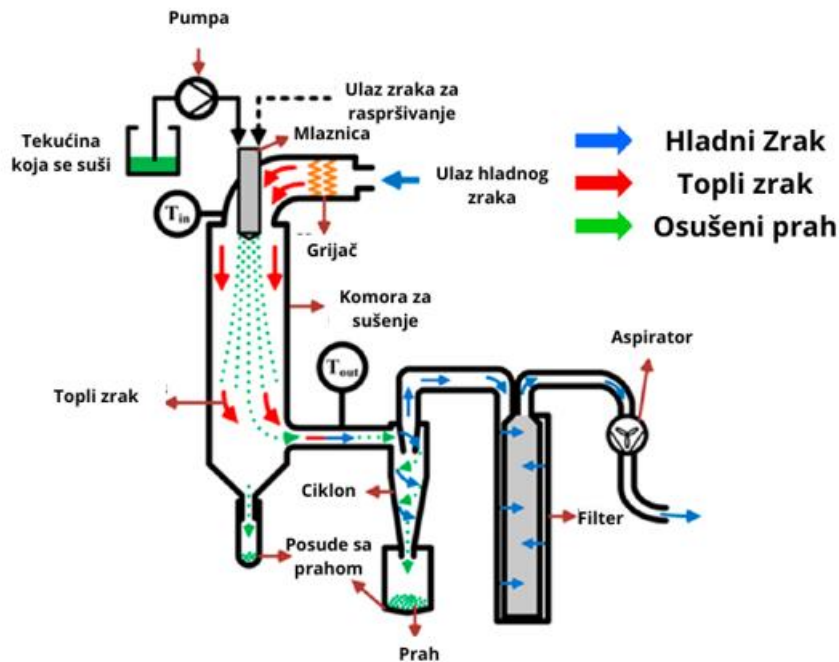
U procesu inkapsulacije koriste se različiti nosači čija funkcija je da djeluju kao fizički zid ili barijera za zaštitu funkcionalnih sastojaka hrane od nepovoljnih uvjeta. Nosači se također koriste kako bi povećali postotak prinosa i smanjili ljepljivost i higroskopnost praškastih produkata. Kako bi inkapsulacija bila uspješna, potrebno je otopiti, emulgirati ili dispergirati nosač u otopinu za sušenje. Idealan nosač mora imati sljedeće karakteristike: prikladna reološka svojstva (niska viskoznost) pri visokim koncentracijama i jednostavno rukovanje tijekom postupka; kemijski afinitet za dispergiranje ili emulgiranje bioaktivnog materijala, kao i za stabilizaciju proizvedena emulzija; da ne reagira s bioaktivnim materijalom tijekom procesa sušenja ili skladištenja; sposobnost zarobljavanja i zadržavanja materijala koji se inkapsulira unutar svoje strukture; mogućnost pružanja maksimalne zaštite aktivnom materijalu od okolišnih uvjeta (kisik, toplina, svjetlost i vlaga).

Nosači su klasificirani u kategorije poput voskova i lipida (pčelinji vosak, emulzije mikro i makro voska te prirodne i modificirane masti), proteina (želatina, proteini sirutke te proteini soje), ugljikohidrata (škrobovi, maltodekstrini, saharidi, kitozan, glukoza, etilceluloza, celulozni acetat te alginati i karagenan) i polimere za hranu (polipropilen, polivinil acetat, polistiren i polibutadien) (Piñón-Balderrama i sur., 2020).

2.4.1. Sušenje raspršivanjem

Prema definiciji, sušenje raspršivanjem je transformacija sirovine u tekućem stanju (emulzije, disperzije, otopine) u prah raspršivanjem sirovine u vrući plin za sušenje (Masters, 1985). Uređaj se uobičajeno sastoji od mlaznice gdje se odvija raspršivanje tekućine u kapljice, komore za sušenje gdje kapljice dolaze u kontakt s vrućim zrakom pri čemu se suše, pumpe koja uvodi tekućinu u mlaznice, grijača koji zagrijava plin na ulazu u komoru za sušenje i ciklona gdje se odvajaju osušene čestice od plina.

Shema procesa sušenja raspršivanjem je prikazana na slici 5, a proces se sastoji od sljedećih koraka: tekućina se dovodi u obliku emulzije, suspenzije ili otopine te se ubrizgava pumpom i raspršuje u komoru za sušenje gdje se pretvara u sprej sitnih kapljica pomoću mlaznice za raspršivanje. Mlaznice za raspršivanje komercijalno su dostupne u tri vrste: centrifugalni disk raspršivač, pneumatske i tlačne mlaznice. Centrifugalni raspršivač s diskom preporuča se za proces velikog kapaciteta zbog njegove fleksibilnosti, jednostavnosti rukovanja i niskog održavanja. Pneumatske mlaznice koriste se za proces malog kapaciteta jer su manje učinkovite. Mlaznice pod pritiskom korisne su za sušenje otopina visoke viskoznosti (Hasheminya i Dehghannya, 2013). Mala veličina kapljica povećava dodirnu površinu tekućine sa strujom vrućeg zraka, gdje su toplina i fenomeni prijenosa mase odgovorni za isparavanje vode. Unutar komore za sušenje kapi dolaze u kontakt s ulaznim plinom, koji može biti ili zagrijani atmosferski zrak ili inertni plin ako je tekuća faza zapaljiva ili je proizvod za sušenje osjetljiv na kisik. U početku, razvoj čestica odvija se nukleacijom i rastom, a kasnije aglomeracijom i koalescencijom malih čestica. Dok rastu, čestice se kreću u spiralnom smjeru prema dnu ili izlazu iz komore za sušenje. Na kraju, suhi prah odvaja se od struje plina i skuplja na dnu konusne komore za sušenje. Veličina čestica prahova dobivenih konvencionalnim sušenjem raspršivanjem može se klasificirati u male veličine (1–5 μm), srednje veličine (5–25 μm) i velike veličine (10–60 μm). Sustav za raspršivanje ima velik utjecaj na konačnu veličinu čestica. Što je veća veličina raspršenih kapljica, veće su čestice praha (Pinto i sur., 2013).



Slika 5. Shematski prikaz procesa sušenja raspršivanjem (prema BUCHI Labortechnik AG, 2015)

Postoje mnogi faktori koji tijekom procesa utječu na konačne karakteristike osušenih proizvoda, kao što su morfologija, veličina, distribucija veličine čestica, sadržaj vlage ili kvantitativni parametri koji se odnose na učinkovitost procesa poput prinosa, učinkovitosti inkapsuliranja i kvaliteta proizvoda. Jedan od takvih faktora je ulazna temperatura sušenja, odnosno temperatura struje plina u kojoj se vrši sušenje. Ulazna temperatura trebala bi biti što viša kako bi se postigao što niži sadržaj vlage u proizvodu, no treba pripaziti da ne dođe do značajne degradacije aktivnih spojeva. Dodatno, visoka ulazna temperatura pomaže i u sprječavanju aglomeracije čestica, prijanjanja čestica na stijenke komore za sušenje i raspada mikrostrukture. Korištene temperature su uobičajeno između 140 i 200 °C (Piñón-Balderrama i sur., 2020). Bednarska i Janiszewska-Turak (2020) promatrali su utjecaje ulazne temperature zraka na gubitak nutrijenata u soku aronije tijekom sušenja raspršivanjem te zaključili da pri temperaturama između 160 i 200 °C nema značajnih razlika u gubitku antocijana i polifenola. Drugi faktor je brzina punjenja, odnosno volumni protok (m^3/min) strujanja ulazne tekućine. Brzina punjenja ima direktan utjecaj na veličinu čestica dobivenog praha. Što je veća brzina protoka tekućine, to je veća veličina čestica dobivenog konačnog proizvoda. Brzina aspiratora je mjera količine plina koji se dovodi u komoru za sušenje kroz mlaznicu

kako bi se osigurala učinkovita atomizacija. Niski kapacitet aspiratora rezultira niskom razinom vlage, dok visoki kapacitet aspiratora potiče veći stupanj odvajanja unutar cilindričnog pokrivača (Piñón-Balderrama i sur., 2020).

Jedan od važnih faktora je i vrijeme zadržavanja, odnosno vrijeme proteklo od ulaska raspršene tekućine u komoru za sušenje do izlaska suhih čestica. Preporučeno vrijeme zadržavanja bi trebalo iznositi 10-15 s kako bi se dobila dovoljna količina finijih čestica bez vlage. Za postizanje finih polugrubih čestica treba primijeniti vrijeme zadržavanja 25-35 s. Za sušenje gustih ili visoko viskoznih tekućina potrebno je duže vrijeme zadržavanja (Anandharamakrishnan i Ishwarya, 2015).

Koncentracija početne otopine također je važan faktor koji treba uzeti u obzir u procesu sušenja raspršivanjem. Ona predstavlja koncentraciju suhe tvari otopljenih u otopini. Što je veća koncentracija početne otopine, to je veća viskoznost, a time i mogućnost dobivanja aglomeriranih čestica nepravilnog oblika. Ukoliko se koncentracija krutih tvari povećava, veličina čestica također pokazuje proporcionalni porast (Piñón-Balderrama i sur., 2020).

2.5. Inkapsulacija sokova sušenjem raspršivanjem

Voćni sokovi, koji su prirodno bogati bioaktivnim spojevima, važan su doprinos ljudskoj prehrani. Međutim, prirodni voćni sokovi vrlo su skloni kvarenju, što proizvodnju stabilnih svježih napitaka čini izazovnom. Inkapsulacija sokova smatra se korisnom za povećanje stabilnosti i učinkovitosti bioaktivnih spojeva te njihovu zaštitu od utjecaja okoliša (Ephrem i sur., 2018). Za sušenje raspršivanjem soka aronije najčešće se koristi maltodekstrin zbog svoje niske cijene u usporedbi s ostalim nosačima (Gawałek i sur., 2017).

Gawałek i sur. (2017) proučavali su utjecaj udjela maltodekstrina na prinos procesa sušenja raspršivanjem soka aronije. Prinos praha soka sa 70 % maltodekstrina određen je između $79,1 \pm 2,4$ i $86,1 \pm 2,6$ %. Zaključak istraživanja bio je da je potrebno barem 60 % maltodekstrina u soku kako bi proces bio ekonomski isplativ. Također su istraživali i utjecaj temperature sušenja na sam proces. Korištene temperature bile su u rasponu od 150 do 170 °C. Povišenjem temperature došlo je do povećanja veličine čestica i većeg prinosa procesa, no također je došlo do smanjenja ukupnih polifenola u usporedbi s procesom pri nižim temperaturama. Prema istraživanju, optimalni uvjeti sušenja raspršivanjem bili su korištenje 60 % maltodekstrina u soku aronije te ulazna temperatura zraka od 160 °C.

Bednarska i Janiszewska-Turak (2019) također su proučavali utjecaj parametara sušenja raspršivanjem soka aronije na udio antocijana. Korištene su temperature od 160 do 200 °C, a kao nosač mješavina maltodekstrina i arapske gume u omjerima 1:1, 1:3 i 3:1. Početni sok sadržao je 9329±365 mg antocijana/100 g suhe tvari, a osušeni prahovi između 1694 i 2028 mg/100 g suhe tvari. Najviše antocijana zadržao je prah sušen pri 160 °C s omjerom maltodekstrina i arapske gume 3:1, a najmanje prah sušen pri 200 °C s omjerom maltodekstrina i arapske gume 1:1. Statistička analiza pokazala je da vrsta nosača nema značajan utjecaj na udio antocijana.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Materijali

3.1.1. Sok aronije

Za proizvodnju praha soka aronije sušenjem raspršivanjem korišten je matični sok aronije dobiven postupkom prešanja plodova aronije.

3.1.2. Aparatura

1. Mini spray dryer B-290 (Büchi, Flawil, Švicarska)
2. Analitička vaga Kern ABT 220-4M (Kern, Njemačka)
3. Tehnička vaga Mettler (točnosti $\pm 0,01$ g) (Mettler Toledo, Ohio, SAD)
4. Vortex uređaj MS2 Minishaker IKA (IKA, Staufen, Njemačka)
5. Ultrazvučna kupelj DT 512 H (Bandelin Electronic, Berlin, Njemačka)
6. Sušionik (Heratherm OMH100, Thermo SCIENTIFIC, Njemačka)
7. Spektrofotometar (UV-1600PC Spectrophotometer, VWR, Pennsylvania, SAD)
8. Kolorimetar (CM-700d, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokio, Japan)

3.1.3. Pribor

1. Plastične Falcon epruvete (50 mL)
2. Menzure (50 i 100 mL)
3. Metalna žličica
4. Plastična žličica
5. Laboratorijske čaše (50 i 100 mL)
6. Odmjerne tikvice (50 mL)
7. Stakleni lijevci
8. Stakleni štapić
9. Tikvice s ravnim dnom (50 mL)
10. Mikropipete Eppendorf (100, 1000, i 5000 μ L)
11. Nastavci za mikropipete Eppendorf
12. Menzura (100 mL)
13. Stakleni lijevci
14. Filter-papir

15. Vata
16. Staklene epruvete
17. Stalak za epruvete

3.1.4. Kemikalije

1. Maltodekstrin DE 4.0 – 7.0 (Biosynth, Bratislava, Slovačka)
2. Destilirana voda
3. Kiseli 50 %-tni etanol (0,1 % mravlje kiseline u 50 %-tnoj vodenoj otopini EtOH)
4. Kalij kloridni pufer pH 1,0 (kalij klorid 0,025 M)

Priprema: U plastičnoj ladici za vaganje odvažuje se 1,86 g kalijeva klorida (KCl) koji se kvantitativno prenese u staklenu čašu volumena 1 L, koja se prije upotrebe dobro ispere deioniziranom vodom te se doda 980 mL deionizirane vode i odvaga se otopi. Pripremljenoj otopini izmjeri se pH, i podesi na vrijednost 1,0 ($\pm 0,05$) s klorovodičnom kiselinom (37 % HCl), čiji utrošak približno iznosi 6,3 mL. Kad je otopina podešena na pH 1,0 prebaci se u odmjernu tikvicu volumena 1 L, koja se prije upotrebe dobro ispere deioniziranom vodom, te do oznake nadopuni deioniziranom vodom.

5. Natrij acetatni pufer 4,5 (natrijev acetat, 0,4 M)

Priprema: U staklenoj čaši volumena 100 mL odvažuje se 54,43 g natrijeva acetata trihidrata ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) koji se kvantitativno prenese u staklenu čašu volumena 1 L, koja se prije upotrebe dobro ispere deioniziranom vodom, te se doda 960 mL deionizirane vode i odvaga se otopi. Pripremljenoj otopini izmjeri se pH, i podesi na vrijednost 4,5 ($\pm 0,05$) s klorovodičnom kiselinom (37 % HCl), čiji utrošak približno iznosi 20 mL. Kad je otopina podešena na pH 4,5 prebaci se u odmjernu tikvicu volumena 1 L, koja se prije upotrebe dobro ispere deioniziranom vodom, te do oznake nadopuni deioniziranom vodom.

3.2. Metode rada

3.2.1. Priprema uzorka

Plan pokusa prema kojem je proizveden prah soka aronije prikazan je u tablici 1. U staklenim čašama pripremaju se uzorci gdje se odvaga nosača (maltodekstrin) doda soku u odnosu na suhu tvar soka u zadanim omjerima (tablica 1). Udio suhe tvari u soku aronije iznosi 20,6 %.

Potrebna odvaga nosača se odvaže u čašu te otopi u 20 mL soka aronije, nakon čega se dodaje određena količina destilirane vode kako bi se suha tvar smjese za sušenje podesila na 30 °Brix-a. Smjesa se zatim dobro izmiješa metalnom žlicom kako bi se što bolje homogenizirala.

Tablica 1. Plan pokusa

Uzorak	Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	Temperatura sušenja (°C)
1	1:2	120
2		150
3		180
4	1:3	120
5		150
6		180

Na ovaj način pripremljeno je ukupno 6 uzoraka koji su zatim osušeni sušenjem raspršivanjem na Mini spray dryer-u (slika 6) pri zadanoj temperaturi (tablica 1). Prilikom sušenja svih uzoraka sljedeći parametri su održavani konstantnim: protok smjese za sušenje 15 %, jačina aspiratora 80 % te stupanj deblokiranja mlaznice 8. U tablici 2 prikazane su specifikacije uređaja za sušenje raspršivanjem.

Osušeni prahovi se sakupe iz ciklonskog separatora i nakon hlađenja na sobnu temperaturu pohranjuju se u plastične Falcon epruvete.



Slika 6. Mini spray dryer B-290 (vlastita fotografija)

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

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

3.2.2. Određivanje iskorištenja postupka sušenja raspršivanjem

Iskorištenje postupka sušenja raspršivanjem računa se prema formuli [1]:

$$\text{Iskorištenje (\%)} = \frac{m_1}{m_0} \quad [1]$$

gdje je :

m_0 - masa soka i nosača prije sušenja (g)

m_1 - masa praha nakon sušenja raspršivanjem (g)

3.2.3. Određivanje sadržaja vlage

Sadržaj vlage (%) u prahovima određen je kao ostatak od ukupne suhe tvari prahova koja je određena sušenjem u sušioniku pri 105 °C do konstantne mase (AOAC, 1984).

U osušenu i izvaganu aluminijsku posudicu s poklopcem stavi se oko 1 g kvarecnog 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 0,5 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 vlage računa se prema sljedećoj formuli [2]:

$$\text{Sadržaj vlage (\%)} = \left(1 - \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}\right) \cdot 100 \quad [2]$$

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)

3.2.4. Ekstrakcija antocijana

U epruvetu se odvaži 0,5 g praškastog uzorka te se doda 7 mL ekstrakcijskog otapala (kiseli 50 %-tni etanol). Uzorak je potrebno dobro otopiti u otapalu miješanjem sa staklenim štapićem te uporabom vortex mješalice. Epruvete se zatim pokriju vatom i stave u ultrazvučnu kupelj 15 min pri 50 °C. Nakon hlađenja uzorci se filtriraju preko filter papira u odmjerne tikvice od 10 mL, a tikvice se zatim otapalom dopune do oznake. Dobiveni ekstrakti se koriste za određivanje monomernih antocijana pH diferencijalnom metodom, a prikazani su na slici 7.



Slika 7. Pripremljeni ekstrakti (*vlastita fotografija*)

3.2.5. Određivanje monomernih antocijana pH diferencijalnom metodom

Reagensi:

1. Kalij kloridni pufer pH 1,0 (kalij klorid 0,025 M)
2. Natrij acetatni pufer pH 4,5 (natrijev acetat, 0,4 M)

Reakcija se postavlja u odmjernim tikvicama volumena 5 mL na način da se doda 0,5 mL ekstrakta. Potom se jedna tikvica do oznake nadopuni puferom pH 1,0, a druga s puferom pH 4,5. Nakon 20 min, pripremljenim reakcijskim otopinama mjeri se apsorbancija pri 520 nm i 700 nm, uz odgovarajuće pufere kao slijepu probu.

Koncentracija monomernih antocijana u uzorku izračunava se kao ekvivalent cijanidin-3-

glukoziada (mg/L) prema formuli [3]:

$$\frac{A \cdot MW \cdot DF \cdot 10^3}{\epsilon \cdot l} \quad [3]$$

gdje je:

A - $(A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=1,0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=4,5}$

MW - molekulska masa (za cijanidin-3-glukozid 449,2 g/mol)

DF - faktor razrijeđenja

10^3 - faktor za preračunavanje g u mg

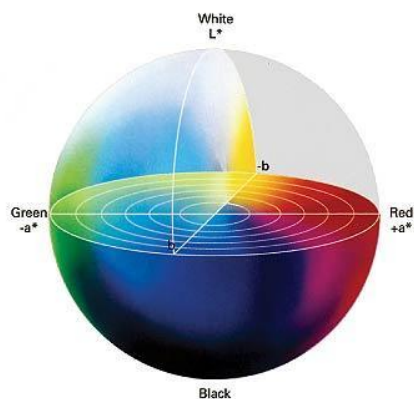
ϵ - molarni apsorpcijski ekstinkcijski koeficijent (za cijanidin-3-glukozid 26900 L/mol cm)

l - debljina kivete (1 cm)

Koncentracija ukupnih antocijana izražena je u mg/100 g suhe tvari soka.

3.2.6. Određivanje boje kolorimetrom

Mjerenje boje na kolorimetru temelji se na parametrima trodimenzionalnog sustava boja, koji se izražavaju u $L^*a^*b^*$ vrijednostima. CIE Lab sustav (slika 8) sastoji se upravo od ovih triju koordinata boja. Koordinata L^* predstavlja svjetlinu, a njezina skala proteže se od 0 do 100 gdje 0 označava crnu, a 100 bijelu boju. Koordinata a^* predstavlja crvenu, odnosno zelenu boju, a skala se proteže od -127 do +127, gdje -127 označava čistu zelenu, a +127 čistu crvenu boju. Koordinata b^* predstavlja žutu, odnosno plavu boju, a skala joj se također proteže od -127 do +127, gdje -127 označava čistu plavu, a +127 čistu žutu boju (Stricker i Orengo, 1995). Vrijednost H° koja predstavlja ton boje i vrijednost C^* koja označava intenzitet ili zasićenost boje određuje se pomoću koordinata a^* i b^* . Kolorimetar radi na principu mjerenja stupnja reflektirane svjetlosti od mjerene površine (Konica Minolta, 2007).



Slika 8. CIELab sustav boja (prema Konica Minolta, 2007)

Postupak određivanja:

Najprije je potrebno napraviti kalibraciju instrumenta crnim valjkom (0 %-tna refleksija). Uzorak praha se postavi na petrijevu zdjelicu koja se poklopi i pomoću kolorimetra se izmjere L^* , a^* i b^* vrijednosti.

Za svaki uzorak provedu se 3 mjerenja. Iz izmjerenih L^* , a^* i b^* vrijednosti izračunaju se vrijednosti C^* i H° prema sljedećim formulama [4, 5]:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [4]$$

$$H^\circ = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad [5]$$

3.2.7. Obrada rezultata

Za eksperimentalni dizajn pokusa i statističku obradu podataka korišten je programski sustav Statistica 12.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, SAD). Eksperiment je dizajniran kao puni faktorijalni dizajn na dvije odnosno tri razine, a sva mjerenja su provedena u paraleli odnosno triplikatu (određivanje parametara boje). U svrhu ispitivanja utjecaja omjera suhe tvari soka i maltodekstrina te temperature sušenja na fizikalno-kemijska svojstva praha soka aronije provedena je multifaktorska analiza varijance, a svi marginalni prosjeci uspoređeni su s Tukey HSD testom. Statistički značajna razlika razmatrana je na razini $p \leq 0,05$ (95 %-tni interval pouzdanosti).

4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj omjera suhe tvari soka aronije i maltodekstrina (1:2 i 1:3) te temperature sušenja (120, 150 i 180 °C) na prinos procesa sušenja raspršivanjem te udio vlage, udio ukupnih antocijana i boju prahova soka aronije. Dobiveni rezultati prikazani su tablično (tablice 3, 5, 7 i 9) kao srednja vrijednost mjerenja±standardna devijacija. Također, dobiveni rezultati su statistički obrađeni, a rezultati statističke analize prikazani su tablično (tablice 4, 6, 8 i 10) kao srednja vrijednost±standardna pogreška.

4.1. Određivanje iskorištenja postupka sušenja raspršivanjem

Tablica 3. Iskorištenje postupka sušenja raspršivanjem

Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	Temperatura sušenja (°C)	Iskorištenje (%)
1:2	120	52,59±0,74
	150	56,88±0,16
	180	60,52±0,46
1:3	120	60,19±1,42
	150	63,71±0,39
	180	66,93±0,24

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost±standardna devijacija.

Iskorištenje postupka sušenja soka aronije raspršivanjem određeno je u rasponu od 52,59±0,74 do 66,93±0,24 % (tablica 3). Iz prikazanih rezultata može se primijetiti da je najniža vrijednost iskorištenja dobivena prilikom sušenja uzorka koji je sadržavao omjer suhe tvari soka i maltodekstrina 1:2 te je sušen pri 120 °C, dok je najveće iskorištenje dobiveno prilikom sušenja uzorka koji je sadržavao omjer suhe tvari soka i maltodekstrina 1:3 te je sušen pri 180 °C. Iz rezultata je vidljivo da je povišenjem udjela maltodekstrina kao i povišenjem temperature dobiven veći prinos praha (tablica 3). Gawalek i sur. (2017) u svom istraživanju dobili su više

vrijednosti prinosa praha soka aronije, određene u rasponu $79,1\pm 2,4$ i $86,1\pm 2,6$ %. Također su zaključili da udio nosača u rasponu od 50-70 % snažno utječe na povećanje prinosa praha. Prehrambenoj industriji cilj je dobiti prah sa što manjim udjelom nosača, ali što viši prinos procesa. Njihova studija je pokazala da udio maltodekstrina ispod 60 % značajno smanjuje prinos praha što može cijeli proces proizvodnje učiniti neprofitabilnim.

Tablica 4. Utjecaj omjera suhe tvari soka i maltodekstrina te temperature sušenja na iskorištenje postupka sušenja raspršivanjem

Izvor varijacije	Iskorištenje (%)
Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	$p < 0,001^*$
1:2	$56,66\pm 1,46^a$
1:3	$63,61\pm 1,26^b$
Temperatura (°C)	$p < 0,001^*$
120	$56,39\pm 2,24^a$
150	$60,30\pm 1,98^b$
180	$63,72\pm 1,86^c$

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost \pm standardna pogreška.

** $p \leq 0,05$. Vrijednosti unutar kolone označene različitim slovima statistički se razlikuju kod $p \leq 0,05$.*

Iz rezultata statističke analize vidljivo je kako su oba ispitivana parametra imala statistički značajan utjecaj na iskorištenje postupka (tablica 4). Povećanjem omjera suhe tvari soka i maltodekstrina dobiveno je veće iskorištenje za približno 7 %. Isti trend pokazao je i utjecaj temperature sušenja, gdje povišenjem temperature dolazi do povećanja iskorištenja postupka (tablica 4). Ti rezultati se slažu s istraživanjima Gawalek i sur. (2017) te Bednarska i Janiszewska-Turak (2019) koji su dobili slične rezultate, odnosno viši udio nosača i povišenje temperature sušenja imali su statistički značajan utjecaj na prinos praha. Povišenjem temperature došlo je do blagog povećanja iskorištenja, dok je povećem udjela maltodekstrina došlo do značajnog povećanja iskorištenja.

4.2. Određivanje sadržaja vlage

Tablica 5. Sadržaj vlage praha aronije

Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	Temperatura sušenja (°C)	Sadržaj vlage (%)
1:2	120	3,24±0,47
	150	3,42±0,44
	180	2,43±0,59
1:3	120	3,49±0,40
	150	2,67±0,73
	180	2,87±0,95

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost±standardna devijacija.

Udio vlage u prahu aronije određen je u rasponu od 2,43±0,59 do 3,49±0,40 %. Najniži udio vlage izmjeren je u prahu s omjerom suhe tvari soka i nosača 1:2 te temperature sušenja 180 °C, dok je najviši udio vlage određen u prahu s omjerom suhe tvari soka i nosača 1:3 te temperaturi sušenja 120 °C (tablica 5). Nešto niži udio vlage dobiven je u istraživanju Bednarska i Janiszewska-Turak (2019) gdje je udio vlage određen u rasponu od 0,09 do 2,9 %, no u tom istraživanju su korištene više temperature sušenja (160-200 °C). Prema Clarkeu (2003) sadržaj vlage trebao bi biti niži od 5 %, jer nizak udio vlage može produžiti korisnost praha u tehnološke svrhe i povećati stabilnost fizičkih svojstava. Rezultati ovog rada pokazali su da dobiveni prah aronije ima odgovarajući sadržaj vlage.

Tablica 6. Utjecaj omjera suhe tvari soka i maltodekstrina te temperature sušenja na sadržaj vlage u prahu soka aronije

Izvor varijacije	Sadržaj vlage (%)
Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	p=0,980
1:2	3,03±0,25 ^a
1:3	3,02±0,28 ^a
Temperatura (°C)	p=0,337
120	3,36±0,19 ^a
150	3,05±0,33 ^a
180	2,66±0,35 ^a

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost±standardna pogreška.

* $p \leq 0,05$. Vrijednosti unutar kolone označene različitim slovima statistički se razlikuju kod $p \leq 0,05$.

Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina, kao i temperatura sušenja, nisu pokazali statistički značajan utjecaj na sadržaj vlage u proizvedenim prahovima (tablica 6), što se slaže s rezultatima istraživanja Bednarska i Janiszewska-Turak (2019).

4.3. Određivanje udjela ukupnih antocijana

Tablica 7. Udio ukupnih antocijana u prahu soka aronije

Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	Temperatura sušenja (°C)	Udio ukupnih antocijana (mg/100 g suhe tvari soka)
1:2	120	358,2±0,4
	150	342,6±0,4
	180	338,6±0,7
1:3	120	248,9±0,4
	150	246,1±0,7
	180	244,6±0,7

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost±standardna devijacija.

Udio antocijana u prahu soka aronije određen je u rasponu od $244,6 \pm 0,7$ do $358,2 \pm 0,4$ mg/100 g suhe tvari soka (tablica 7). Najniži udio ukupnih antocijana određen je u prahu s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:3 te temperature sušenja $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok je najviši udio ukupnih antocijana određen u prahu s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:2 te temperature sušenja $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tablica 7). Udio ukupnih antocijana u početnom soku iznosili su $887,23 \pm 10,89$ mg/100 g suhe tvari soka. Evidentno je da je došlo do očekivanog smanjenja udjela antocijana u svim prahovima tijekom sušenja raspršivanjem. Prema Bednarska i Janiszewska-Turak (2019) gdje je udio antocijana u soku iznosio je 9329 ± 365 mg/100 g suhe tvari, također je uočeno smanjenje udjela ukupnih antocijana nakon sušenja raspršivanjem. U njihovom istraživanju udio antocijana u dobivenim prahovima kretao se od 1694 do 2028 mg/100 g suhe tvari soka.

Tablica 8. Utjecaj omjera suhe tvari soka i maltodekstrina te temperature sušenja na udio ukupnih antocijana u prahu soka aronije

Izvor varijacije	Udio ukupnih antocijana (mg/100 g suhe tvari soka)
Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	$p=0,026^*$
1:2	$376,435 \pm 10,14^b$
1:3	$332,59 \pm 10,10^a$
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	$p=0,991$
120	$354,37 \pm 8,13^a$
150	$355,81 \pm 7,93^a$
180	$353,23 \pm 29,34^a$

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost \pm standardna pogreška.

* $p \leq 0,05$. Vrijednosti unutar kolone označene različitim slovima statistički se razlikuju kod $p \leq 0,05$.

Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina pokazao je statistički značajan utjecaj na udio ukupnih antocijana u prahovima soka aronije, odnosno povećanjem udjela maltodekstrina došlo je do smanjenja udjela ukupnih antocijana (tablica 8). Bednarska i Janiszewska-Turak (2019) svojim istraživanjem zaključili su da vrsta nosača nema značajan utjecaj na udio ukupnih antocijana u prahu, no s povećanjem saharifikacije maltodekstrina opazili su smanjenje udjela antocijana u

prahovima soka aronije.

Povećanje temperature nije pokazalo statistički značajan utjecaj na udio ukupnih antocijana, odnosno povišenjem temperature nije uočena značajna promjena u udjelu ukupnih antocijana (tablica 8). Slični rezultati su dobiveni i u istraživanju Gawalek i sur. (2017) gdje je povišenjem temperature došlo do blagog smanjenja ukupnih polifenola, no analiza varijance pokazala je da su promjene statistički značajne samo pri ekstremnim temperaturnim vrijednostima.

4.4. Određivanje parametara boje

Tablica 9. Parametri boje praha soka aronije

Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	Temperatura sušenja (°C)	L^*	a^*	b^*	C^*	H^*
1:2	120	52,20±0,02	2,15±0,02	0,67±0,00	2,26±0,02	0,30±0,00
	150	51,77±0,09	1,95±0,08	0,68±0,01	2,06±0,07	0,33±0,01
	180	51,74±0,01	2,22±0,04	0,62±0,01	2,31±0,04	0,27±0,00
1:3	120	52,77±0,11	2,60±0,06	0,58±0,03	2,67±0,06	0,22±0,01
	150	54,20±0,12	3,12±0,03	0,45±0,06	3,15±0,03	0,14±0,02
	180	52,43±0,05	2,19±0,05	0,62±0,01	2,28±0,05	0,28±0,00

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost±standardna pogreška.

Rezultati mjerenja parametara boje praha soka aronije prikazani su u tablici 9. Parametar L^* koji predstavlja svjetlinu praha određen je u rasponu od 51,74±0,01 (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:2 sušen pri 180 °C) do 54,20±0,12 (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:3 sušen pri 150 °C). Parametar a^* , koji predstavlja crvenu, odnosno zelenu boju, određen je u rasponu od 1,95±0,08 (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:2 sušen pri 150 °C) do 3,12±0,03 (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:3 sušen pri 150 °C). Parametar b^* , koji predstavlja žutu, odnosno plavu boju, određen je u rasponu od 0,45±0,06 (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:3 sušen pri 150 °C) do 0,68±0,01 (prah s omjerom suhe tvari soka i nosača 1:2 sušen pri 150 °C). Parametar C^* , koji predstavlja intenzitet boje, kretao se u rasponu od 2,06±0,07 (prah s omjerom suhe tvari soka i

maltodekstrina 1:2 sušen pri 150 °C) do $3,15\pm 0,03$ (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:3 sušen pri 150 °C). Parametar H^* , koji predstavlja ton boje, kretao se u rasponu od $0,14\pm 0,02$ (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:3 sušen pri 150 °C) do $0,33\pm 0,01$ (prah s omjerom suhe tvari soka i maltodekstrina 1:2 sušen pri 150 °C), što upućuje na crveni ton boje svih proizvedenih prahova. Prema istraživanju Bednarska i Janiszewska-Turak (2019), parametar L^* određen je u rasponu od $45,3\pm 0,3$ do $47,9\pm 0,3$ što znači da su prahovi dobiveni u tom istraživanju bili nešto tamniji. Nadalje, parametar a^* određen je u znatno većim vrijednostima (od $29,1\pm 0,09$ do $37,5\pm 0,22$) što upućuje da su njihovi prahovi imali više izraženu crvenu komponentu. S druge strane, u njihovom istraživanju parametar b^* određen je u nešto nižim vrijednostima (od $-1,38\pm 0,06$ do $1,42\pm 0,08$) što predstavlja blagi porast plave komponente u prahovima soka aronije u usporedbi s prahovima dobivenim u ovom radu.

Tablica 10. Utjecaj omjera suhe tvari soka i maltodekstrina te temperature sušenja na parametre boje praha soka aronije

Izvor varijacije	L^*	a^*	b^*	C^*	H^*
Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina	$p < 0,001^*$	$p = 0,001^*$	$p = 0,002^*$	$p = 0,001^*$	$p = 0,001^*$
1:2	$51,90\pm 0,08^a$	$2,11\pm 0,04^a$	$0,66\pm 0,01^b$	$2,21\pm 0,04^a$	$0,30\pm 0,01^b$
1:3	$53,13\pm 0,27^b$	$2,64\pm 0,13^b$	$0,55\pm 0,03^a$	$2,70\pm 0,13^b$	$0,21\pm 0,02^a$
Temperatura (°C)	$p = 0,021^*$	$p = 0,178$	$p = 0,161$	$p = 0,161$	$p = 0,438$
120	$52,48\pm 0,13^{ab}$	$2,38\pm 0,10^a$	$0,63\pm 0,02^a$	$2,46\pm 0,09^a$	$0,26\pm 0,02^a$
150	$52,99\pm 0,54^b$	$2,53\pm 0,26^a$	$0,56\pm 0,05^a$	$2,61\pm 0,24^a$	$0,24\pm 0,04^a$
180	$52,09\pm 0,16^a$	$2,21\pm 0,02^a$	$0,62\pm 0,00^a$	$2,29\pm 0,02^a$	$0,27\pm 0,00^a$

Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost \pm standardna pogreška.

* $p \leq 0,05$. Vrijednosti unutar kolone označene različitim slovima statistički se razlikuju kod $p \leq 0,05$.

Omjer suhe tvari soka i maltodekstrina pokazao je statistički značajan utjecaj na sve određivane parametre boje praha soka aronije (tablica 10). Povećanjem udjela maltodekstrina došlo je do porasta vrijednosti parametra L^* , odnosno do povećanja svjetline praha, porasta parametra C^* , odnosno porasta intenziteta ili zasićenosti boje te porasta parametra a^* , odnosno blagog pojačanja crvene boje. S druge strane, porastom udjela maltodekstrina došlo je do smanjenja b^* i H^* vrijednosti. Smanjenje parametra b^* predstavlja porast udjela plave boje, a smanjenje

parametra H^* nije predstavljalo promjenu tona boje budući da vrijednosti oko 0° upućuju na crveni ton boje. Temperatura sušenja pokazala je statistički značajan utjecaj samo na parametar L^* , odnosno svjetlinu praha, gdje su prahovi sušeni pri 180°C imali nešto tamniju boju, no te promjene vrijednosti parametra L^* bile su neznatne. Na ostale određivane parametre boje temperatura sušenja nije pokazala statistički značajan utjecaj (tablica 10). U istraživanju Bednarska i Janiszewska-Turak (2019) statistička analiza pokazala je da temperatura sušenja nije imala značajan utjecaj na parametre boje što se slaže s rezultatima dobivenim u ovom radu. Također, utvrdili su statistički značajan utjecaj vrste nosača na parametre a^* i b^* , gdje je povećanje udjela arapske gume utjecalo na smanjenje vrijednosti ispitivanih parametara boje.

5. ZAKLJUČCI

Na temelju dobivenih rezultata i provedene rasprave može se zaključiti:

1. Iskorištenje postupka sušenja soka aronije raspršivanjem određeno je u rasponu od $52,59 \pm 0,74$ do $66,93 \pm 0,24$ %. Povećanjem udjela maltodekstrina u početnoj otopini te povišenjem temperature sušenja došlo je do povećanja prinosa praha soka aronije.
2. Udio vlage u prahovima soka aronije određen je između $2,43 \pm 0,59$ i $3,49 \pm 0,40$ %. Povećanje udjela maltodekstrina i povišenje temperature sušenje nisu imali statistički značajan utjecaj na sadržaj vlage u prahovima soka aronije.
3. Tehnikom sušenja raspršivanjem došlo je do smanjenja udjela ukupnih antocijana u prahu soka aronije u odnosu na početni sok. Udio ukupnih antocijana u prahovima soka aronije određen je u rasponu od $244,6 \pm 0,7$ do $358,2 \pm 0,4$ mg/100 g suhe tvari soka. Povećanjem udjela maltodekstrina došlo je do smanjenja udjela ukupnih antocijana u prahu soka aronije, dok povišenje temperature nije pokazalo statistički značajan na udio ukupnih antocijana.
4. Parametri boje određeni su u sljedećem rasponu: L^* od $51,74 \pm 0,01$ do $54,20 \pm 0,12$, a^* od $1,95 \pm 0,08$ do $3,12 \pm 0,03$, b^* od $0,45 \pm 0,06$ do $0,68 \pm 0,01$, C^* od $2,06 \pm 0,0$ do $3,15 \pm 0,03$ i H^* od $0,14 \pm 0,02$ do $0,33 \pm 0,01$. Povećanjem udjela maltodekstrina došlo je do porasta vrijednosti parametara L^* , a^* i C^* te do smanjenja vrijednosti parametara b^* i H^* . Temperatura sušenja pokazala je statistički značajan utjecaj samo na parametar L^* .
5. Tehnika sušenja raspršivanjem uporabom maltodekstrina kao nosača pokazala se kao uspješna tehnika inkapsulacije soka aronije, gdje omjer suhe tvari soka i maltodekstrina 1:2 i temperatura sušenja 150 °C daju prah optimalnih svojstava s najviše očuvanim udjelom antocijana.

6. LITERATURA

Anandharamakrishnan C, Ishwarya, S (2015) Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation, 1. izd., John Wiley & Sons: Chicago, IL, USA, str. 22-27. <https://doi.org/10.1002/9781118863985>

Anonymus 1, <https://www.directnativeplants.com/product/black-chokeberry/>. Pristupljeno 12. srpnja 2022.

AOAC (1984) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 14. izd., AOAC, Arlington.

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>

Benvenuti S, Pellati F, Melegari MA, Bertelli D (2004) Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of Rubus, Ribes, and Aronia. *J Food Sci* **69**(3), 164-169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13352.x>

Borycka B, Stachowiak J (2008) Relations between cadmium and magnesium and aronia fractional dietary fibre. *Food Chem* **107**, 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.014>

Bräunlich M, Slimestad R, Wangensteen H, Brede C, Malterud KE, Barsett H. (2013) Extracts, anthocyanins and procyanidins from Aronia melanocarpa as radical scavengers and enzyme inhibitors. *Nutrients*, **5**(3), 663-678. <https://doi.org/10.3390/nu5030663>

BUCHI Labortechnik AG. (2015) Spray Drying & Encapsulation Solutions-Particle Formation for Lab Scale; BUCHI Labortechnik AG: Flawil, Switzerland, str. 1–24. https://assets.buchi.com/image/upload/v1629464470/pdf/Brochures/SB_11592837_Spray_Drying_Encapsulation_en.pdf. Pristupljeno 15. srpnja 2022.

Clarke RJ (2003) Coffee-instant. U: Caballero B, Trugo LC, Finglas PM (ured.) Encyclopedia of food sciences and nutrition, 2. izd., Academic Press, Cambridge, str 1493–1498. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00270-4>

Červenka L (2011) Moisture adsorption characteristics of black currant (*Ribes nigrum* L.), black elderberry (*Sambucus nigra* L.) and chokeberry (*Aronia melanocarpa*) samples at different temperatures. *J Food Process* **34**, 1419–1434. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00507.x>

Denev P, Číž M, Kratchanova M, Blazheva D (2019) Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenols reveal different antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities. *Food Chem* **284**, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.108>

Ephrem E, Najjar A, Charcosset C, Greige-Gerges H (2018) Encapsulation of natural active compounds, enzymes, and probiotics for fruit juice fortification, preservation, and processing: An overview. *J Funct Foods* **48**, 65–84. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.021>

Gawałek J, Domian E, Ryniecki A, Bakier S (2017) Effects of the spray drying conditions of chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) juice concentrate on the physicochemical properties of powders. *Int J Food Sci* **52(9)**, 1933–1941. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13476>

Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R (2007) Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Res Intern* **40**, 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>

Gibbs BF, Kermasha S, Alli I, Mulligan CN (1999) Encapsulation in the food industry: a review. *Int J Food Sci Nutr*, **50(3)**, 213–24. <https://doi.org/10.1080/096374899101256>

Hasheminya SM, Dehghannya J (2013) Spray dryers: Applications, performance, essential parts and classifications. *Int J Farming* **2**, 756–759. <https://www.semanticscholar.org/paper/Spray-dryers%3A-Applications%2C-performance%2C-essential-Hasheminya-Dehghannya/516a8ef27afc2255481e9682e6507cc1ac698c15>. Pristupljeno 15. srpnja 2022.

Jakobek L, Šeruga M, Medvidović-Kosanović M, Novak I (2007) Antioxidant activity and polyphenols of Aronia in comparison to other berry species. *Agric Conspec Sci* **72(4)**, 301–306.

Konica Minolta (2007) Precise color communication: color control from perception to instrumentation. Konica Minolta Sensing, Inc., Japan. https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf.

Pristupljeno 15. siječnja 2022.

Kulling S, Rawel H (2008) Chokeberry (*Aronia melanocarpa*)– A Review on the Characteristic Components and Potential Health Effects. *Planta Medica* **74(13)**, 1625–1634. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1088306>

Masters K, Spray drying handbook (1985) U: George Godwin (ured.) Spray Drying Handbook, 4.izd., George Godwmastersin ltd., London, UK.

Mayer-Miebach E, Adamiuk M, Behsnilian D (2012) Stability of chokeberry bioactive polyphenols during juice processing and stabilization of a polyphenol-rich material from the by-product. *Agric Res J* **2**, 244–258. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture2030244>

Ochmian I, Grajkowski J, Smolik M (2012) Comparision of some morphological features, quality and chemical content of four cultivars of chokeberry fruits (*Aronia melanocarpa*). *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca* **40**, 253–260. <http://dx.doi.org/10.15835/nbha4017181>

Oszmianski J, Lachowicz S (2016) Effect of the production of dried fruits and juice from chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) on the content and antioxidative activity of bioactive compounds. *Molecules* **21**, 1098. <https://doi.org/10.3390/molecules21081098>

Piñón-Balderrama CI, Leyva-Porras C, Terán-Figueroa Y, Espinosa-Solís V, Álvarez-Salas C, Saavedra-Leos MZ (2020) Encapsulation of active ingredients in food industry by spray-drying and nano spray-drying technologies. *Processes* **8(8)**, 889. <https://doi.org/10.3390/pr8080889>

Sójka M, Kołodziejczyk K, Milala J (2013) Polyphenolic and basic chemical composition of black chokeberry industrial by-products. *Ind Crop Prod* **51**, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.051>

Stricker MA, Orengo M (1995) Similarity of color images. U: Storage and Retrieval for Image and Video Databases III. *Int J opt photonics*. **2420**, 381-392. <https://www.computing.dcu.ie/~gjones/Teaching/CA437/stricker95similarity.pdf>.

Pristupljeno: 15. siječnja 2022.

Šnebergrová J, Čížková H, Neradová E, Kapci B, Rajchl A, Voldřich M (2014) Variability of characteristic components of aronia. *Czech J Food Sci* **32**, 25–30

<https://doi.org/10.17221/540/2012-CJFS>

Tanaka T, Tanaka A (2001) Chemical components and characteristics of black chokeberry. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* **8**, 606–610. <http://dx.doi.org/10.3136/nskkk.48.606>

Timilsena Y, Haque M, Adhikari B (2020) Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments. *Food Sci Nutr* **11**, 481-508. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.116035>

Veberic R, Slatnar A, Bizjak J, Stampar F, Mikulic-Petkovsek M (2015) Anthocyanin composition of different wild and cultivated berry species. *Lwt- Food Sci Technol* **60**, 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.033>

Vicente J, Pinto J, Menezes J, Gaspar F (2013) Fundamental analysis of particle formation in spray drying. *Powder Technol* **247**, 1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2013.06.038>

Wang LS, Stoner GD (2008) Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Lett* **269(2)**, 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2008.05.020>

Zafra-Stone S, Yasmin T, Bagchi M, Chatterjee A, Vinson JA, Bagchi D (2007) Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Mol Nutr Food Res* **51(6)**, 675–683. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700002>

Zuidam N, Nedović V (2010) Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing, 1. izd., Springer New York, str. 3-127. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-1008-0>

Zuidam NJ, Van Winden E, De Vruh R, Crommelin DJA (2003) Stability, storage and sterilization of liposomes. U: Torchilin VP, Weissig V (ure.) *Liposomes: A Practical Approach*. 2. izd., Oxford University Press, Oxford, str 149–165. <http://dx.doi.org/10.1086/423065>

Izjava o izvornosti

Ja Ivan Magnabosca 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