

Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na fizikalna i kemijska svojstva smoothieja

Kučljak, Damir

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:159:855240>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-05**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno- biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Damir Kucljak

7120/PT

**UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA
FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA SMOOTHIEJA**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Jedinične operacije

Mentor: doc. dr. sc. Sven Karlović

Zagreb, 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za procesno inženjerstvo

Laboratorij za tehnološke operacije

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA SMOOTHIEJA

Damir Kucljak, 0058207234

Sažetak:

Kako zdrava prehrana sa nutritivno vrijednim namirnicama postaje sve bitnija, prehrambena industrija razvija nove tehnologije kojima se omogućuje prerada hrane u kojoj se ne narušavaju nutritivne vrijednosti proizvoda. Obrada visokim hidrostatskim tlakom je jedna od tih tehnologija koje u budućnosti mogu pružiti potrošačima hranu koja odgovara tim zahtjevima. U ovom radu praćen je utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na fizikalna i kemijska svojstva smoothieja. Korišteni su različiti tlakovi i različita vremena obrade, a svojstva koja su se mjerila su raspodjela veličine čestica, boja i pH smoothieja.

Ključne riječi: boja, ph, raspodjela veličine čestica, smoothie, visoki hidrostatski tlak

Rad sadrži: 25 stranica, 13 slika, 4 tablice, 19 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. Sven Karlović

Pomoć pri izradi: Marko Škegro mag. ing.

Datum obrane: 13. rujna 2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

University undergraduate study Food Technology

Department of Process Engineering

Laboratory for Unit Operations

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

INFLUENCE OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF A SMOOTHIE

Damir Kucljak, 0058207234

Abstract:

As a healthy diet with nutritionally valuable food is gaining importance, the food industry is developing new technologies which enable food processing without downgrading the nutritional values of the product. High hydrostatic pressure is one of the technologies that could provide consumers food which meets those demands. In this thesis the influence of high hydrostatic pressure and the physical and chemical properties of a smoothie was monitored. Different pressures and times of treatment were used, and the monitored properties were particle size distribution, colour and pH of the smoothie.

Keywords: colour, high hydrostatic pressure, particle size distribution, pH, smoothie

Thesis contains: 25 pages, 13 figures, 4 tables, 19 references

Original in: Croatian

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

Mentor: Sven Karlović, PhD, Assistant professor

Technical support and assistance: Marko Škegro mag. ing.

Thesis delivered: September 13th, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Visoki hidrostatski tlak	2
2.1.1. Uređaji za tretiranje visokim hidrostatskim tlakom	2
2.1.2. Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na hranu	4
2.2. Voćni smoothie.....	5
2.2.1. Sok od jabuke	5
2.2.2. Sok od mrkve.....	6
2.2.3. Badem.....	6
2.2.4. Kokosovo mlijeko	7
2.2.5. Sok aronije	7
2.3. Raspodjela veličine čestica	8
2.4. Boja	9
3. MATERIJALI I METODE	11
3.1. Priprema uzoraka	11
3.2. Tretiranje uzoraka visokim tlakom.....	12
3.3. Mjerenje raspodjele veličine čestica.....	13
3.4. Mjerenje boje.....	14
3.5. Mjerenje pH	16
4. REZULTATI I RASPRAVA	16
4.1. Rezultati mjerenja raspodjele veličine čestica	16
4.2. Rezultati mjerenja boje	19
4.3. Rezultati mjerenja pH	22
5. ZAKLJUČAK.....	23
6. LITERATURA	24

1. UVOD

Jedan od najvećih trendova današnjice je zdrava prehrana i konzumiranje namirnica prirodnog porijekla. Sukladno tome prehrambena industrija radi na pronalasku novih tehnologija kojima bi se u prerađenim proizvodima očuvali okus i nutritivna svojstva svježih namirnica. U razvoju novih tehnologija poseban su interes izazvale netermičke metode. To su metode kod kojih za vrijeme obrade proizvoda ne dolazi do povećanja temperature zbog čega su nutritivne promjene u hrani minimalne. Najistaknutija takva metoda je obrada hrane visokim hidrostatskim tlakom. Usprkos tome što je još uvijek nedovoljno istražena, metoda obrade hrane visokim hidrostatskim tlakom dosada se pokazala učinkovitom. Uz to, ima i druge prednosti kao što su ušteda energije i vremena.

U današnjem ubrzanom načinu života ljudi često nemaju vremena za konzumaciju svježih namirnica ili kuhanje. Stoga smoothie postaje sve popularniji način za unos voća i povrća u organizam.

U ovom radu ćemo promatrati utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na voćni smoothie te vidjeti kako se mijenjaju ili ne mijenjaju njegova fizikalna i kemijska svojstva nakon obrade visokim hidrostatskim tlakom. Promjena navedenih svojstava praćena je mjerenjem raspodjele veličine čestica, boje i pH smoothieja. Rezultati mjerenja će biti popraćeni pripadajućim tablicama i grafičkim prikazima.

U teorijskom djelu rada definirani su pojmovi poput visokog hidrostatskog tlaka, voćnog smoothieja, raspodjele veličine čestica i boje. Također je objašnjen princip rada visokog hidrostatskog tlaka i uređaja za tretiranje visokim hidrostatskim tlakom te su opisane njegove prednosti u odnosu na klasične termičke metode. Uz to, definiran je sastav voćnog smoothieja korištenog u radu te su objašnjeni pozitivni utjecaji njegovih sastavnica na ljudski organizam.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Visoki hidrostatski tlak

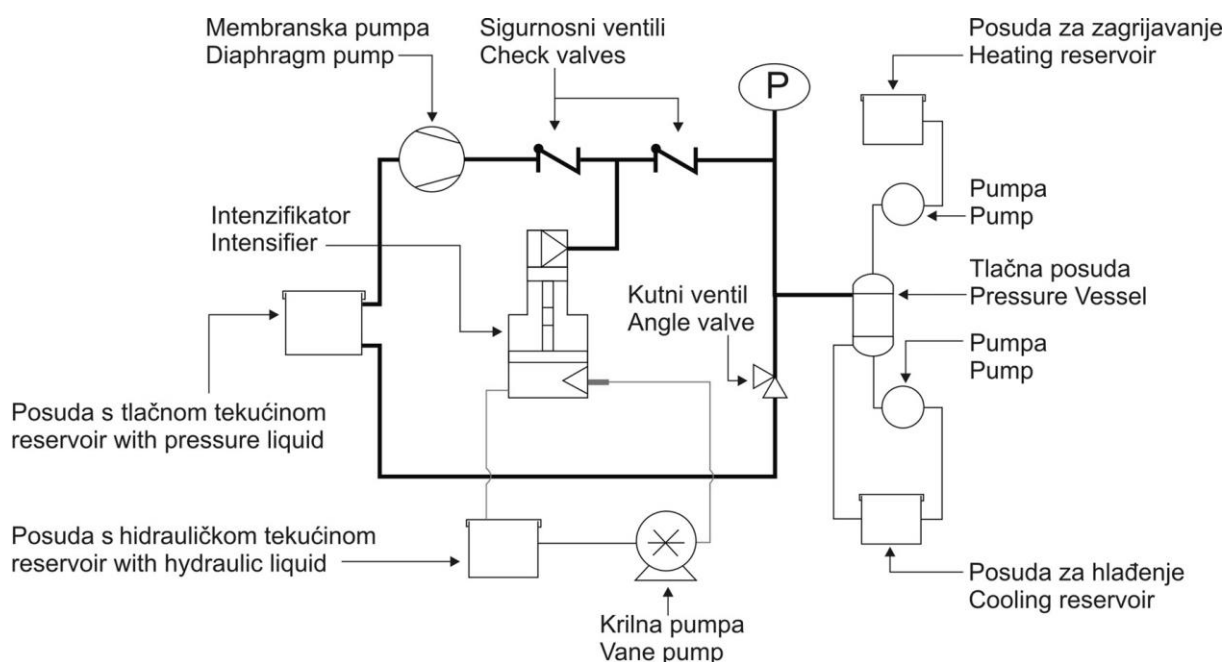
Obrada namirnice visokim hidrostatskim tlakom podrazumijeva tretiranje tekuće ili čvrste namirnice s ambalažom ili bez nje tlakovima 50- 1000 MPa, u temperaturnom rasponu 5-90°C. Po cijelom obujmu namirnice tlak se jednoliko prenosi neovisno o obliku i dimenzijama namirnice. Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na namirnice temelji se na Le Chatelierovom principu smanjenja obujma kako se tlak povećava. Prilikom obrade namirnice, dolazi do promjene obujma koja dovodi do kemijskih reakcija koje utječu na intramolekulske interakcije u namirnici. Učinak na kovalentne veze je vrlo ograničen i one najčešće ostaju nepromijenjene, no dolazi do pucanja slabih ionskih, hidrofobnih i vodikovih veza (Bosiljkov i sur., 2010).

Bez obzira na oblik, volumen i sastav namirnice, tlak na njezinu masu djeluje ujednačeno i trenutno. Kompresija tijekom obrade odražava se povišenjem temperature adijabatskim zagrijavanjem za oko 3 °C za svakih 100 MPa. Nakon dekompresije temperatura namirnice se snižava na početnu temperaturu. Zbog toga je namirnica višim temperaturama izložena samo u kratkom vremenskom periodu pa te više temperature ne moraju izazvati značajniju promjenu njezinih svojstava (Lelas, 2006).

2.1.1. Uređaji za tretiranje visokim hidrostatskim tlakom

Uređaji za tretiranje visokim hidrostatskim tlakom sastoje se od spremnika za tretiranje namirnice, uređaja za generiranje tlaka te uređaja za kontrolu postupka i rukovanje s uzorkom. Najbitniji dio uređaja je spremnik cilindričnog oblika koji je sposoban izdržati velika naprezanja. Maksimalni radni tlak uređaja određen je debljinom stijenke cilindra. Postoje 2 načina za generiranje visokog tlaka: posredna i izravna kompresija. Pri izravnoj kompresiji, medij za prijenos tlaka u spremniku se komprimira klipom pokretanim niskotlačnom pumpom. U uređajima s posrednom kompresijom, upotrebljava se pojačivač tlaka. Pojačivač tlaka pumpa medij za prijenos tlaka iz rezervoara u visokotlačni spremnik do postizanja željenog tlaka (Krešić i sur., 2011).

Visoki tlak u postupcima obrade hrane može se primijeniti kao šaržni (diskontinuirani), polukontinuirani i kontinuirani sustav. Šaržni sustav koristi se prilikom obrade tekućih i čvrstih namirnica koje su pakirane u odgovarajuću ambalažu. Obrada se sastoji od više faza: punjenje spremnika tlačnim medijem i materijalom koji se tretira, zatvaranje, kompresija, zadržavanje postignutog tlaka, dekompresija, otvaranje spremnika i vađenje tretiranog materijala iz spremnika. Polukontinuirani i kontinuirani sustavi primjenjuju se kod namirnica koje se mogu pumpati (npr. voćni sokovi). U tim sustavima uzorak se pumpa u visokotlačni spremnik i komprimira upotrebom plutajućeg klipa koji odvaja proizvod od medija za prijenos tlaka. Nakon tretiranja proizvod se aseptično puni u ambalažu. Mediji za prijenos tlaka koji se obično upotrebljavaju su: voda, silikonska ulja, razrijeđeni etanol, smjesa glikola i vode, otopina natrijeva benzoata ili inertni plinovi (Krešić i sur., 2011). Diskontinuirani postupak obrade visokim tlakom najčešće se navodi pod terminom "Visoki hidrostatski tlak" ("High Hydrostatic Pressure- HHP"). Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka ovisi o geometriji namirnice koja se obrađuje i obujmu radne posude (Bosiljkov i sur., 2010).



Slika 1. Shema kontinuiranog procesa obrade visokim tlakom (Bosiljkov i sur., 2010)

2.1.2. Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na hranu

Za razliku od konvencionalnih metoda toplinske obrade hrane, obrada visokim tlakom rezultira malim ili nepostojećim promjenama u organoleptičkim i nutritivnim svojstvima hrane. Na taj način okus obrađene hrane ostaje vrlo sličan okusu svježe namirnice. Budući da metoda obrade hrane visokim tlakom nije toplinska metoda, može biti jako korisna u obradi hrane osjetljive na utjecaj topline (Rastogi, 2013).

Procesiranjem namirnica visokim tlakom inaktiviraju se mikrobi u namirnici uništavanjem vanjske membrane mikroba i esencijalnih proteina u stanici. Uz to, dolazi do inaktivacije prisutnih enzima zbog utjecaja visokog tlaka na proteinske lance. Djelovanjem visokog hidrostatskog tlaka na proteinski lanac, njegove primarna i sekundarna struktura ostaju netaknute, no dolazi do promjena u tercijarnoj i kvaternoj strukturi. S nutricionističkog gledišta obrada hrane visokim tlakom je odlična tehnologija koja zadržava spojeve u hrani koji imaju pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje (Rastogi, 2013). Iako stabilnost stanice pri visokim tlakovima ovisi o vrsti mikroorganizma i uvjetima u kojima se nalazi, inaktivacija većine vegetativnih bakterija postiže se tlakovima između 200 i 600 MPa. Vegetativni oblici kvasaca i plijesni najosjetljiviji su na visoke tlakove te se njihova inaktivacija postiže tlakovima od 200 do 300 MPa. Iako postoje iznimke, gram- pozitivne bakterije su stabilnije na visokim tlakovima te se njihova inaktivacija postiže tlakovima višim od 400 MPa, dok su gram- negativne bakterije osjetljivije na visoke tlakove i inaktiviraju se tlakovima oko 300 MPa. Za inaktivaciju bakterijskih spora potrebna je kombinacija visokog tlaka i temperature od 60 °C ili više (pri višim tlakovima potrebna je niža temperatura). Sterilizacija hrane s minimalnim utjecajem na okus, boju, teksturu i nutritivnu vrijednost postiže se procesiranjem uz pulsirajuće visoke tlakove i postizanjem završne temperature procesiranja od preko 105 °C (Jongen, 2002.).

Visoki hidrostatski tlak donosi brojne prednosti u odnosu na klasične metode termičkog tretiranja ili zamrzavanja. Najvažnije prednosti su: skraćivanje termičkog tretiranja nakon tretiranja visokim tlakom, postizanje antimikrobnog učinka bez utjecaja na senzorska ili nutritivna svojstva, zadržavanje postojeće strukture namirnice prilikom zamrzavanja te brza i ravnomjerna obrada namirnice prilikom djelovanja tlaka (Lelas, 2006.).

2.2. Voćni smoothie

Voće i povrće su važan dio pravilne prehrane čovjeka te njihova dnevna konzumacija može pridonijeti sprečavanju ozbiljnijih bolesti. Upravo zbog toga, Svjetska zdravstvena organizacija preporuča dnevni unos od minimalno 400 g voća i povrća. Budući da guljenje, pranje i rezanje voća i povrća uzimaju puno vremena u današnjem ubrzanom načinu života, raste potražnja za jednostavnijim i bržim voćni i povrtnim proizvodima. Uz to potrošači žele minimalno procesiranu hranu, što sličniju svježem voću ili povrću. Shodno tome, prošlih godina porasla je popularnost voćnih smoothieja i trenutno čine velik dio tržišta osvježavajućih napitaka (Picouet, 2016.).

Voćni smoothieji su postali popularni među potrošačima te mogu značajno utjecati na dnevni unos antioksidanata. Obrada visokim tlakom može pomoći u očuvanju antioksidanata u smoothieju, što može biti važan faktor u prodaji i marketingu proizvoda (Rastogi, 2013). Smoothieji predstavljaju brz i jednostavan način za unos voća ili povrća u organizam. Sadrže mješavinu različitih voćnih komponenti te su zbog toga korisni. Usprkos svojoj praktičnosti, smoothieji zahtijevaju daljnja istraživanja jer se voćni unutarstanični sadržaji u njima mogu biokemijski različito ponašati u odnosu na individualne komponente. Smoothie korišten u ovom radu sastoji se od: soka od jabuke, soka od mrkve, sušenih i umrvljenih badema, kokosovog mlijeka te soka od aronije (Picouet, 2016.).

2.2.1. Sok od jabuke

Plod drva jabuke je najraširenije i najpopularnije voće na svijetu. Mogu se jesti svježe ubrane sa stabla ili se skladištiti godinu dana. Ključ njihove popularnosti je njihova raznovrsnost. Vrste jabuka mogu varirati od kiselih do slatkih, a mogu se uzgajati gotovo svugdje u svijetu. Jabuke se mogu procesirati te postoje mnoge vrste proizvoda od jabuka- od umaka i kolača, do alkoholnih pića i sokova (Janick i sur., 1996.).

Zrelost jabuka ovisi o boji plodova, kemijskom sastavu, mehaničkim svojstvima i vremenu od cvata do berbe. Bez obzira na klimatske uvjete koji mogu utjecati na zrelost jabuka, najpouzdaniji način za određivanje vremena berbe broj dana od punog cvata do berbe, odnosno kalendarski. Većina kemijskog sastava ploda jabuke je voda (85%). Uz vodu, jabuke sadrže polisaharide, celulozu i lignin. Minerali koji se nalaze u jabukama su fosfor,

kalcij, natrij i kalij, od kojih je kalij najzastupljeniji. Jabuke su bogate vitaminom C te sadrže vitamine A i B. Unatoč tome, uspoređujući sa preporučenim dnevnim unosom vitamina, količina svih vitamina u jabukama, osim vitamina C, je zanemariva. Od ugljikohidrata najzastupljeniji šećeri su fruktoza, glukoza i saharoza (Hui, 2006.).

Sok od jabuke jedan je od najpopularnijih i najprodavanijih voćnih sokova u svijetu. Većina tvari koje sadrži sok od jabuke ista je kao i u samim jabukama, kao što su šećeri i kiseline. Najzastupljenija kiselina u soku od jabuke je jabučna kiselina (Hui, 2006.).

2.2.2. Sok od mrkve

Porijeklom s Mediterana, mrkva spada među najvažnije vrste povrća za ljudski organizam. Postoje europska mrkva i azijska mrkva. Europska mrkva sadrži više karotena u odnosu na azijsku. Jestivi dio biljke je zadebljali hipokotil ili pravi korijen. Ovisno o uvjetima uzgoja i sorti, korijen mrkve može biti različitih oblika- cilindričan, vretenast, konusan ili okruglog oblika. Berba mrkve obavlja se ručno ili kombajnama. Nakon berbe, korijen se pere i pakira, a lišće se otkida. Oprana i osušena mrkva može se skladištiti u hladnjacima 4 do 6 mjeseci. Mrkva se u prehrani najčešće koristi svježa, ukiseljena ili kuhana, a služi i za pripremu sokova (Kantoci, 2014).

Mrkva je jedno od najčešće korištenih povrća u ljudskoj prehrani. Dobar je izvor beta karotenoida, folne kiseline, tiamina, vitamina C, pektina, kalija, vitamina A, vitamina B6 i magnezija. Zbog svog nutritivnog sastava mrkva se posebno ističe u borbi protiv degenerativnih bolesti, kao što su rak i kardiovaskularne bolesti (Erenturk i Erenturk, 2007.).

2.2.3. Badem

Badem (*Amygdalus communis* L.) je biljka specifična za područje Mediterana i pojedinih regija Turske. Dolazi iz porodice rosaceae ili ruže. Jestiv je i slatkog okusa te se zbog toga često koristi u desertima. Zrno badema važan je izvor energije (6 kcal/ g), bjelančevina i masnih kiselina. Bademi se obično beru ručno (Aydin, 2003.). Bademi su jestivi sirovi, odmah nakon berbe te su tada najbolje probavljivi. Također, sjemenke se mogu sušiti ili pržiti. Prženjem se gubi dio vitamina, ali se postiže poseban okus. Badem sadrži oko 20 %

bjelančevina. Također je vrlo dobar izvor linolne kiseline, koja je u njemu najzastupljenija od svih višestruko nezasićenih masnih kiselina. Uz to sadrži i jednostruko nezasićene masne kiseline. Badem je bogat B i E vitaminima. Osim vitamina, badem je bogat i kalcijem, magnezijem i fosforom (Advent.hr, 2001.).

2.2.4. Kokosovo mlijeko

Kokosovo mlijeko je tekući ekstrakt endosperma ploda kokosove palme (*Cocos Nucifera* L.). Kokosova palma je biljka porijeklom iz jugoistočne Azije, a plod kokosove palme je kokos. Ekstrakcija kokosovog ulja započinje uklanjanjem smeđeg egzokarpa. Dobiveni bijeli endosperm se zatim pere i reže. Sama ekstrakcija mlijeka provodi se prešanjem naribanog endosperma u hidrauličkoj preši. Nerazrijeđeno kokosovo mlijeko sadrži 50- 55% vode, 32- 40% masti, 2,8- 4,4% bjelančevina te 5,5-8,3% ugljikohidrata. Udio sastavnica ovisi o vrsti, geografskom porijeklu kokosa, zrelosti ploda i metodi ekstrakcije. Najzastupljeniji ugljikohidrati u kokosovom mlijeku su saharoza i škrob, dok su većina bjelančevina albumini i globulini. Kokosovo mlijeko je također dobar izvor fosfora, kalcija i kalija. Uz to, svježije ekstrahirano mlijeko sadrži i malu količinu vitamina B. Kroz godine je provedeno mnogo istraživanja sa svrhom produljenja roka trajanja kokosovom mlijeku. Najveći uspjesi postignuti su konzerviranjem, aseptičnim pakiranjem i sušenjem. Kokosovo mlijeko najčešće se koristi u proizvodnji deserta, pekarskih proizvoda i pića (Seow i Gwee, 1997.).

2.2.5. Sok aronije

Rod *Aronia* uključuje dvije vrste biljke *Aronia melanocarpa* Michx. (crna aronija) i *Aronia arbutifolia* L. (crvena aronija). Obje biljke porijeklom su iz Sjeverne Amerike, a češće korištena je crna aronija. Uzgoj crne aronije nije problematičan, budući da rijetko podliježe bolestima, napadima kukaca i ptica kojima nije privlačna zbog svog gorkog okusa. Bobice aronije bogat su izvor polifenola, od kojih se posebno ističu antocijani. Polifenoli u bobicama su zaslužni za njihova antioksidacijska svojstva. U istraživanjima su se antioksidacijska svojstva bobica aronije pokazala boljima od antioksidacijskih svojstava sintetičkih antioksidanta. Osim antioksidacijskih svojstava, bobice aronije imaju druga biološka svojstva pogodna za ljudski organizam: antimutagena svojstva, antihiperglikemična svojstva, pogodno

djeluju na kardiovaskularni sustav itd. Upravo zbog toga preporuča se redovit unos proizvoda aronije. U farmaceutskoj industriji ekstrakti aronije koriste se u proizvodnji sirupa i dijetalnih suplemenata. Prehrambeni proizvodi od aronije uključuju pekmeze, vino i sok (Kokotkiewicz, 2010.).

2.3. Raspodjela veličine čestica

Preduvjet za većinu procesnih operacija i proizvodnju je znanje o veličini čestica proizvoda. Veličina čestica može imati značajan utjecaj na gustoću, mehaničku snagu i termička svojstva proizvoda (Jillavenkatesa i sur., 2001.).

Raspodjela veličine čestica može biti određena instrumentima integriranim u proizvodni proces ili instrumentima izvan proizvodnog procesa. Većina instrumenata je šaržna, iako postoje kontinuirani instrumenti za mjerenje. Faktori koji se razmatraju prilikom odabira instrumenta za mjerenje uključuju:

- Ljudski utjecaj
- Željeni broj točaka za raspodjelu veličine čestica
- Stupanj automatizacije
- Količinu uzoraka
- Troškove analize
- Količinu analiza

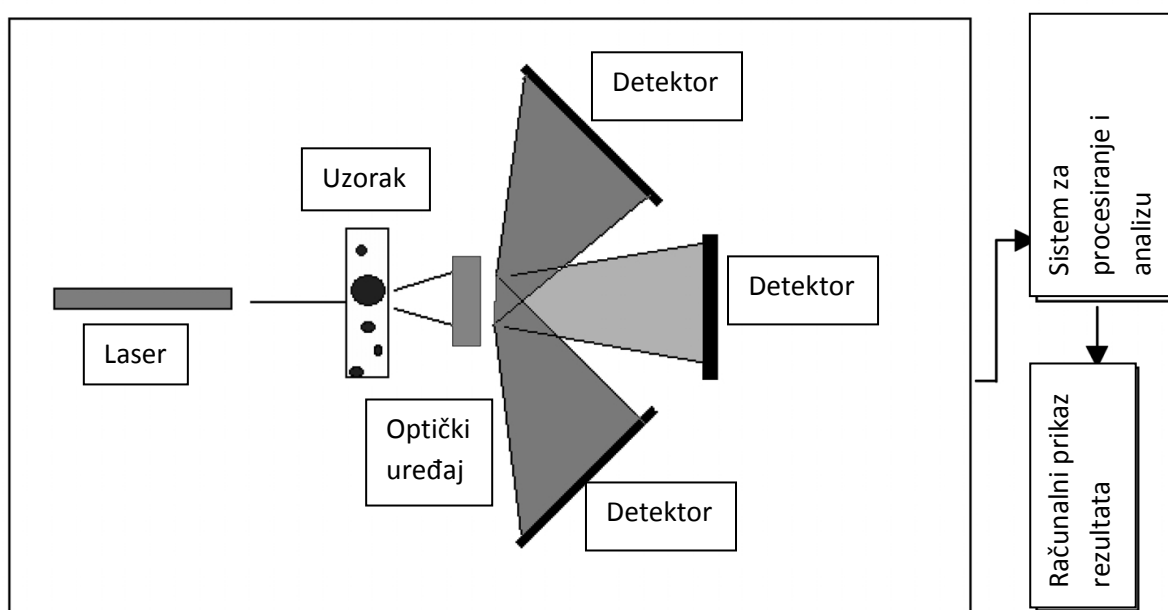
Jedna od najraširenijih metoda mjerenja raspodjele veličine čestica je metoda laserske difrakcije. Difrakcija svjetlosti događa se na površini čestice. Možemo ju zamisliti kao savijanje svjetlosnih valova pod utjecajem površine čestice. Do difrakcije dolazi zbog razlike u valnim duljinama valova nastalih prilikom interakcije s površinom čestice. Te razlike u valnim duljinama uzrokuju destruktivne i konstruktivne interferencije između sinusoidalnih valova, što dovodi do specifičnih uzoraka difrakcije, koji se zatim raspršuju u različitim smjerovima. Smjerovi raspršivanja ovise o obliku i veličini čestice (Jillavenkatesa i sur., 2001.).

Instrumenti s laserskom difrakcijom rade na temelju 3 pretpostavke:

1. Čestice koje raspršuju svjetlost su sferičnog oblika
2. Ne postoji interakcija između svjetlosti raspršenih od različitih čestica

3. Uzorak raspršene svjetlosti na detektorima je zbroj zasebnih uzoraka raspršenja uzrokovanih pojedinačnim česticama.

Analizom uzorka svjetlosti na detektoru dobivaju se informacije o uzorcima svjetlosti svake čestice, a samim time i podaci o veličini samih čestica. Razvoj i povećano korištenje instrumenata sa laserskom difrakcijom usko su povezani sa razvojem tehnologija koje omogućuju smanjenje izvora laserske svjetlosti i razvojem detektora (Jillavenkatesa i sur., 2001.).



Slika 2. Shema komponenti u uređaju s laserskom difrakcijom (Jillavenkatesa i sur., 2001.)

2.4. Boja

Boju namirnica potrošači često koriste kao mjeru kvalitete hrane prilikom kupnje namirnica. Budući da je boja hrane važna za prodaju i prezentaciju proizvoda, razvijene su kvantitativne metode mjerenja koje se mogu koristiti i za istraživanja i u industrijske svrhe. Raširena je uporaba relativno jednostavnih spektrofotometrijskih uređaja, ali oni su ograničeni na homogene, prozirne materijale (Culver i Wrolstad, 2008.).

Konvencionalna spektrofotometrija uključuje mjerenje pažljivo pripremljenih uzoraka u kontroliranim uvjetima i pod kontroliranim svjetlom. Budući da u industriji nisu uvijek mogući takvi uvjeti, razvijeni su spektrofotometri sa računalnim kontrolama čija je uporaba sve

raširenija. Ti spektrofotometri koriste sferično širokopojasno osvjetljenje koje dolazi na uzorak te se reflektira. Reflektirana svjetlost zatim prolazi kroz monokromator povezan na računalo koji svjetlost razdvaja na valne duljine. Te valne duljine mjeri prikladan detektor, a rezultate mjerenja šalje u računalo. Sa pravilno kalibriranom opremom rezultati mjerenja prikazuju varijacije refleksije ili transmisije sa valnim duljinama (MacDougall, 2002.). Precizniji i osjetljiviji instrumenti za mjerenje koriste CIE L^*a^*b indekse. Njihova uporaba se sve više prakticira i u istraživanjima i u industriji. Ti instrumenti se mogu prilagoditi puno većoj količini raznovrsnih materijala. CIE sistem kvantificira boju, na isti način kako ju čovjek vidi. Komponente potrebne da bi bilo moguće vidjeti boju su: izvor svjetlosti, objekt i promatrač. U spektrofotometrijskim uređajima te tri komponente se uzimaju u obzir i kontroliraju kako bi bilo moguće izvesti mjerenje. Sve boje se stvaraju tako da svjetlost dolazi u interakciju sa objektom koji reflektira ili apsorbira svjetlo, koje zatim promatrač vidi i analizira. U CIE sistemu svaka ta komponenta prikazana je kao broj. Vrijednosti boje izračunate su koristeći matematički model u kojem je:

L^* - koordinata svjetline s vrijednostima u rasponu od 0- 100,

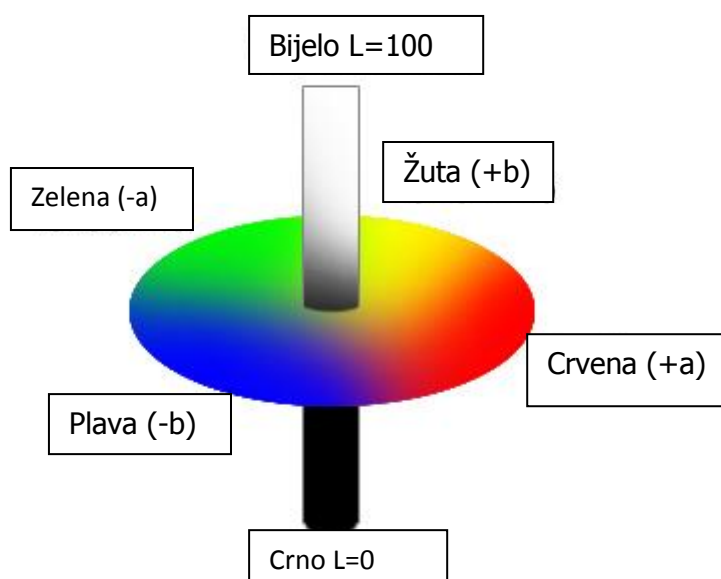
a^* - koordinata obojenja s pozitivnim (vektor crvene boje) i negativnim smjerom (vektor zelene boje),

b^* - koordinata obojenja s pozitivnim (vektor žute boje) i negativnim smjerom (vektor plave boje).

CIE uređaji su standardizirani s obzirom na geometriju uređaja- položaj izvora svjetlosti, uzorka i detektora. Postoje dvije standardne geometrije uređaja- dvosmjerna i sferična. Sferični uređaji pružaju raznovrsnost, s njima je moguće mjeriti transmisiju za prozirne uzorke i refleksiju za neprozirne uzorke. Dvosmjernim uređajima mjeri se samo refleksija, ali se mogu koristiti za veće uzorke (Culver i Wrolstad, 2008.).

S obzirom na to da prehrambeni proizvodi jako variraju te imaju međusobno različita optička svojstva, dijele se na optičke kategorije kako bi se postigli dosljedni uvjeti za mjerenje boje. Podjelom namirnica u optičke kategorije i poduzimanjem potrebnih koraka za pripremu svakog uzorka, moguće je odrediti metode za ponovljiva mjerenja transmitancije i refleksije, a te metode mogu se koristiti za kvantifikaciju boja u CIE sistemu (Culver i Wrolstad, 2008.). Rezultati dosadašnjih mjerenja pokazuju da iako možemo predvidjeti promjene boje hrane na temelju kemijskih struktura sastavnica neke namirnice, potrebna su mjerenja kako bismo

odredili promjene u boji namirnice i kompleksne interakcije sastavnica unutar hrane (MacDougall, 2002.).



Slika 3. Određivanje boje u L^* a^* b^* sustavu (AMT- Metriks. ba, 2019)

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Priprema uzoraka

Priprema uzorka uključivala je mljevenje i sušenje 20 g badema, dobivanje soka iz neoguljenih jabuka i oguljenih mrkvi pomoću sokovnika te miješanje s kokosovim mlijekom i sokom aronije. Sok iz jabuka i mrkve smo dobivali tako da smo jabuke i mrkve narezali na manje komade te smo ih zasebno stavili u sokovnik prikazan na slici 4. 200 mL dobivenog soka od jabuke pomiješano je sa 20 mL dobivenog soka od mrkve, 80 mL soka aronije i 80 mL kokosovog mlijeka. Zatim su ubačeni osušeni bademi, a kvalitetno miješanje svih komponenti u smoothie postignuto je štapnim mikserom. Dobiveni uzorak prebačen je u 7 plastičnih bočica koje su dobro začepljene. 7 bočica smo vakumirali u plastičnim vrećicama te smo ih na taj način pripremili za tretman visokim hidrostatskim tlakom. Uzorke smo podvrgnuli visokom tlaku različite jačine i različitog trajanja tretmana.



Slika 4. Bosch mes 4000 sokovnik (Katalog opreme PBF-a)

3.2. Tretiranje uzoraka visokim tlakom

Uzorci su tretirani visokim tlakom pomoću uređaja prikazanog na slici 5. To je poluindustrijski uređaj za obradu visokim tlakom. Uređaj se sastoji od radne jedinice i kontrolne jedinice. Radna jedinica je visokotlačni cilindar volumena dvije litre u kojemu se mogu postići tlakovi do 900 MPa. Kontrolna jedinica upravlja uređajem i ima pogonsku jedinicu sa standardnim visokotlačnim pumpama koje postižu tlakove do 50 MPa, a hidraulični transformatori te tlakove povisuju do navedenih ultra visokih tlakova. Visokotlačni cilindar je spojen na protočni uređaj za kontrolirano hlađenje, odnosno grijanje. Cilindar je moguće temperirati u rasponu od -20 °C do 110 °C. Na taj način moguće je precizno djelovanje tlaka pod zadanom temperaturom. Tri uzorka podvrgnuta su djelovanju tlaka jačine 150 MPa u vremenskim intervalima od 3, 9 i 15 minuta. Iduća tri uzorka bila su podvrgnuta tretmanu tlakom jačine 300 MPa, s trajanjima tretmana od 3, 9 i 15 minuta. Uzorak iz jedne bočice nije bio podvrgnut visokom hidrostatskom tlaku, taj uzorak je služio kako bismo uspoređivali svojstva

tretiranih uzoraka i netretiranog uzorka. Parametri rada uređaja praćeni su na ekranu računala.



Slika 5. Stansted Fluid Power (Katalog opreme PBF-a)

3.3. Mjerenje raspodjele veličine čestica

Za mjerenje raspodjele veličine čestica korišten je uređaj Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer, prikazan na slici 6. Uređaj mjeri raspršenje čestica pomoću optičke jedinice. Unutar optičke jedinice nalazi se detektorsko polje koje je sastavljeno od više pojedinačnih detektora koji svaki zasebno prikupljaju rasipanu svjetlost od određenog raspona kutova. Moguća su mjerenja sa suhim i tekućim uzorcima sa veličinom čestica u rasponu od 0,02 do 2000 mikrona. Postoje 3 odvojene jedinice, jedna suha jedinica za prahove i dvije za tekuće uzorke obujma od 0,1- 1 L. Nakon odabira odgovarajuće jedinice uređaj je provodio kalibraciju nakon koje je postupno dodavan uzorak, prilikom čega je uređaj mjerio stupanj zasićenja, a na kraju je vršeno samo mjerenje.



Slika 6. Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer (Katalog opreme PBF-a)

3.4. Mjerenje boje

Za određivanje boje ispitivanih uzoraka korišten je uređaj prikazan na slici 7. Spektrofotometrom je moguće odrediti boju tekućih i krutih uzoraka. Najbitniji dijelovi instrumenta koji se primjenjuju u apsorpcijskoj spektrofotometriji su : monokromator, izvor svjetlosti, kivete i uređaj za mjerenje intenziteta propuštene svjetlosti, odnosno detektor. Spektrofotometar mjeri promjene u transmisiji, refleksiji ili zračenju te duž valnih duljina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja transmisije ili refleksije dobiva se spektrofotometrijska krivulja. Za mjerenja odabrana je maska otvora 8 mm koja je zbog veličine uzoraka bila optimalna. Kao izvor svjetla korištena je pulsirajuća ksenon lampa koja daje standardni difuzni izvor svjetla. Prilikom određivanja boja riječ je o valnim duljinama između 400 i 700 nanometara, što odgovara vidljivom djelu elektromagnetskog spektra. Prije svakog mjerenja napravljena je kalibracija uređaja ovisno o odabranoj metodi i vrsti uzorka. Uređaj se kalibrira s bijelim standardom (100 %-tna refleksija) i crnim valjkom (0 %

refleksije). Programom Spectramagic NX (Konica- Minolta, Japan) podesili smo postavke. Geometrija koju smo izabrali bila je d/8, pri kojoj se površina uzorka promatra pod kutom od 8° u odnosu na njezinu normalu. Širina promatrane zrake iznosila je 7,4°. Nakon kalibracije uređaja, u kivetu smo stavili uzorak. Kivetu smo zatim postavili u uređaj na prikladno mjesto te smo zatvorili uređaj i proveli mjerenja. Sva mjerenja vršena su u SCE (Specular Component Excluded) modu. Rezultat mjerenja je reflektancija uzorka u čitavom području vidljivog spektra te L^* , a^* i b^* vrijednosti. Na temelju rezultata ΔE^* se računa po formuli:

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

Gdje su :

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

a^* - parametar boje ispitivanog uzorka

b^* - parametar boje ispitivanog uzorka

L_{ref}^* – svjetlina boje referentnog uzorka

a_{ref}^* – parametar boje referentnog uzorka

b_{ref}^* – parametar boje referentnog uzorka



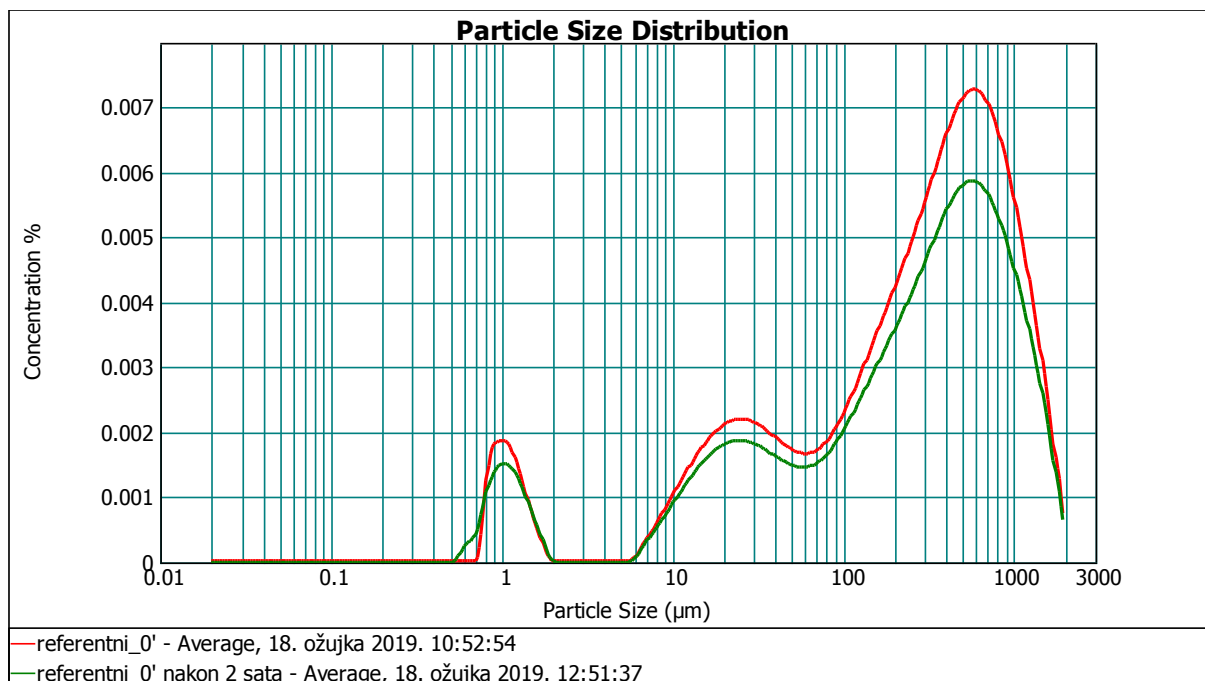
Slika 7. Konica Minolta Spectrophotometer CM- 3500d (Katalog opreme PBF-a)

3.5. Mjerenje pH

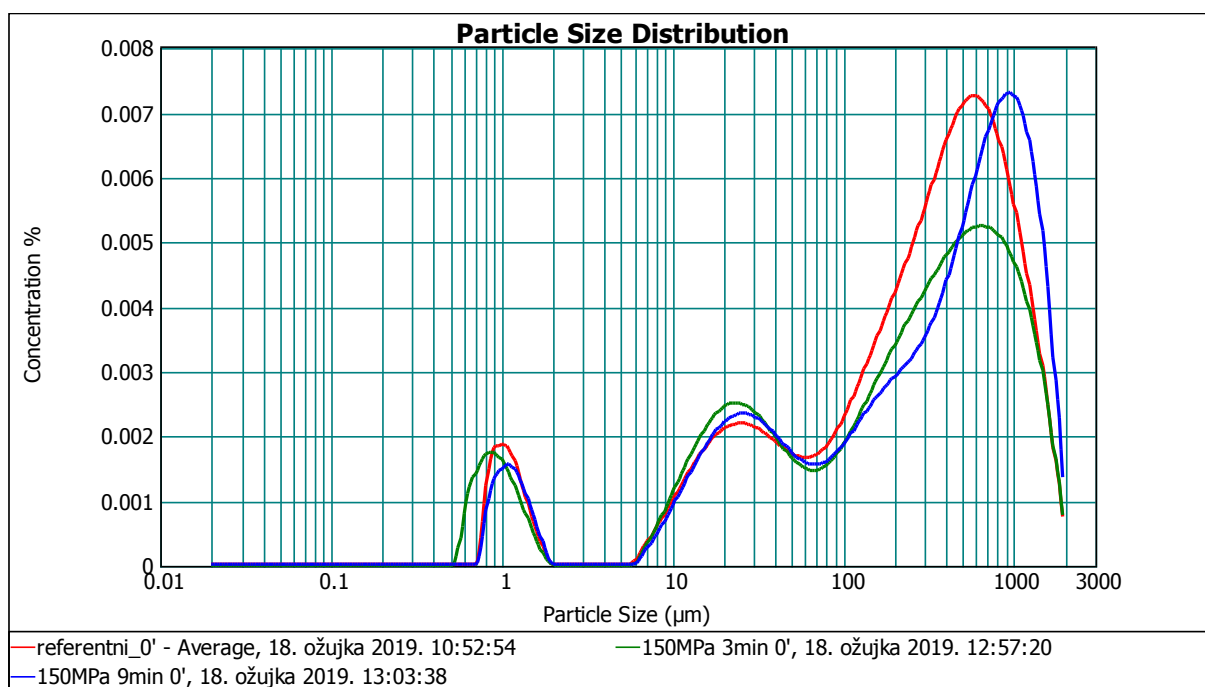
pH vrijednosti uzoraka mjerena je uređajem WTW Ph 330i/ SET. Točnost uređaja je $\pm 0,5\%$ vrijednosti. pH vrijednosti mjerene su tako da je sonda prvo umočena u destiliranu vodu, a zatim u uzorak čiji pH mjerimo. Na ekranu uređaja očitavamo pH vrijednost. Uz pH, uređajem je mjerena i temperatura uzorka.

4. REZULTATI I RASPRAVA

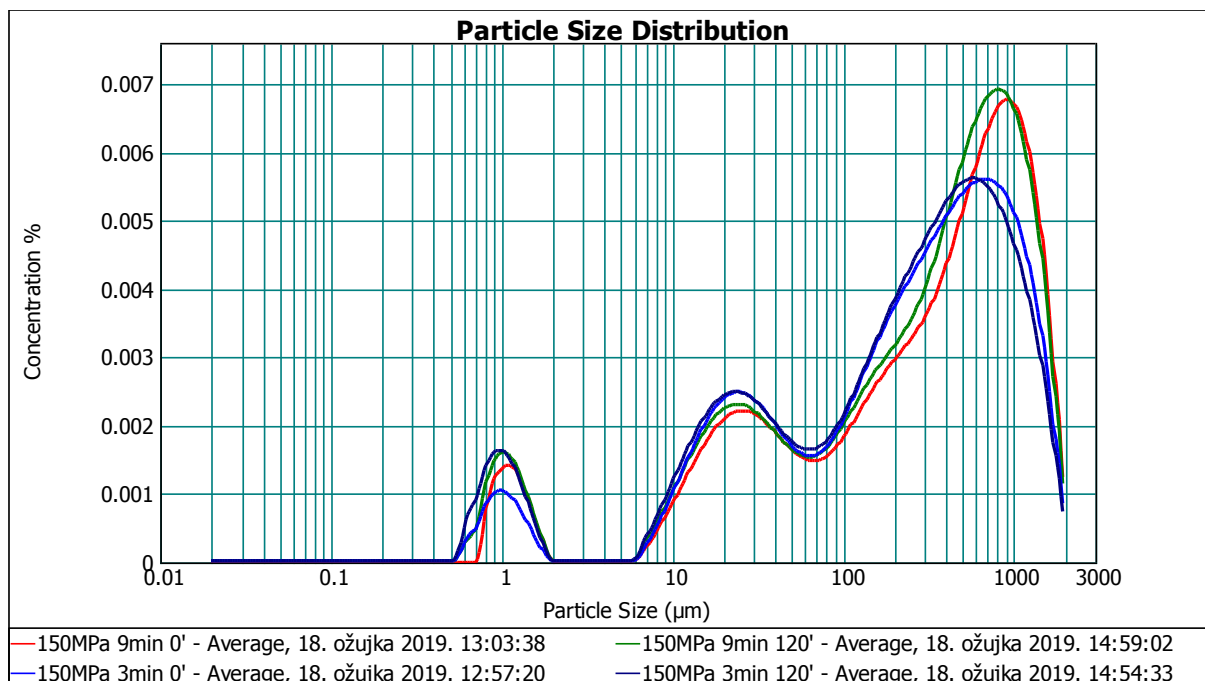
4.1. Rezultati mjerenja raspodjele veličine čestica



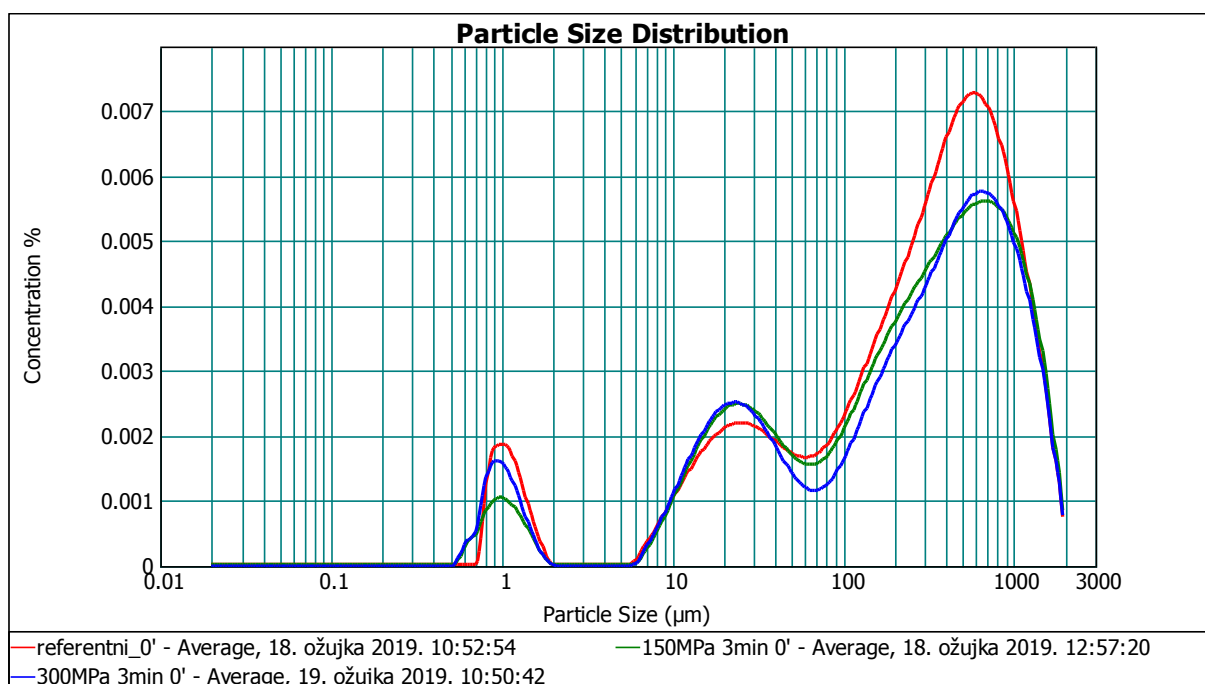
Slika 8. Raspodjela veličine čestica u referentnom uzorku na početku i nakon 120 min skladištenja



Slika 9. Usporedba raspodjele veličine čestica uzoraka obrađenih pri 150 MPa tijekom 3 i 9 min i referentnog uzorka



Slika 10. Usporedba raspodjele veličine čestica uzoraka obrađenih pri 150 MPa kroz 3 i 9 min i skladištenih tijekom 2 sata



Slika 11. Usporedba raspodjele veličine čestica uzoraka obrađenih pri 150 i 300 MPa tijekom 3 min te referentnog uzorka

Iz grafičkog prikaza na slici 8 vidljivo je da se nakon 120 minuta skladištenja referentnog uzorka promijenila raspodjela veličine čestica. Tokom skladištenja veće čestice su se istaložile na dno te stoga na grafičkom prikazu vidimo smanjenje njihove koncentracije u odnosu na mjerenje prije skladištenja. Iako je došlo do promjene, ta promjena je malena te nije značajna za proizvod. Grafički prikaz na slici 9 pokazuje usporedbu raspodjele veličine čestica između uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa u vremenskim intervalima 3 minute i 9 minuta, te referentnog uzorka. Iz prikaza je vidljivo da između raspodjele čestica referentnog uzorka i uzorka tretiranog 9 minuta skoro pa nema razlike, dok je kod uzorka tretiranog 3 minute došlo do malog pada koncentracije većih čestica. Na temelju grafičkog prikaza na slici 10 vidljivo je da se tijekom skladištenja u trajanju od 2 sata nakon obrade ne dolazi do promjene raspodjele čestica. Iako je koncentracija najvećih čestica u uzorku tretiranom tlakom 9 minuta veća od koncentracije čestica te iste veličine u uzorku tretiranom tlakom 3 minute, razlika između koncentracija nije velika te je zanemariva. Iz grafičkog prikaza na slici 11 vidljivo je da nema velike razlike između raspodjele veličine čestica uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa i uzoraka tretiranih tlakom od 300 MPa. U usporedbi s referentnim uzorkom došlo je do zanemarivog smanjenja koncentracije većih čestica. S obzirom na grafički prikaz možemo zaključiti da tretiranje smoothieja većim tlakom nema utjecaj u odnosu na tretiranje smoothieja manjim tlakom u istom vremenskom intervalu.

4.2. Rezultati mjerenja boje

Tablica 1. Prikaz rezultata mjerenja boje uzoraka odmah nakon tretmana visokim tlakom

Uzorak	Tlak (MPa)	Vrijeme obrade tlakom (min)	L*	a*	b*	ΔE^*
Referentni	0	0	39,92	10,11	3,26	0,00
1	150	3	41,21	8,26	3,30	2,25
2	150	9	40,63	8,53	3,90	1,85
3	150	15	40,98	9,24	2,17	1,75
4	300	3	39,96	9,44	1,98	1,45
5	300	9	40,43	9,07	2,11	1,63
6	300	15	40,34	8,80	2,42	1,61

Tablica 2. Prikaz rezultata mjerenja boje uzoraka 2 sata nakon tretmana visokim tlakom

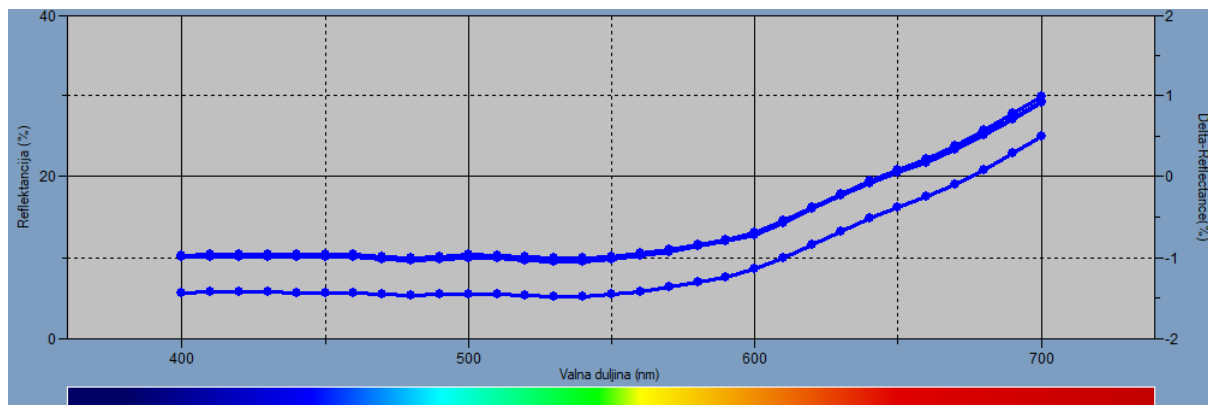
Uzorak	Tlak (MPa)	Vrijeme obrade tlakom (min)	L	a*	b*	ΔE^*
Referentni	0	0	40,46	9,23	3,38	0,00
1	150	3	42,10	7,78	3,50	2,19
2	150	9	41,43	7,93	4,98	2,27
3	150	15	41,59	8,61	2,20	1,75
4	300	3	40,06	8,88	1,72	1,74
5	300	9	41,02	8,33	1,76	1,93
6	300	15	40,63	8,01	1,99	1,86

Tablica 3. Značenje razlika između izračunate ΔE^* vrijednosti i referentne

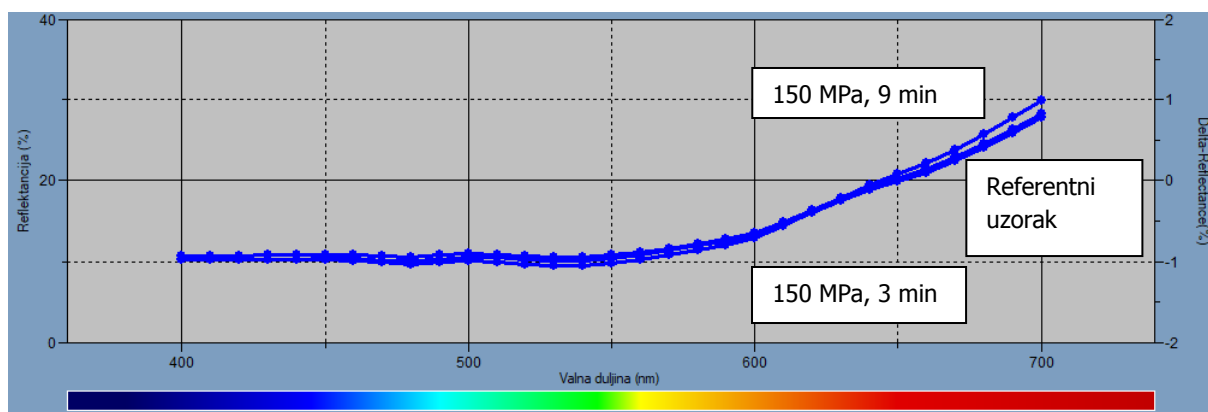
ΔE^*	Značenje
0 - 0,5	Razlike u tragovima
0,5 - 1,5	Mala razlika
1,5 - 3,0	Primjetna razlika
3,0 - 6,0	Značajna razlika
6,0 - 12,0	Velika razlika
>12,0	Vrlo velika razlika

Promjena boje uzorka u odnosu na referentni uzorak izražava se pomoću ΔE^* vrijednosti. Prema rezultatima mjerenja boje prikazanim u tablicama 1 i 2 možemo vidjeti da je došlo do promjena boje u uzorcima u odnosu na referentni uzorak. Promjene boje variraju od uzorka do uzorka, neovisno o jačini tlaka korištenog u tretmanu i trajanju tretmana visokim hidrostatskim tlakom. Najveće promjene boje vidljive su kod uzoraka koji se u odnosu na ostale uzorke najviše razlikuju po L^* vrijednosti, odnosno po svjetlini uzorka. Zbog toga se povećava ΔE^* vrijednost. Tablica 3 pokazuje nam značenje razlika između izračunate ΔE^* vrijednosti i referentne. Mjerenjem boje odmah nakon tretmana dobili smo rezultate koji pokazuju da kod 83,3 % uzoraka dolazi do primjetne promjene boje, a kod 16,6 % uzoraka dolazi do male promjene boje. Mjerenja boje nakon 2 sata skladištenja uzoraka pokazuju primjetnu promjenu boje kod 100 % uzoraka. Do promjene boje u smoothieju korištenom u radu dolazi zbog oksidacije i reakcija posmeđivanja. Prema rezultatima mjerenja možemo

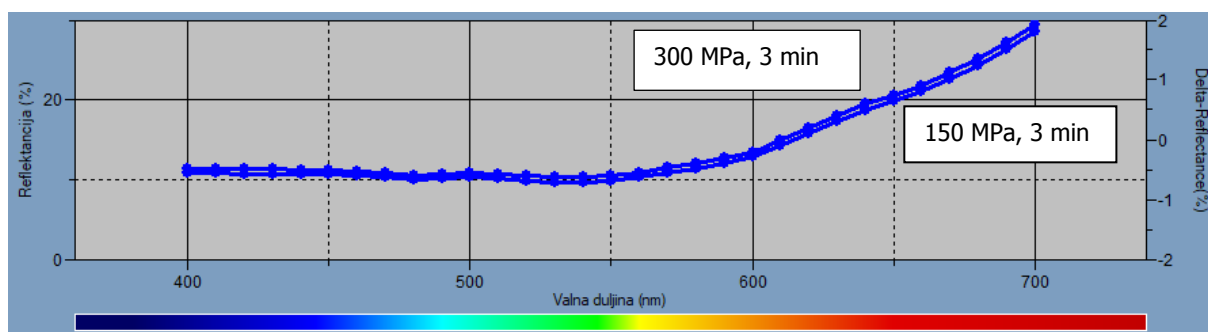
zaključiti da tretman visokim hidrostatskim tlakom ne utječe na navedene reakcije te da bez obzira na visinu tlaka i vrijeme trajanja tretmana, dolazi do promjene boje u smoothieju.



Slika 12. Promjena boje referentnog uzorka tijekom 120 min ispitivanja



Slika 13. Usporedba boje netretiranog (referentnog) uzorka s uzorcima obrađenim na 150 MPa tijekom 3 i 9 min



Slika 14. Razlika u boji uzoraka obrađenih pri 150 MPa i 300 MPa tijekom 3 min

Svjetlina uzorka izražava se postotkom reflektancije. Kada bi reflektancija bila 100 % , tada je uzorak bijele boje. U slučaju reflektancije 0 % , uzorak je crne boje. Prema grafičkom prikazu na slici 12 vidljivo je da je referentni uzorak tijekom 120 minuta skladištenja postao svjetliji, odnosno povećala mu se reflektancija. Na temelju grafičkog prikaza na slici 13 vidljivo je da je uzorak tretiran tlakom 150 MPa u vremenskom intervalu 9 minuta najsvjetliji u usporedbi sa referentnim uzorkom i uzorkom obrađenim tlakom 150 MPa u vremenskom intervalu od 3 minute. Uspoređujući reflektancije vidljivo je da su uzorci obrađeni tijekom dužeg vremena malo svjetliji u usporedbi s kraće obrađenim i neobrađenim uzorcima. Na grafičkom prikazu također je primjetljiva promjena boje u odnosu na referentni uzorak, no ta promjena je malena, nije vidljiva golim okom i nije značajna za smoothie. Na slici 14 grafički je prikazana razlika u boji uzoraka obrađenih različitim tlakovima (150 MPa i 300 MPa) u istom vremenskom intervalu (3 minute). Vidljivo je da bez obzira na razliku u tlakovima nema značajne promjene boje te možemo zaključiti da povećanje tlaka ne utječe na promjenu boje u smoothieju.

4.3. Rezultati mjerenja pH

Tablica 4. Prikaz rezultata mjerenja pH referentnog uzorka i tretiranih uzoraka

Uzorak	Tlak	Trajanje obrade (min)	t (°C)	pH
Referentni	0	0	17,7	5,450
1	150	3	22,3	5,486
2	150	9	22,7	5,391
3	150	15	21,3	5,461
4	300	3	21,3	5,450
5	300	9	19,3	5,409
6	300	15	19,0	5,471

Iz rezultata dobivenih mjerenjem pH vrijednosti, prikazanih u tablici 4, vidljivo je da nema primjetne razlike pH vrijednosti uzoraka tretiranih visokim tlakom u odnosu na pH vrijednost referentnog uzorka. Uz to, ne primjećuje se značajna razlika pH vrijednosti između uzoraka tretiranih visokim tlakom u različitim vremenskim intervalima.

5. ZAKLJUČAK

Obrada prehrambenih proizvoda visokim hidrostatskim tlakom je netermička metoda koja ne dovodi do narušavanja nutritivnih svojstava proizvoda. Zbog sve većeg interesa javnosti za nutritivno bogatom hranom, porasla je i uporaba visokog hidrostatskog tlaka u proizvodnji prehrambenih proizvoda. Uz to, može se koristiti i za toplinski osjetljivu hranu. Budući da se okus hrane ne mijenja obradom visokim hidrostatskim tlakom, ta tehnologija se pokazuje kao dobra alternativa termičkoj obradi hrane. Usprkos tome nerealno je očekivati da će u bližoj budućnosti u potpunosti zamijeniti termičku obradu proizvoda zbog svojih visokih početnih troškova.

Iz dobivenih rezultata ovog rada može se zaključiti:

1. Raspodjela čestica je uglavnom slična kod tretiranog i netretiranog smoothieja.
2. Do promjene boje smoothieja dolazi zbog oksidacije i reakcija posmeđivanja. Obrada smoothieja visokim hidrostatskim tlakom nema utjecaja na promjenu boje smoothieja.
3. ph tretiranih uzoraka i referentnog uzorka značajno se ne razlikuju.

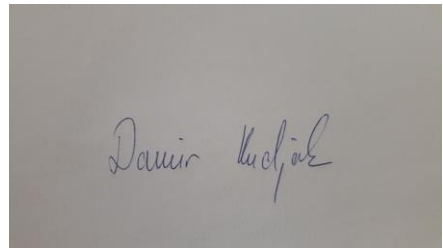
6. LITERATURA

1. Advent d.o.o. Badem (2001) <<https://advent.hr/namirnice/badem-20/>> Pristupljeno 24. Srpnja 2019.
2. AMT- Metriks. ba (2019) <<http://www.amt-metriks.ba/cms/index.php?kolorimetri>> Pristupljeno 7. Rujna 2019.
3. Aydin C. (2003) Physical properties of almond nut and kernel, *Journal of Food Engineering*, 60 (3), str. 315-320.
4. Bosiljkov T., Tripalo B., Ježek D., Brnčić M., Karlović S. (2010) Princip rada i primjena visokih tlakova u prehrambenoj industriji, *Kemija u industriji* 59 (11): str. 539-545
5. Culver C.A., Wrolstad R.E. (2008), Color Quality of Fresh and Processed Foods, American Chemical Society, str. 1- 17.
6. Erenturk S., Erenturk K. (2007), Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot, *Journal of Food Engineering*, 78 (3), str. 905-912.
7. Hui Y.H. (2006), Handbook of Fruit science and Technology, production, composition, storage and processing, John Wiley& Sons, Inc., str. 367- 385.
8. Janick J., Cummins J. N., Brown S. K., Hemmat M. (1996) Apples in: J. Janick and J. N. Moore (editors), Fruit Breeding, Vol. 1, Tree and Tropical Fruits, John Wiley & Sons, New York, str. 1- 77.
9. Jillavenkatesa A., Dapkunas S. J., Lum L. S. H. (2001), Particle Size Characterization, National Institute of Standards and Technology, str. 1- 93.
10. Jongen W. (2002), Fruit and vegetable processing, Woodhead Publishing Limited, str. 346- 358.
11. Kantoci D. (2014), Sve o mrkvi, *Glasnik Zaštite Bilja* 37 (6), str 20-24.
12. Katalog opreme Prehrambeno- biotehnološkog fakulteta, <http://www.pbf.unizg.hr/znanstveni_i_strucni_rad/katalog_opreme>, Pristupljeno 24. Srpnja 2019.

13. Kokotkiewicz A., Jaremicz Z., M. Luczkiewicz (2010), Aronia Plants: A Review of Traditional Use, Biological Activities, and Perspectives for Modern Medicine, *Journal of Medicinal Food* 13 (2), str. 255-269.
14. Krešić G., Lelas V., Režek Jambrak A., Herceg Z. (2011) Primjena visokog tlaka u postupcima obrade hrane, *Kemija u industriji* 60 (1): str. 11-19.
15. Lelas V. (2006) Nove tehnike procesiranja hrane, *Mljekarstvo* 56 (4): str. 311-330.
16. MacDougall D.B. (2002), Colour in food, Woodhead Publishing Limited, str. 33- 60.
17. Picouet P. A., Hurtado A., Jofré A., Bañon S., Ros J. M., Guàrdia M. D. (2016.) Effects of Thermal and High- pressure Treatments on the Microbiological, Nutritional and Sensory Quality of a Multi- fruit Smoothie, *Food Bioprocess Technology*, str. 1-14.
18. Rastogi N. K. (2013), Recent Developments in High Pressure Processing of Foods, Springer US, str. 1-9.
19. Seow C. C., Gwee C. N. (1997), Coconut milk: chemistry and technology, *International Journal of Food Science and Technology*, 32 (3): str. 198- 201.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mog rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

A rectangular box containing a handwritten signature in dark ink. The signature appears to read "Damiir Kucijak".

ime i prezime studenta