

Nove netoplinke tehnologije u obradi voćnih i povrtnih funkcionalnih napitaka

Stanković, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:159:756099>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Ana Stanković

7187/PT

**NOVE NETOPLINSKE TEHNOLOGIJE U OBRADI VOĆNIH I POVRTNIH
FUNKCIONALNIH NAPITAKA**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Jedinične operacije

Mentor: doc.dr.sc. *Sven Karlović*

Zagreb, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Zavod za Procesno inženjerstvo

Laboratorij za tehnološke operacije

Znanstveno područje: Biotehnološke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

NOVE NETOPLINSKE TEHNOLOGIJE U OBRADI VOĆNIH I POVRTNIH FUNKCIONALNIH NAPITAKA

Ana Stanković, 0058208247

Sažetak: Eksperimentalni dio ovog rada sastojao se od određivanja fizikalnih svojstava napitaka od cikle te mješavine jabuke i mrkve nakon tretmana ultrazvukom visokog intenziteta. Rezultati su se usporedili s uzorcima koji nisu bili podvrgnuti tretmanu ultrazvukom. Cilj je bio ustanoviti utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta različite amplitude i vremena trajanja tretmana na viskoznost, gustoću, pH, raspodjelu veličina čestica te kolorimetriju.

Ključne riječi: ultrazvuk visokog intenziteta, sok od cikle, sok od mješavine jabuke i mrkve fizikalna svojstva , raspodjela čestica

Rad sadrži: 30 stranica, 17 slika, 5 tablica, 23 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: doc.dr.sc. Sven Karlović

Pomoć pri izradi: Goran Bosanac, mag.ing., Darjan Pipić

Datum obrane: .09.2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

Undergraduate studies Food Technology

Department of Process Engineering

Laboratory for Unit Operations

Scientific area: Biotechnological sciences

Scientific field: Food Technology

NEW NON-THERMAL TECHNOLOGY IN THE PROCESSING OF FRUIT AND VEGETABLE FUNCTIONAL BEVERAGES

Ana Stanković, 0058208247

Abstract: The experimental part of this work consisted of the determination of the physical properties of the red beet drink as well as the combination of apple and carrot after ultrasound treatment and the comparison of their physical characteristics after the treatment with an untreated sample. High intensity ultrasound with different amplitudes and duration was used and the effect on the viscosity, density, pH value, particle size distribution and colorimetry was observed.

Keywords: high intensity ultrasound, physical properties, red beet drink, combination of apple and carrot drink, particle size distribution

Thesis contains: 30 pages, 17 figures, 5 tables, 23 references

Original in: Croatian

Final work in printed and electronic (pdf format) version is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: PhD Sven Karlovic, Assistant professor

Technical support and assistance: Goran Bosanac, mag.ing., Darjan Pipić

Defence date: .09.2018.

Završni rad izrađen je u cijelosti u Laboratoriju za tehnološke operacije Zavoda za procesno inženjerstvo, Prehrambeno–biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom doc.dr.sc. Svena Karlovića i uz tehničku pomoć mag.ing. Gorana Bosanca i Darjana Pipića.

Sadržaj

1	Uvod.....	1
2	Terijski dio.....	2
2.1	Ultrazvuk.....	2
2.1.1	Definicija i spektar frekvencija zvučnih valova.....	2
2.1.2	Podjela zvučnih valova.....	3
2.1.3	Fizikalna svojstva valova.....	4
2.1.4	Definicija i podjela ultrazvuka.....	5
2.1.5	Nastajanje ultrazvučnih valova.....	5
2.1.5	Kavitacija.....	7
2.1.6	Vrste ultrazvučnih uređaja.....	8
2.1.7	Primjena ultrazvuka u prehrambenoj tehnologiji.....	11
2.2	Fizikalna svojstva hrane.....	13
2.2.1	Viskoznost.....	14
2.2.2	Određivanje boje (kolorimetrija).....	15
2.3	Određivanje raspodjele veličine čestica.....	16
3	Materijali i metode.....	17
3.1	Materijali – priprema uzorka.....	17
3.2	Metode rada.....	17
3.2.1	Tretman ultrazvukom.....	17
3.2.2	Mjerenje viskoznosti.....	18
3.2.3	Mjerenje gustoće.....	19
3.2.4	Mjerenje pH.....	19
3.2.5	Mjerenje apsorbancije i boje.....	20
3.2.6	Određivanje raspodjele veličina čestica.....	21
4	Rezultati i rasprava.....	22
4.1	Mjerenje viskoznosti, gustoće i pH.....	22
4.2	Određivanje raspodjele čestica.....	23
4.3	Mjerenje apsorbancije i kolorimetrija.....	25
5	Zaključak.....	28
6	Literatura.....	29

1 Uvod

Prehrambena industrija današnjice teži napretku u obradi hrane te nastanku novih ili razvoju postojećih prehrambenih proizvoda. Iz tog razloga se među prehrambenim tehnologizima javlja sve veći interes za područje novih netoplinskih tehnologija obrade hrane te se njima nastoje zamijeniti ili nadopuniti postojeće tehnologije. Pod pojmom novih netoplinskih metoda ubrajaju se obrada visokim tlakom, ultrazvukom, pulsirajućim električnim i magnetskim poljem itd. Njihovom primjenom u obradi hrane ne dolazi do jakog zagrijavanja te to rezultira očuvanjem senzorskih i nutritivnih vrijednosti.

Ultrazvuk visokog intenziteta u prehrambenoj industriji nalazi široku primjenu u postupcima sušenja, ekstrakcije, kristalizacije, filtracije, zamrzavanja, homogenizacije, sterilizacije, degradacije, inaktivacije mikroorganizama itd. (Fairbanks, 2001.)

Funkcionalni napitci se danas sve češće konzumiraju prvenstveno zbog porasta svijesti kod ljudi o zdravoj prehrani. Prilikom obrade voća i povrća za dobivanje takvih napitaka, poželjno je što manje promijeniti nutritivni sastav, a vizualni doživljaj finalnog proizvoda bi trebao biti što prirodniji, odnosno sličniji polaznim sirovinama. Iz ovih razloga izuzetno je pogodna metoda obrade ultrazvukom visokog intenziteta zbog kratkog trajanja , ali i relativno niske temperature obrade.

U ovom radu se na primjeru sokova od jabuke, mrkve i cikle proučava utjecaj trajanja i intenziteta tretmana ultrazvukom jakog intenziteta na fizikalna svojstva sokova. Odnosno, nakon tretmana su mjerene vrijednosti viskoznosti, gustoće, pH, promjene boje i raspodijele čestica te je cilj rada zaključiti na koja svojstva je tretiranje djelovalo i kako.

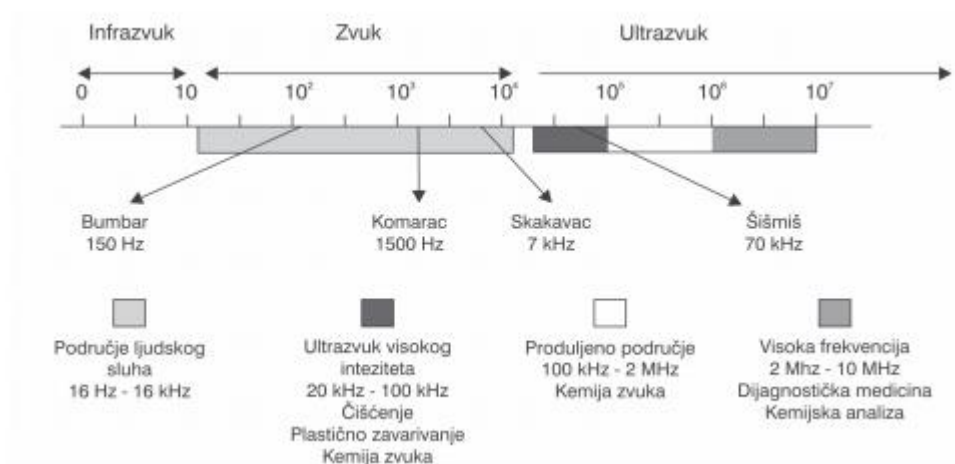
2 Terijski dio

2.1 Ultrazvuk

2.1.1 Definicija i spektar frekvencija zvučnih valova

Zvučni valovi su mehaničke vibracije koje se mogu rasprostirati kroz čvrsti, tekući i plinoviti medij koji posjeduje elastična svojstva. Elastičnost je svojstvo da se neko tijelo, nakon djelovanja sile na njega, deformira, ali i vrati u početno stanje. Elastično sredstvo posjeduje elastične veze zbog kojih se energija prenosi na sljedeću, susjednu česticu. Shodno definiranome, širenje vala je zapravo postupni prijenos poremećaja u sredstvu.

Ljudsko uho može čuti zvukove čija je frekvencija u rasponu od 16 Hz do 16 kHz, a frekvencija ultrazvuka je iznad 20 kHz tako da je njegova frekvencija previsoka za ljudsko slušno područje. Frekvencije ispod 16 Hz pripadaju infrazvuku (Mason, 1998). Mjerna jedinica za zvučnu frekvenciju je Hertz (Hz) što označava broj titraja koja određena čestica napravi u jednoj sekundi. Na slici 1. prikazan je spektar frekvencija zvuka prema Masonu.



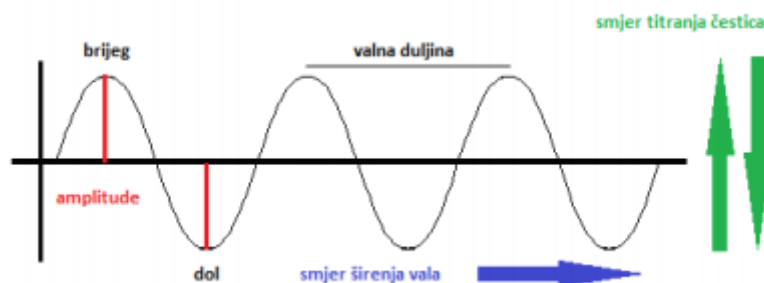
Slika 1. Spektar zvučnih frekvencija (Mason, 1998).

2.1.2 Podjela zvučnih valova

Zvučni valovi se širenjem kroz medij naizmjenično ekspandiraju i sažimaju te pri toj izmjeni ciklusa dolazi do prijenosa energije. Izvor zvuka prenosi vibracije na molekule u mediju te se gibanje prenosi od molekule do molekule. Molekule medija samo osciliraju na mjestu, a val putuje kroz materijal (Leighton, 1998). Ako se prosječna udaljenost molekula u odnosu na primarni položaj smanjila, tada je došlo do kompresije vala, a ako se prosječna udaljenost povećala, došlo je do ekspanzije vala. Zvučni val može se prostirati na dva načina. Ukoliko čestice titraju okomito na smjer širenja vala, riječ je o transverzalnom valu, a kod longitudinalnog vala je smjer titranja čestica u smjeru širenja vala (Mason i Lorimer, 2002). Bitna razlika između te dvije vrste vala je i u tome što se transverzalni valovi mogu širiti samo u elastičnom čvrstom mediju jer je moguće tlačno naprezanje, a longitudinalni se mogu širiti i tekućem i plinovitom mediju.



Slika 2. Longitudinalni val



Slika 3. Transverzalni val

2.1.3 Fizikalna svojstva valova

Osnovne fizikalne veličine kojima su određeni zvučni valovi su : frekvencija (f [Hz]), amplituda (A [m]), valna duljina (λ [m]), brzina zvuka (c [m/s]), period vala (T [s]) i intenzitet vala (I [W/m²]) i koeficijent prigušenja (α).

Frekvencija je fizikalna veličina koja iskazuje broj ponavljanja neke periodične pojave u jedinici vremena. Kod zvuka je to zapravo broj punih titraja, odnosno brijegova i dolova u sekundi. Period vala (T) je veličina kojom iskazujemo trajanje jednog ciklusa periodične promjene i obrnuto je proporcionalan frekvenciji.

$$f = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{s} \right], [Hz]$$

Valna duljina je udaljenost između dvije točke u valu s istom fazom u nekom vremenskom trenutku, odnosno udaljenost između dvije točke najvećeg zgušnjavanja ili razrjeđenja medija kroz koji se val širi. Izraz koji je opisuje je:

$$\lambda = \frac{c}{f} [m]$$

gdje je :

c = brzina zvuka [m/s], λ = valna duljina [m], f = frekvencija zvuka [Hz]

Brzina širenja zvučnog vala proporcionalna je frekvenciji i valnoj duljini ($c = \lambda \times f$), a može se odrediti i mjerenjem vremena koje je potrebno da val prijeđe poznatu udaljenost ($c = \frac{d}{t}$), (Dickinson, McClements, 1995). Vrijednost brzine širenja zvučnog vala ovisi o gustoći i elastičnosti materijala kroz koji se širi.

Amplituda zvučnog vala je maksimalna udaljenost koju čestica može postići iz svog stacionarnog stanja i ona predstavlja intenzitet vala. Prilikom prolaska vala kroz medij dolazi do apsorpcije i djelomičnog raspršivanja vala što za posljedicu ima smanjenje amplitude i ono je izraženije sa povećanjem udaljenosti od izvora vala. To smanjenje amplitude definira

se koeficijentom prigušenja $[\alpha]$. Matematički se može opisati izrazom (Dickinson,McClements, 1995):

$$A = A_0 * e^{-\alpha x}$$

gdje je: A = amplituda zvučnog vala, A_0 = početna amplituda zvučnog vala, α = koeficijent prigušenja materijala i x = prijeđena udaljenost.

Glavni uzroci prigušenja su adsorpcija i raspršivanje, a osim njih može biti uzrokovano refleksijom, refrakcijom i difrakcijom. Zbog vibracija koje se događaju u mediju prilikom prolaska vala dolazi do viskoznih interakcija te se dio zvučne energije pretvara u toplinsku koju medij adsorbira. Ta pojava razlog je povišenja temperature prilikom tretiranja materijala ultrazvukom visokog intenziteta. Prigušenje zbog raspršivanja se najčešće pojavljuje kod emulzija, suspenzija i ostalih materijala heterogene konzistencije. Tu ne dolazi do povišenja temperature već energija ostaje pohranjena u obliku ultrazvučne, ali do prigušenja svejedno dolazi zbog promjene smjera i faze prenošenja vala.

2.1.4 Definicija i podjela ultrazvuka

Ultrazvuk je oblike energije koji se prenosi preko zvučnih valova čije je frekvencija iznad 20 kHz pa do 2MHz. Najčešće se postiže pretvaranjem električnih titraja u mehaničke pomoću piezoelektričnih kristala.

S obzirom na širok raspon frekvencija koje obuhvaća ultrazvuk, njegova primjena se općenito dijeli na 2 glavna polja : ultrazvuk niskog i visokog intenziteta. Frekvencije iznad 2 MHz pripadaju ultrazvuku niskog intenziteta, a pod pojmom ultrazvuk visokog intenziteta smatraju se zvučni valovi frekvencije od 20 do 100 kHz uz prošireno područje do 2MHz.

2.1.5 Nastajanje ultrazvučnih valova

Kako bi nastao ultrazvučni val, potreban je izvor vibracija visoke energije i medij kroz koji val putuje. Najčešći medij za korištenje ultrazvuka je tekućina, a kao izvor poremećaja služi pretvornik koji pretvara mehaničku ili električnu energiju u zvučni val visoke frekvencije. Tri

osnovna tipa pretvarača koji se uobičajeno upotrebljavaju u stvaranju ultrazvuka su : plinski vođen pretvarač, tekućinski vođen i elektromehanički pretvarač. (De Castro i Capote, 2007a). Najširu upotrebu u ultrazvučnim uređajima ima piezoelektrični pretvarač koji pomoću električne i mehaničke energije generira ultrazvuk.

Glavna građevna komponenta piezoelektričnog pretvarača je kristal koji posjeduje piezoelektrična svojstva, odnosno sposobnost nastanka mehaničke energije iz električne. Ta pojava se naziva inverzni piezoelektrični efekt gdje kao posljedica djelovanja električnog polja dolazi do mehaničke deformacije u kristalu i tako se omogućuje nastanak titranja kristala u ultrazvučnom području. Pojava gdje nastaje električna polarizacija kao posljedica djelovanja vanjske promjenjive sile, odnosno mehaničke deformacije naziva se piezoelektrični efekt. Kristali koji se najčešće primjenjuju u pretvaračima su kremen (kvarc), turmalin i monokalij-fosfat, a bitno zajedničko obilježje im je da nemaju centar simetrije (Peshkovsky, 2007). Dakle, kad su piezoelektrični materijali podvrgnuti tlačnom opterećenju, oni generiraju naboj, a djelovanjem električnog polja na materijal dolazi do njegove deformacije. (Čugura, 2010).

Konstrukcija piezoelektričnog pretvornika se sastoji od dva piezoelektrična diska spojena između dva metalna bloka koji služe kao prevencija od pregrijavanja i općenita zaštita kristalima. Širenjem i skupljanjem piezoelektričnog kristala nastaju ultrazvučne vibracije.

Prednosti ove vrste pretvornika i rasprostranjenost upotrebe krije se u tome što se mogu koristiti u širem rasponu frekvencija, općenito su učinkovitiji, manji su, laganiji te relativno jeftini. Sve te prednosti čine ih najboljim izborom u sonokemiji u laboratorijskim uvjetima. Glavni nedostatak je manja izdržljivost jer se materijal s vremenom troši. (Mason i Lorimer, 2002).

Magnetostriktivni pretvornici bili su preteča piezoelektričnima, a njihov rad temelji se na magnetostriktivskom efektu koji posjeduju određeni metali (nikal, kobalt, željezo) . To je pojava da si pri utjecaju magnetskog polja mijenja početna veličina materijala. Uzrok tome je promjena kristalne rešetke tog feromagnetičnog materijala na način da se njezini dijelovi nastoje postaviti u smjeru magnetskog polja i to rezultira smanjenjem veličine materijala. Kad se djelovanje magnetskog polja ukloni, kristalna rešetka vraća se u prvobitni položaj.

To svojstvo se iskoristilo tako da magnetsko polje djeluje kao serija kratkih pulseva pa dolazi do vibracije samog materijala i on vibrira istom frekvencijom kao pulsevi.

Glavna prednost ove vrste pretvarača je u njegovoj kompaktnoj i izdržljivoj konstrukciji te stvaranju velike pokretačke snage što ih čini pogodnim za tešku industriju. Nedostaci koji su prevagnuli u korist dominacije upotrebe piezoelektričnih pretvornika su niska gornja granica radne frekvencije (100 kHz) te niska iskoristivost energije (oko 40% energije se gubi o obliku topline) pa je potrebno i hlađenje sustava.

2.1.6 Kavitacija

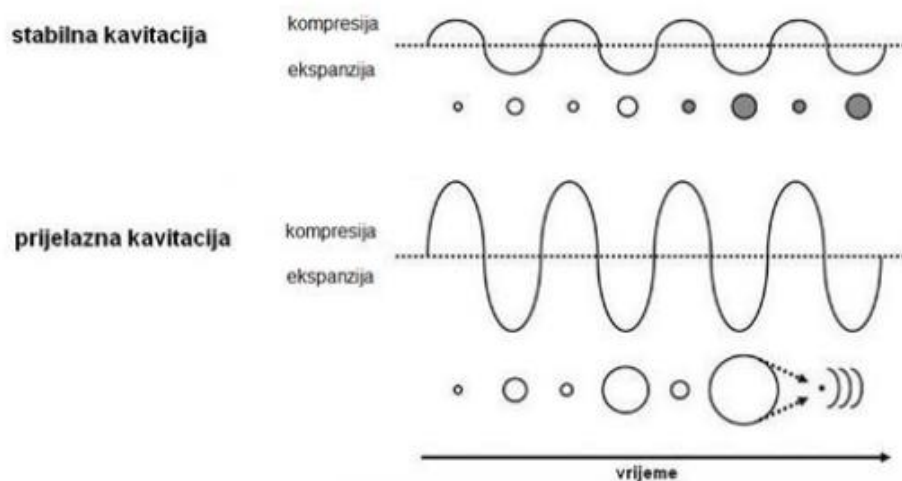
Kavitacija se općenito definira kao stvaranje i implozija jednog ili više džepova plina u mediju koji se tretira, kao posljedica djelovanja sila u tekućini te to uključuje stvaranje novih mjehurića i rast postojećih (Karlović, 2013). Akustična kavitacija je kavitacija koja nastaje unutar oscilirajućeg tlačnog polja, odnosno kao posljedica zvučnog vala. (Marton & Marton, 1981). Tako se djelovanjem ultrazvuka visokog intenziteta na tekući medij stvaraju longitudinalni valovi te dolazi do naizmjeničnih izmjena tlaka u tekućini, odnosno ciklusa kompresije i ekspanzije molekula. Prilikom ekspanzijskog ciklusa je tlak u tekućini nizak, molekule su međusobno udaljene i stvara se negativni tlak uslijed kojeg se stvaraju mali mjehurići. Unutar mjehurića se stvara plin koji može biti para tekućeg medija, neki drugi plin ili kombinacija. Nastali mjehurići se nastavljaju povećavati i apsorbirati energiju ultrazvuka sve dok se ne postigne maksimalni negativni tlak te se mjehurić raspadne (Patist i Bates, 2007). Uslijed implozije mjehurića dolazi do nastajanja udarnih (šok) valova, odnosno oslobađanja energije u obliku brze promjene i tlaka i oslobađanja visoke temperature (oko 5000 K). (Suslick, 1998). Iako se na lokalnoj razini postižu jako visoke temperature, ukupno gledano se medij ne zagrijava jako jer je relativna veličina mjehurića vrlo mala u odnosu na čitav volumen pa dolazi do rasipanja topline. Zato se kavitacija naziva i „ hladnim ključanjem“ (Luque de Castro i Priego Capote, 2007; Piyasena i sur., 2003). Kavitaciji će podleći samo mjehurići čiji je promjer veći od minimalnog za zvučnu kavitaciju, jer oni manji se otpe u tekućini unutar par sekundi, a veći mjehurići se izdižu prema površini. (Shah i sur., 1999).

Postoji podjela ultrazvučne kavitacije ovisno o vrsti mjehurića koja se stvara pa ona može biti stabilna i prijelazna. Kod stabilne (neinerzijske) kavitacije se javlja mali do umjereni rast promjera mjehurića te njegovog ponovnog sažimanja. Nastaju pri niskim intenzitetima

ultrazvuka od 1 do 3 Wcm^{-2} . Dolazi do difuzije plina kroz granicu između medija i plina u mjehuriću. Ovakvi mjehurići se rijetko raspadaju već samo osciliraju oko ravnotežnog promjera pa su akustični tlakovi malo niži od graničnog tlaka (do nekoliko atmosfera) te je zbog dugog životnog vijeka moguće doći do prijenosa mase. Ako su mjehurići blizu svojoj rezonantnoj frekvenciji, oni postaju izvor brzine te to dovodi do tečenja dijela medija. To se može primjenjivati u čišćenju i drugim operacijama.

Prijelaznu ili inercijsku kavitaciju karakteriziraju mjehurići čije su praznine ili parom ispunjeni mjehurići nastali djelovanjem nižih frekvencija ultrazvuka i intenzitetima većim od 10 Wcm^{-2} . Ona se javlja kada je amplituda akustičnog tlaka veća od gornje granične razine za tekući medij u kojem se val širi. Tijekom negativnog dijela ciklusa (ekspanzije) dolazi do veće difuzije plina u mjehurić nego što difundira van za vrijeme pozitivnog dijela ciklusa (kompresije) te to već nakon nekoliko ciklusa dovodi do naglog raspadanja i eksplozije mjehurića.

Slika 4. Stabilna i prijelazna kavitacija (Newman i Bettinger, 2007)



Slika 4. Stabilna i prijelazna kavitacija (Newman i Bettinger, 2007)

2.1.7 Vrste ultrazvučnih uređaja

Ultrazvučni uređaji koji se danas koriste razlikuju se po tipu pretvornika, ultrazvučnom reaktoru ili ćeliji te načinu na koji se ultrazvuk dovodi tretiranom materijalu. Razlikuju se četiri komercijalno dostupna laboratorijska uređaja : tekućinska zviždaljka, uređaji u obliku roga, ultrazvučne kupelji i sustavi s direktno uronjenom sondom (De Castro i

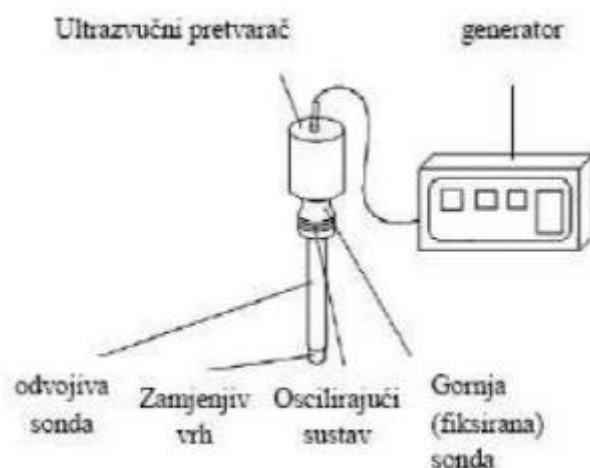
Capote, 2007). Za potrebe ovog rada koristila se direktno uronjena sonda i to je, uz ultrazvučnu kupelj, općenito najčešće korišteni tip uređaja.

Konstrukcija ultrazvučne kupelji je vrlo jednostava i prikazana je na slici 5. Najčešće se sastoji od spremnika od nehrđajućeg čelika i pretvornika koji su spojeni na bazu. Klasični model radi samo pri frekvenciji od 40 kHz, a neki modeli imaju više pretvornika različitih frekvencija. Intenzitet ultrazvuka unutar kupelji nije ravnomjerno raspoređeni, a maksimalni intenzitet je vrlo nizak, između 1 i 5 Wcm^{-2} (Mason i Lorimer, 2002; Torley i Bhandari, 2007; Gogate, 2007). Većina ultrazvučnih kupelji ima građen sustav za grijanje i hlađenje tekućine, električni sat za praćenje duljine tretmana te termometar. S obzirom da intenzitet ultrazvuka nije ravnomjerno raspoređen i da se javljaju problemi oko održavanja konstantne temperature kupelji, njihova je primjena ograničena na operacije čišćenja i uklanjanja otopljenih plinova.



Slika 5. Ultrazvučna kupelj

Sustav ultrazvučnih sondi čine četiri osnovna dijela: generator, pretvornik, fiksni i odjeljivi rog ili sonda i prikazan je na slici 6. Generator pretvara električnu energiju u visoku energiju izmjenične struje. Uloga pretvornika je da pretvara visoku energiju ultrazvučne struje u mehaničke vibracije određene frekvencije čiju amplitudu povećava fiksni rog, a sonda prenosi energiju ultrazvuka na uzorak.



Slika 6. Sustav ultrazvučne sonde

Odjeljiv rog (sonda) je najbitniji dio uređaja. Mehaničke vibracije koje uvodi pretvarač u medij nisu dovoljno visokog intenziteta da bi uzrokovale kavitaciju pa tu onda metalni rog služi za širenje vibracija. Oblik i veličina određuju u kojoj će se mjeri pojačati vibracije. Razlikujemo stepene, cilindrične, linearno sužene i eksponencijalno sužene sonde, a materijal od kojeg je izrađena mora biti kemijski inertan te otporan na kavitaciju i eroziju tako da se najčešće upotrebljava titan ili njegove legure. Da bi se postigao efikasan prijenos energije potrebno je da izvor vibracija i opterećenje pod kojim djeluje budu usklađeni. Najveća prednost ultrazvučne sonde pred ultrazvučnom kupelji je u jačini intenziteta prijenosa vibracija, koji kod sonde može biti i do sto puta veći i što se amplituda zračenja sonde može postaviti na bilo koju željenu razinu. Nedostaci ovog sustava su mogućnost erozije vrška roga zbog kavitacije te to može uzrokovati kontaminaciju uzorka koji se obrađuje metalom, a s druge strane skraćivanje dužine roga utječe na efikasnost sustava. Negativno je i što postoji mogućnost stvaranja slobodnih radikala te zagrijavanje tretiranog materijala. (Torley i Bhandari, 2007).

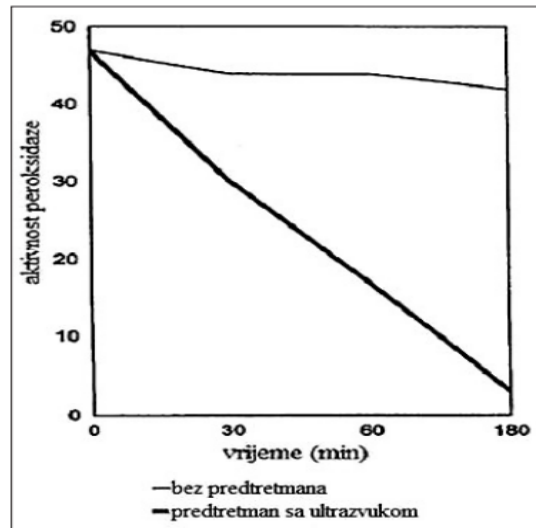
Izbor metode tretmana ovisi o zahtjevima analize kojoj se podvrgava materijal. Ukoliko se želi postići ukupna ekstrakcija čvrsto- tekuće, tada je primijenjuje ultrazvučna sonda jer je potrebno kraće vrijeme da se postigne ekstrakcija. No, kada je potrebno analizirati velik broj uzoraka odjednom tada je bolja opcija ultrazvučna kupka jer ostali uređaju istovremeno mogu obraditi samo jedan uzorak.

2.1.8 Primjena ultrazvuka u prehrambenoj tehnologiji

Ultrazvuk u prehrambenoj tehnologiji i biotehnologiji ima upotrebu u širokom spektru operacija ovog područja, a njegova upotreba postaje sve češća jer se uviđaju sve njegove prednosti. Pa tako se primjenjuje kod homogenizacije, ekstrakcije, kristalizacije, sušenja, inaktivacije mikroorganizama, filtracije, sterilizacije i emulgiranja. Općenito se ultrazvuk niskog intenziteta koristi za analitičke metode i praćenje kakvoće proizvoda. Njegovim korištenjem mogu se dobiti informacije o kemijskom sastavu hrane, njezinom fizikalnom stanju te strukturi i veličini čestica. Koristiti se može za određivanje veličine kapljica, opsega kristalizacije u emulzijama, a posebno je pogodna za detekciju stranih tijela u hrani, pogotovo kod optički neprozirne hrane gdje se metode koje koriste svjetlost ne mogu primjeniti (Gaonkar, 1995). Za procese obrade hrane se koristi ultrazvuk visokog intenziteta i njegova primjena je puno šira, a on uzrokuje trajne fizikalne, kemijske i biokemijske posljedice (Brnčić, 2009).

Već se prije 70 godina otkrilo da se ultrazvuk može upotrijebiti za inhibiciju enzima pa se tako njegovom primjenom inhibirao pepsin. Za prehrambenu tehnologiju bilo je posebno bitno da se tretiranje ultrazvukom može značajno smanjiti aktivnost peroksidaze (do 90% u tri sata tretmana) jer se taj enzim često nalazi u voću i povrću te uzrokuje posmeđivanje i gubitak okusa (Povey i Mason, 1995). Na slici 7 grafički su prikazani rezultati do kojih su došli Mason i Povey. No, ultrazvuk ne utječe na sve enzime inhibirajuće (amilaze i katalaze). S druge strane, moguće ga je upotrijebiti za aktivaciju imobiliziranih enzima tako da se poveća afinitet enzima prema supstratu. Često je korištenje i manotermosonifikacije, odnosno kombiniranja ultrazvuka s toplinom i temperaturom jer se ta metoda pokazala uspješnom pri inaktivaciji enzima otpornih na toplinu.

Primjena ultrazvuka kod sušenja je također od velikog značaja za prehrambenu tehnologiju jer omogućuje da se postupak sušenja odvija pri nižim temperaturama te se time smanjuje degradacija i oksidacija materijala. Ultrazvuk omogućava bržu difuziju vode iz središta materijala na površinu i tako su potrebne niže temperature za uspješan proces sušenja. Dolatowski je u svojim eksperimentima zaključio da se poveća prijenos topline između zagrijane čvrste površine i tekućine za 30-60%.



Slika 7. Utjecaj tretmana ultrazvukom na aktivnost peroksidaze (Povey i Mason, 1995.)

Učinkovita upotreba ultrazvuka nalazi se i u uklanjanju plinova iz tekuće hrane. Prilikom tretmana ultrazvukom mogu otopljeni plinovi ili mjehurići plina u tekućini djelovati kao centri stvaranja kavitacijskih mjehurića. No, takvi kavitacijski mjehurići se tijekom kompresijskih ciklusa ne raspadaju jer su ispunjeni plinom već za vrijeme ekspanzijskih ciklusa nastavljaju rasti i njihova ispunjenost plinom se povećava pa isplivaju na površinu. Ekspanzijski ciklus se odvija ekstremno brzo pa iz tog razloga do otplinjavanja dolazi trenutno.

Emulgiranje je bila jedna od prvih primjena ultrazvuka u preradi hrane. Zasniva se na tome da šok val koji nastaje uslijed kavitacije na granici dviju tekućina može pospješiti miješanje tih tekućina. Emulzije dobivene na taj način su stabilnije od onih dobivenih konvencionalnim metodama te zahtijevaju manje količine površinski aktivnih tvari (Bosiljkov, 2011, De Castro i Capote, 2007).

U procesu kristalizacije ultrazvuk omogućuje veću brzinu nukleacije i veću brzinu rasta kristala u zasićenoj otopini. Kavitacijski mjehurići se ponašaju kao centri kristalizacije, a istovremeno se uslijed kavitacije razbijaju postojeći centri te se povećava njihov broj. Velika je pogodnost što se njegovom primjenom mogu proizvesti jednoliki kristali točno određene veličine (Mason i Lorimer, 2002).

Sličan princip djelovanja je i kod procesa smrzavanja, gdje primjenom ultrazvuka brže i u većem broju nastaju centri kristalizacije pa je potpuna tvorba kristala leda brže te tako nastaju manji i jednoličniji kristali leda. Manji kristali leda prilikom smrzavanja su poželjni jer

se tako smanjuju mehanička oštećenja, odnosno ne dolazi do pucanja staničnih stijenki i smanjuje se istjecanje tekućine te je kvaliteta takvog proizvoda veća (Mason i Lorimer, 2002).

Bakteriocidni učinak ultrazvuka zasniva se na promjenama tlaka koje u mikroorganizmu dovode to pucanja stanične stijenke. Velika prednost pred konvencionalnim metodama je što one često uključuju visoke temperature pa to dovodi do degradacije i gubitka hranjivih tvari namirnice, a upotrebom ultrazvuka su te temperature znatno manje (Piyasena, 2003).

Primjenom ultrazvuka pri procesu ekstrakcije se u odnosu na klasični postupak poboljšava prolazak otapala u stanicu i općenito prijenos mase, a razbijanje staničnih stijenki stanica u biljnom materijalu omogućuje lakše otpuštanje staničnih sastojaka. Potvrđeno je da postupak ekstrahiranja uz korištenje ultrazvuka traje kraće i da je iskorištenje procesa veće (Patist i Bates, 2007).

Jako bitna primjena ultrazvuka je i pri čišćenju i dekontaminaciji površina. Snažan mlaz tekućine koji nastaje ne može probiti čvrstu površinu pa se uklanjaju nečistoće i mikroorganizmi s površine. Učinkovitost se može dodavanjem bakteriocidnih deterdženata u vodu namijenjenu za čišćenje (Mason i Lorimer, 2002).

Prilikom filtracije uz pomoć ultrazvuka dolazi do povećanja brzine protjecanja filtrata kroz filter jer ultrazvuk uzrokuje aglomeraciju sitnih čestica. Istovremeno se u sustavu omogućuje dovoljna količina energije vibracija da se čestice održavaju djelomično suspendirane i tako ne začepuju filter što je problem kod konvencionalnih metoda gdje je zbog začepijavanja potrebno često mijenjanje filtera (Mason i Lorimer, 2002).

2.2 Fizikalna svojstva hrane

Fizikalna svojstva hrane su ona svojstva koja se očituju prilikom nekakvih fizikalnih promjena gdje se ne mijenja vrsta, već samo agregacijsko stanje ili oblik tvari. Takva svojstva hrane su npr. viskoznost, gustoća, tekstura, talište, toplinska i električna vodljivosti...

Usljed tretmana uzorka ultrazvukom dolazi do raspada kavitacijskih mjehurića što rezultira šok valovima koji mogu bitno promijeniti i fizikalna i kemijska svojstva tekućine. Intenzitet šok valova ovisi o samim značajkama tekućine (npr. viskoznost i gustoća), ali i

primijenjenoj frekvenciji ultrazvuka. Hrana koja sadrži velik udio vode uglavnom se smatra dobrim medijom za kavitaciju zbog velike napetosti površine koja se stvara. Količina energije koja se oslobodi je veća ukoliko je površinska napetost materijala veća, a smanjuje se što je veći tlak para tekućine (Knorr, 2004).

2.2.1 Viskoznost

Viskoznost je definirana kao otpor prema tečenju. To je zapravo mjera unutrašnjeg trenja koja se javlja kao otpor smičnom naprezanju dva sloja tekućine tijekom strujanja. Njezina vrijednost je obrnuto proporcionalna temperaturi. Razlikujemo newtonovske tekućine, kod kojih je viskoznost pri određenom tlaku i temperaturi stalna veličina, i nenevtonovske tekućine gdje viskoznost nije stalna veličina, već se mijenja promjenom smične brzine.

Reologija je grana fizike koja se bavi proučavanjem deformacija i tečenja krutih i tekućih materijala podvrgnutih djelovanju sile. Ona definira postojanja tri vrste viskoznosti:

- a) Dinamička viskoznost je viskoznost homogenog fluida koji laminarno struji između dva ravna paralelna sloja s razlikom brzina od 1ms^{-1} i razmaku 1 m pri čemu nastaje posmično naprezanje od 1 Pa. Mjerna jedinica je $\text{Pa}\cdot\text{s}$
- b) Kinematička viskoznost predstavlja omjer dinamičke viskoznosti i specifične gustoće fluida pa se izražava u m^2s^{-1} .
- c) Privedna viskoznost se javlja kod nenevtonovskih tekućina gdje se ovisnost smičnog naprezanja o gradijentu brzine ne mijenja s vremenom.

Izrazi koji povezuju ove pojmove su:
$$\tau = \frac{F}{A} = -\mu \frac{dv}{dy}$$

μ - dinamička viskoznost

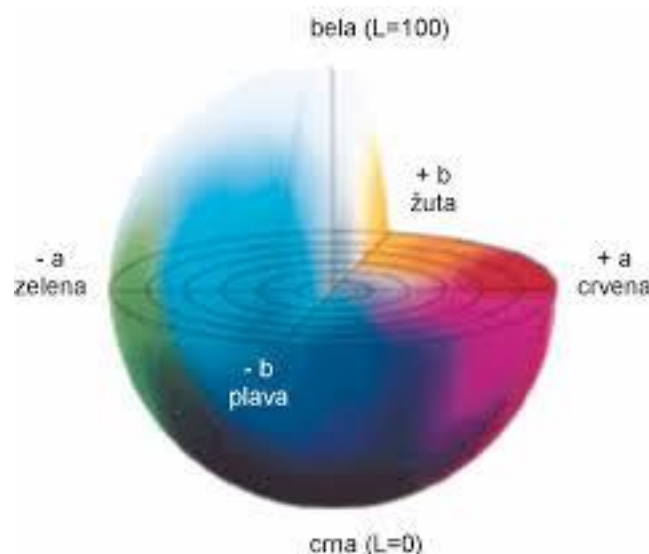
$\frac{dv}{dy}$ – lokalni gradijent brzine

gdje je: τ – smično naprezanje koje djeluje u smjeru osi x na površinu sloja fluida koji je smješten na udaljenosti y od donje ploče i djeluje kao sila na površinu sloja fluida ($\frac{F}{A}$).

Viskozitet se mjeri viskozimetrom, a za prehrambenu tehnologiju je bitno znati njegovu vrijednost kod cijevnog transporta, miješanja, punjenja itd.

2.2.2. Određivanje boje (kolorimetrija)

Boja je osjetilni doživljaj koji nastaje kad svjetlost određene valne duljine probudi receptore u mrežnici oka. U prehrambenoj industriji izuzetno je bitno da potrošaču proizvod bude vizualno prihvatljiv i primaljiv. Iz tog razloga se boja proizvoda mjeri objektivno pomoću kolorimetra koji može određivati čitav vidljiv spektar kako bi boja bila opisana na što sličniji način onome što mi subjektivno zapažamo. CIE sustav izmjerenu boju izražava u $L^*a^*b^*$ vrijednostima, a opisuje se ton, zasićenost i svjetlina. L^* predstavlja svjetlinu : 0 je potpuno crna, a 100 potpuno bijela. Vrijednost H je ton boje, odnosno vizualni doživljaj izazvan različitim dijelovima spektra uz jednaku svjetloću. Računa se pomoću a^* i b^* vrijednosti. a^* se određuje u rasponu od -100 do +100, gdje -100 označuje čistu zelenu boju, a +100 crvenu. S b^* vrijednosti je slična situacija samo što -100 označava čisto plavu boju, a +100 čisto žutu, te su sve ostale vrijednosti između nekakva kombinacija tih dviju boja. Iz te dvije vrijednosti se može izračunati i vrijednost C koja predstavlja intenzitet boje ili zasićenost. Visoka zasićenost karakterizira jarke i čiste boje, dok su manje zasićene boje pastelnije. Iz svih ovih podataka dobije se prostorni položaj boje u CIELab sistemu kao na slici 8. (Levaj, B., 2018).



Slika 8. CIE Lab prostor boja (Izvor: <http://tehnologijahrane.com/wp-content/uploads/2009/05/cielab-obojeni-prostor.jpg>)

2.3 Određivanje raspodjele veličine čestica

S napretkom tehnologije, metode određivanja raspodjele čestica su također značajno napredovale. Neke od njih su sedimentacija, lasersko raspršivanje, akustične metode, dinamičko raspršivanje svjetla i električno očitavanje. Veličinu čestica potrebno je odrediti jer nam one pomažu pri određivanju svojstva tvari i njihove primjene. Lasersko raspršivanje je jedna od najraširenijih metoda današnjice, zbog svoje jednostavne izvedbe i brzine te mogućnosti analize širokog spektra veličine čestica i disperzijskih sustava. Metoda se temelji na pretpostavki da čestice kroz koje prolazi laserska zraka raspršuju svjetlo pod kutem proporcionalnim veličini čestica.

3 Materijali i metode

3.1 Materijali – priprema uzorka

U ovom radu bile su pripremljene dvije vrste funkcionalnih napitaka. Prvi napitak je mješavina mrkve i jabuke, a za drugi je korištena cikla. Za potrebe prvog soka oguljene su i u sokovniku ustinjene mrkve potrebne za 300 ml soka i jabuke za isti volumen soka. Zatim su te količine soka podijeljene u tri čaše volumena 300 ml tako da se u svakoj nalazi 100 ml soka od jabuke i 100 ml soka od mrkve. Sok koji je 50% -tna mješavina jabuke i 50%-tna mješavina mrkve u ostatku rada bit će nazvan kao uzorak A. Cikla se također očistila i ogulila i u tretirala u sokovniku tako da se dobila količina od 500 ml soka. Taj volumen je podijeljen u 5 staklenih čaša volumena 150 ml tako da se u svakoj nalazio volumen od 100 ml i taj sok u daljnjem dijelu rada predstavlja uzorak B.

3.2 Metode rada

3.2.1. Tretman ultrazvukom

Za obradu ultrazvukom korišten je ultrazvučni procesor marke „dr. Hielscher“ oznake UP 400s. maksimalne snage od 400W. Za obradu uzorka A koristila se snaga ultrazvuka od 400W na 80% amplitude, a ciklus je bio podešeni na 1. Prvi uzorak soka jabuke i mrkve tretiran je pod tim uvjetima 10 minuta, a drugi uzorak 5 minuta, dok treći nije bio podložen tretmanu ultrazvukom. Sonda promjera 22 mm uronila se u sredinu uzorka do dubine od 3 cm. Kod uzorka B, odnosno soka od cikle su se mijenjali parametri vremena i amplitude. Uzorak 1 ostao je netretirani, za tretman uzorka 2 koristila se 60% amplituda u trajanju od 6 minuta, za uzorak 3 60% amplituda u trajanju od 10 minuta, za uzorak 4 amplituda je bila podešena na 100%, a vrijeme tretmana 6 minuta, dok je za uzorak 5 tretman trajao 10 minuta, a amplituda je bila 100%.



Slika 9. Ultrazvuk „dr. Hielscher,, UP 400s

3.2.2. Mjerenje viskoznosti

Svim uzorcima sokova nakon tretmana ultrazvukom (osim kontrolnih koji nisu bili tretirani ultrazvukom) i nakon hlađenja na sobnu temperaturu, izmjerena je viskoznost. Uređaj koji se koristio u laboratoriju je digitalni viskozimetar (Fungilab Alpha i nastavak SP L2). Nastavak se uronio u staklenu čašu s uzorkom i kad se vrijednost na zaslonu viskozimetra ustalila, očitala se viskoznost.



Slika 10. Digitalni viskozimetar „ Fungilab Alpha „

3.2.3. Mjerenje gustoće

Za mjerenje gustoće uzoraka korišten je uređaj „Mettler Toledo Density Meter DE40, Švicarska“. Prije mjerenja je potrebno radnu komoru isprati destiliranom vodom te tek nakon što ju uređaj ispumpa se može krenuti s mjerenjem. Za unos uzorka u uređaj potrebna je plastična šprica te je prilikom injektiranja potrebno pripaziti da se u uređaju ne pojave mjehurići zraka. Uređaj zatim postiže zadanu temperaturu i prikazuje vrijednost gustoće s točnošću od $0,0001 \text{ gcm}^{-3}$.



Slika 11. Uređaj za mjerenje gustoće „Mettler Toledo Density Meter DE 40“

3.2.4. Mjerenje pH

Uzorcima soka od cikle bio je nakon tretmana ultrazvukom izmjeren pH pomoću digitalnog pH-metra na način da se sonda uronila u staklenu čašu s uzorkom i nakon ustaljenja vrijednosti očitao pH.



Slika 12. Digitalni pH-metar

3.2.5. Mjerenje apsorbancije i boje

Uređaj koji se koristio za mjerenje apsorbancije i boje je spektrofotometar „Konica-Minolta CM-3500-d, Japan“. Uzorku A, odnosno soku od jabuke i mrkve mjerena je i apsorbancija i boja, a uzorku B, soku od cikle mjerena je samo boja u L*a*b sustavu mjerenja boje u vidljivom području. Prije mjerenja apsorbancije uređaj je kalibriran upotrebom destilirane vode. Apsorbancija se mjeri pri valnim duljinama od 360, 450, 500, 650 i 740 nm te svaki uzorak ima 3 mjerenja. Mjerenje uzorka se provodi u staklenoj kivetici. Kod uzorka B se za mjerenje boje uređaj kalibira korištenjem određene maske, a sama mjerenja provodila su se postavljanjem čaše s uzorkom na površinu otvora. Uzorku B se boja mjerila svakih 15 minuta tijekom 2h praćenja. Rezultati mjerenja su obrađeni pomoću računalnog programa „Spectra Magic™ NX Ver.1.7.“ i „Color Data Software CM-S 100W.“



Slika 13. Spektrofotometar „Konica-Minolta CM-3500-d, Japan“

3.2.6. Određivanje raspodjele veličina čestica

Za određivanje raspodjele veličine čestica korišten je uređaj Mastersizer 2000 sa vanjskom jedinicom Hydro 2000S (Malvern instruments, Worcestershire, UK). Uzorak se uvodi u optički sustav uređaja unutar kojeg se snima spektar raspršene svjetlosti. Na mjernu ćeliju u kojoj se nalaz uzorak usmjerena je laserska zraka i čestice raspršuju svjetlost u obrnuto proporcionalnom kutu u odnosu na njihovu veličinu. Unutar uređaja se nalazi niz detektora na koje pada svjetlost iz različitog kuta i različitim intenzitetom. Tijekom svakog mjerenja bilježi se oko 2000 snimaka koji se softverski obrađuju na računalu .



Slika 14. Uređaj Mastersizer 2000 sa vanjskom jedinicom Hydro 2000S (Malvern instruments, Worcestershire, UK)

4 Rezultati i rasprava

Eksperimentalno dobiveni podaci su prikazani pomoću tablica i grafova. Za označavanje uzoraka u ovom dijelu korištene su skraćenice tako da je :

uzorak A1 – napitak od jabuke i mrkve tretiran ultrazvukom 10 min na 400W i 80% A

uzorak A2 – napitak od jabuke i mrkve tretiran ultrazvukom 5 min na 400W i 80% A

uzorak B1 – netretirani napitak od cikle

uzorak B2 – napitak od cikle tretiran ultrazvukom 6 min na 400W i 60% A

uzorak B3 – napitak od cikle tretiran ultrazvukom 10 min na 400W i 60% A

uzorak B4 – napitak od cikle tretiran ultrazvukom 6 min na 400W i 100% A

uzorak B5 – napitak od cikle tretiran ultrazvuom 10 min na 400W i 100% A.

4.1 Mjerenje viskoznosti, gustoće i pH

Tablica 1. Rezultati mjerenja viskoznosti, gustoće i pH

UZORAK	Viskoznost (mPa*s)	Gustoća (g/cm ³)	pH
A1	9.2	1,0465	-
A2	9.9	1.0450	-
B1	2.3	1.0304	6.67
B2	1.9	1.0310	6.67
B3	3.8	1.0320	6.70
B4	4.1	1.0327	6.69
B5	4.4	1.0339	6.63

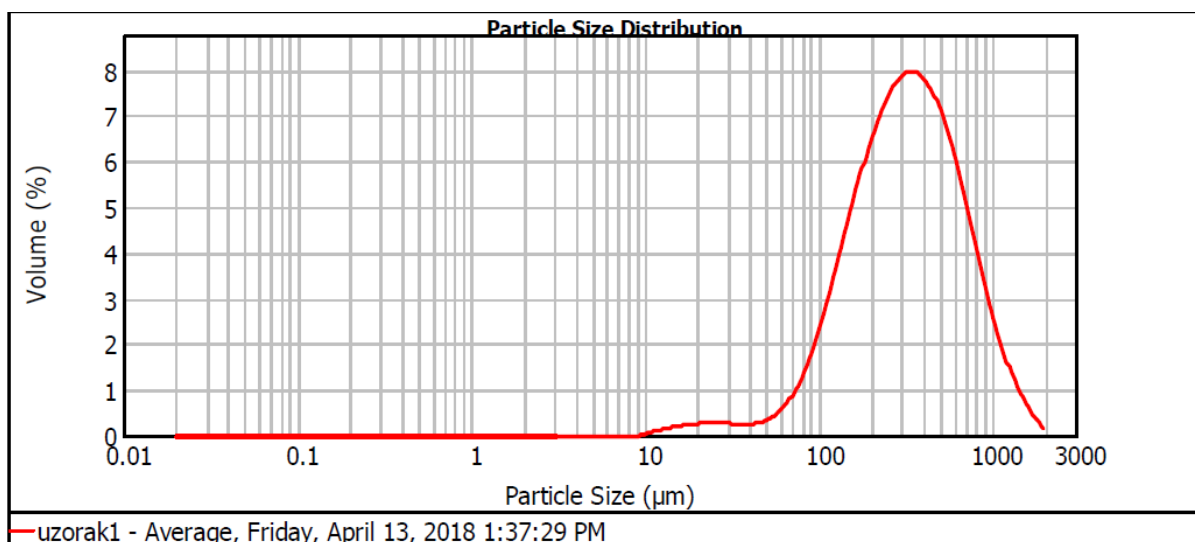
Iz dobivenih rezultata za viskoznost se može zamijetiti da općenito višu viskoznost ima napitak od jabuke i mrkve od soka od cikle. Nakon tretmana ultrazvukom dolazi do porasta viskoznosti u svim uzorcima, osim uzorku B2. Kod mjerenja gustoće je također zamjećen lagani porast vrijednosti gustoće tretiranih uzoraka u odnosu na netretirane. pH vrijednost se u eksperimentu mjerila samo za uzorke soka od cikle i sve vrijednosti su jako slične. Manje promjene u viskoznosti posljedica su djelovanja kavitacije na stanične stijenke tijekom tretiranja ultrazvukom visokog intenziteta. Djelovanjem kavitacije oštećuje se stijenka i istovremeno se mijenja njezina propusnost, te dio staničnog materijala izlazi u van stanični prostor.

4.2 Određivanje raspodjele čestica

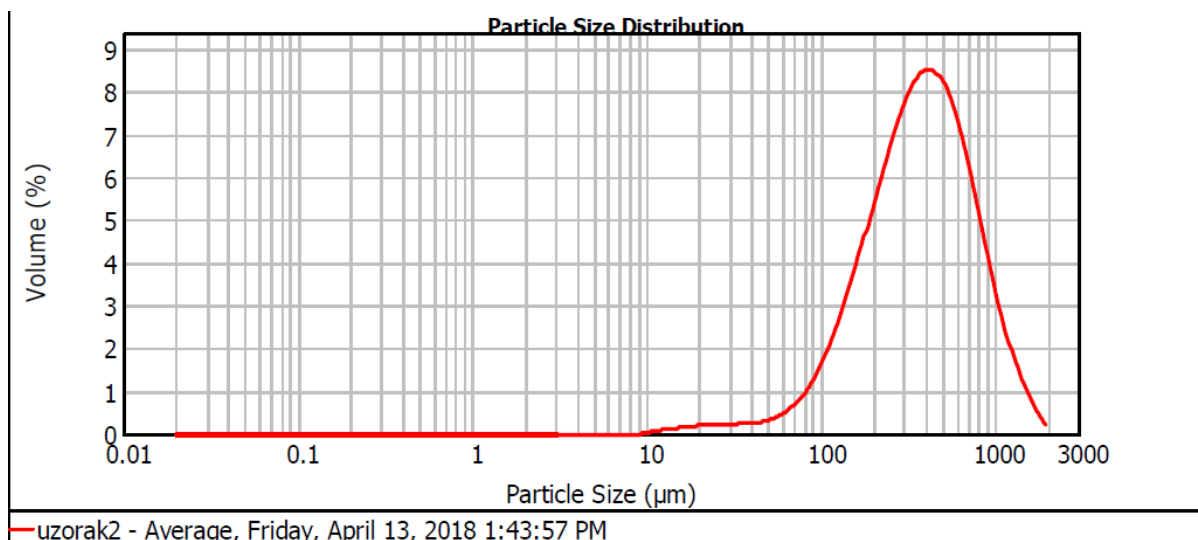
Određivanje raspodjele čestica u eksperimentu se provodilo samo za uzorak A, odnosno napitak od jabuke i mrkve.

Tablica 2. Određivanje raspodjele čestica za uzorak A

uzorak	paralela	d (0,1) μm	d(0.5) μm	d(0.9) μm
A1	1	117.490	320.098	801.841
	2	117.235	321.563	796.808
	3	117.488	320.729	797.932
	prosječna vrijednost	117.404	320.796	798.846
A2	1	135.714	378.877	893.222
	2	135.349	375.832	873.136
	3	135.553	373.256	859.570
	prosječna vrijednost	135.539	375.956	875.290



Slika 15. Prikaz prosječne vrijednosti raspodjele veličine čestica u uzorku A1



Slika 16. Prikaz prosječne vrijednosti raspodjele veličine čestica u uzorku A2

Laserska analiza raspodjele veličine čestica pokazala je da je došlo do povećanja broja manjih čestica kao što je prikazano u tablici 2, te posljedično smanjenja broja većih čestica (iznad 800 µm). Djelovanjem ultrazvuka visokog intenziteta došlo je do razaranja staničnog matriksa kao posljedice toplinskog i mehaničkog djelovanja kavitacije. Značajne promjene u veličini desile su se u čitavom mjerenom području (10 nm – 2 mm), te se prosječna veličina čestica $d(0,5)$ smanjila s 375,956 na 320,796 µm. Manja veličina čestica dovodi do pozitivnih promjena u organoleptičkim svojstvima soka, pogotovo u teksturi. Na slikama 15. i 16. prikazana je raspodjela u čitavom ispitivanom području, te je vidljivo da se je volumen većih čestica statistički značajno smanjio u usporedbi s netretiranim uzorkom. Povećali su se broj, masa i volumen najmanjih čestica što je vidljivo iz podatka o 10 % najmanjih čestica ($d(0,1)$).

4.3 Mjerenje apsorbancije i kolorimetrija

Svakom od uzorka soka jabuke i mrkve mjerena je apsorbancija 3 puta na vrijednostima valne dužine 360, 450, 500, 550, 650 i 740 nm, dakle u rasponu vidljive svjetlosti. Prilikom svakog mjerenja apsorbancije su izmjerene i L^* a^* b^* vrijednosti.

Tablica 3. Mjerenje apsorbancije uzorka A pri valnim duljinama vidljive svjetlosti i mjerenje boje u $L^*a^*b^*$ sustavu

UZORAK	paralela	360 nm	450 nm	500 nm	550 nm	650 nm	740 nm	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
A1	1	3.699	4.000	6.000	6.000	1.752	1.460	1.720	8.670	2.880
	2	3.699	6.000	6.000	6.000	1.750	1.460	1.710	8.660	2.940
	3	3.523	6.000	6.000	6.000	1.752	1.460	1.710	8.650	2.950
A2	1	4.000	4.000	6.000	6.000	1.733	1.444	1.770	8.930	2.970
	2	3.699	6.000	6.000	6.000	1.733	1.444	1.750	8.860	3.010
	3	4.000	6.000	6.000	6.000	1.735	1.444	1.740	8.830	3.000

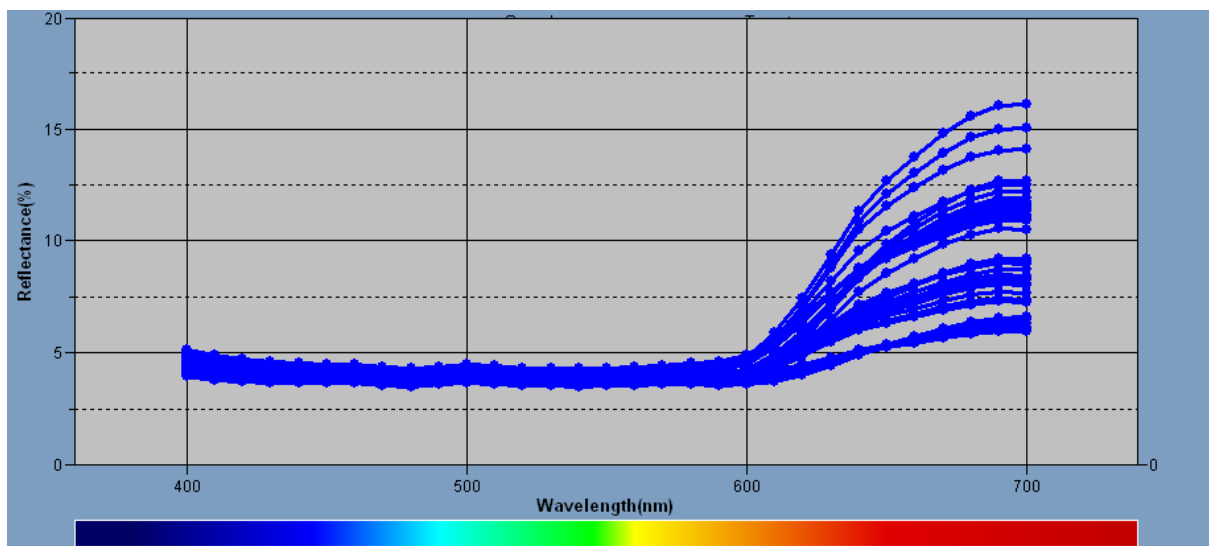
Porastom vremena obrade ultrazvukom apsorbancije ispitivanih uzoraka rastu u svim dijelovima spektra, kao što je vidljivo u tablici 3. Pucanje stanične membrane i posljedično izlazak staničnog materijala u okolinu doveo je do minimalne promjene u boji (a^* i b^* vrijednost boje). Uzorak tretiran tijekom 10 min u usporedbi s netretiranim i tretiranim tijekom 5 min ne pokazuje značajne promjene u svjetlini (L^* vrijednost). Pokazalo se da se uzorak može obrađivati i pri najvećoj snazi ultrazvuka tijekom 10 min bez organoleptički značajnih promjena, te su se upravo ti procesni parametri pokazali optimalnim. Apsorbancija u sredini vidljivog spektra (450 – 600 nm) nije pokazala neka statistički značajna odstupanja neovisno o trajanju i intenzitetu obrade ultrazvukom.

Tablica 4. Vrijednosti dobivene kolorimetrijskom analizom za uzorke B1, B2, B3

Vrijeme (min)	B1			B2			B3		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	22.58	2.04	-0.01	23.3	4.74	0.56	23.59	7.39	1.97
15	22.76	2.3	0.05	23.3	4.64	0.51	23.58	7.25	1.95
30	22.99	2.32	-0.08	23.43	4.56	0.46	23.41	7.13	1.58
45	22.96	2.33	0.04	23.39	4.22	0.54	23.46	7.03	1.58
60	23.43	2.36	-0.29	23.38	4.1	0.65	23.46	6.16	1.4
75	23.2	2.38	-0.13	23.49	4.21	0.6	23.4	5.12	1.22
90	23.21	2.46	-0.24	23.49	4.07	0.4	23.29	4.97	0.9
105	23.41	2.42	-0.3	23.57	3.86	0.38	23.34	4.74	0.77
120	23.48	2.48	-0.29	23.53	3.79	0.39	23.26	4.58	0.72

Tablica 5. Vrijednosti dobivene kolorimetrijskom analizom za uzorke B4 i B5

Vrijeme (min)	B4			B5		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	24.44	6.82	1.43	26.1	9.35	2.32
15	24.4	6.75	1.35	25.8	8.76	2.23
30	24.3	6.73	1.25	25.85	8.33	2.05
45	24.3	6.7	1.2	25.85	7.32	1.8
60	23.92	5.1	0.92	25.31	6.62	1.22
75	24.2	4.91	0.66	25.55	6.58	1.29
90	24.25	4.86	0.55	25.72	6.66	1.27
105	24.46	4.86	0.57	25.89	6.62	1.19
120	24.53	4.82	0.52	25.96	6.47	1.16



Slika 17. Grafički prikaz rezultata analize kolorimetrije za uzorke B

Iz slike 18. vidljive su značajne promjene svjetline ispitivanih uzoraka, pogotovo u dijelu spektra između 600 i 700 nm (narančasti crveni vidljivi dio spektra). Nije došlo do velikih promjena u boji, već samo u svjetlini uzoraka, tj. došlo je do potamnjenja uzrokovanog enzimskim reakcijama i djelovanjem ultrazvuka visokog intenziteta. Prema dobivenim rezultatima, povećanjem amplitude ultrazvuka sa 60 na 100 % tijekom istog vremena tretiranja dovodi do posmeđivanja ispitivanih uzoraka. Vrijeme obrade je također značajno utjecalo na boju, tako se povećanjem vremena tretiranja sa 6 na 10 min boja malo, ali statistički značajno promijenila, kao što je vidljivo u tablicama 4. i 5. Ispitivanje promjena u boji tijekom vremenskog razdoblja od 120 min pokazalo je da se L* vrijednosti najviše mijenjaju (opadaju s protekom vremena), što je očekivano s obzirom na interne enzimske i druge reakcije. Ipak, uzorci obrađeni ultrazvukom pokazali su statistički značajno manje opadanje u reflektanciji, tj. bolje zadržavanje boje tijekom cijelog vremena ispitivanja (120 min). Vidljivo je da je obrada ultrazvukom povoljno djelovala na smanjenje enzimskih i drugih reakcija, te smanjenje utjecaja vanjskih faktora (svjetlost, toplina i dr.) na promjenu boje.

5 Zaključak

Zvučni valovi, pa tako i ultrazvučni, su mehaničke vibracije koje se mogu rasprostirati kroz čvrsti, tekući ili plinoviti medij koji posjeduje elastična svojstva. Frekvencija ultrazvuka je u rasponu od 20kHz i 2MHz. S obzirom na širok raspon frekvencija koje su obuhvaćene, ultrazvuk se dijeli na ultrazvuk visokog i niskog intenziteta. Širenjem kroz medij uzrokuju naizmjenične cikluse kompresije i ekspanzije te se tako prenosi energija. Fenomen kavitacije koji se javlja kod ultrazvuka je uzrok fizikalno-kemijskih djelovanja na tekući medij. Kavitacija je zapravo stvaranje i implोजija jednog ili više džepova plina u mediju koji se tretira, kao posljedica djelovanja sila u tekućini te to uključuje stvaranje novih mjehurića i rast postojećih. Rezultat implोजije mjehurića je nastajanje udarnih (šok) valova, gdje dolazi do oslobađanja visokih tlakova i temperatura, ali samo na lokalnoj razini pa se, ukupno gledajući, medij ne zagrijava previše. Nastajanje ultrazvučnih valova se najčešće postiže pretvaranjem električnih titraja u mehaničke pomoću piezoelektričnih kristala.

Ultrazvuk zbog svojeg djelovanja pri niskoj temperaturi i time malim degradativnim promjenama ima široku primjenu u prehrambenoj industriji pa se tako može koristiti kod homogenizacije, ekstrakcije, kristalizacije, sušenja, inaktivacije mikroorganizama, filtracije, sterilizacije i emulgiranja.

U eksperimentom dijelu ovog rada došlo je do manjih promjene u viskoznosti što je posljedica djelovanja kavitacije na stanične stijenke tijekom tretiranja ultrazvukom visokog intenziteta. Laserska analiza raspodjele veličine čestica pokazala je da je došlo do povećanja broja, mase i volumena najmanjih čestica. Povećanje broja malih čestica je kod soka poželjno jer se time poboljšavaju organoleptička svojstva. Mjerenjem apsorbancije se pokazalo da se uzorak može obrađivati i pri najvećoj snazi ultrazvuka tijekom 10 min bez organoleptički značajnih promjena. Ispitivanje promjena u boji tijekom vremenskog razdoblja od 120 min pokazalo je da L^* vrijednosti, odnosno svjetlina najviše opada s protekom vremena. Takav rezultat je bio očekivan s obzirom na interne enzimske i druge reakcije. Općenito su uzorci obrađeni ultrazvukom pokazali statistički značajno manje opadanje u reflektanciji, tj. bolje zadržavanje boje tijekom cijelog vremena ispitivanja.

6 Literatura

- 1) Bosiljkov, T. (2011) Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na stupanj homogenizacije i fizikalna svojstva sojinog, kravljeg, ovčjeg i kozjeg mlijeka, Doktorski rad, Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- 2) Brnčić, M., Tripalo, B., Penava, A., Karlović, D., Ježek, D., Vikić Topić, D., Karlović, S., Bosiljkov, T. (2009) Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane. hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju biotehnologiju i nutricionizam 4: 32-37.
- 3) Čugura I. (2010) : Mjerenja parametara kumulativnog mlaza linijskog linearnog, <https://www.scribd.com/doc/307414512/%C4%8Cuğura-MJERENJA-PARAMETARAKUMULATIVNOG-MLAZA-LINIJSKOG-LINEARNOG-REZA%C4%8CA-doc> [10.9.2018.]
- 4) De Castro, L.M.D., Capote, P.F. (2007) Analytical applications of ultrasound. Elsevier Science, Langford Lane, Oxford, Great Britain
- 5) Dickinson E., McClements D.J. (1995) Advances in food colloids, Springer Science & Business Media, Berlin, Njemačka.
- 6) Dolatowski, Z.J., Stadnik, J., Stasiak, D. (2007) Application of ultrasound in foodtechnology. Acta Scientarium Polonorum Technologia Alimentaria 6: 89 – 99.
- 7) Fairbanks, H.V. (2001): Drying powdered coal with the aid of ultrasound, Powder technol. 40 (1-3), 257-264.
- 8) Gaonkar, A.G., (1995) Characterization of Food : Emerging Methods, Elsevier Science B. V., Amsterdam, The Netherlands
- 9) Gogate P.R., (2007) Application of cavitation reactors for water disinfection: current status and path forward. J Environ Manage 85: 801 – 815.
- 10) Karlović, S. (2013) : Određivanje teksturnih svojstava i matematičko modeliranje sušenja voća prethodno obrađenoga ultrazvukom visokoga intenziteta, Doktorski rad, Prehrambeno – biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- 11) Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D. U.,(2004) Applications and potential of ultrasonics in food processing. Trends in Food Science & Technology 15: 261–266.
- 12) Leighton, T.G. (1998) An introduction to acoustic cavitation. In F.A. Duck, A.C. Baker, & H.C. Starritt (Eds.), Ultrasound in medicine, medical science series. Bristol, UK: Institute of Physics Publishing, 11. pogl.

- 13) Levaj, B., (2018) Minimalno procesiranje voća i povrća. Nastavni materijal, Zagreb: Prehrambeno – biotehnološki fakultet
- 14) Mason, T.J. (1998): Power ultrasound in food processing - the way forward. In: Povey, M.J.W. and Mason, T.J. (Eds.), *Ultrasound in Food Processing*. Blackie Academic & Professional, London
- 15) Mason, T.J., Lorimer, J.P. (2002) *Applied Sonochemistry: The Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- 16) Newman, C.M., Bettinger, T., (2007) Gene therapy progress and prospects: ultrasound for gene transfer. *Gene Ther* 14: 465-475.
- 17) Patist, A. , Bates, D. (2007) *Industrial Applications of High Power Ultrasonic*, H. Feng, G. Barbosa-Canovas, J. Weiss (Eds.), *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing.*, Springer, New York (2011),. 599-616
- 18) Peshkovsky, S.L. and Peshkovsky, A.S., (2007) "Matching a transducer to water at cavitation: Acoustic horn design principles", *Ultrason. Sonochem.*,14: 314–322.
- 19) Piyasena P., Dussault, C., Koutchma, T., Ramaswamy, H.S., and Awuah, G.B. (2003) Radio frequency heating of food : principles, applications and related properties – review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43, 587-606.
- 20) Rahman (Ed.), (2007) *Handbook of food preservation*, Boca Raton, FL, USA, 2: 713 – 740.
- 21) Shah, Y.T., Pandit, A.B., Moholkar, V.S. (1999) *Cavitation reaction engineering*, Kluwer Academic Plenum Publisher, New York
- 22) Suslick, K.S., Didenko, Y., Fang, M.M., Hyeon, T., Kolebeck, J., McNamara, W.B., Mdeleleni, M., Wong, M. (1999) Acoustic cavitation and its chemical consequences. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 357: 335-353.
- 23) Torley, P., Bhandari, B. R. (2007) *Ultrasound in food processing and preservation*. In M. S..

Izjava o izvornosti

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

Ana Stanković

ime i prezime studenta