

# Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na fizikalna svojstva soka od jabuke

---

**Knechtl, Sven**

**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:159:054196>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-27**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sven Knechtl**

6953/PT

**UTJECAJ ULTRAZVUKA VISOKOG INTENZITETA NA  
FIZIKALNA SVOJSTVA SOKA OD JABUKE**

Predmet: Fenomeni prijelaza

Mentor: Doc.dr.sc. Tomislav Bosiljkov

**Zagreb, 2018.**

# 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 ULTRAZVUKA VISOKOG INTENZITETA NA FIZIKALNA SVOJSTVA SOKA OD JABUKE**

**Sven Knechtl, 0058205219**

## **Sažetak:**

Cilj rada bio je ispitati pozitivan utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na promjenu fizikalnih svojstava soka od jabuke. Promatrana je promjena sljedećih fizikalnih svojstava soka od jabuke: apsorbanacija, indeks stabilnosti soka od jabuke (ISS), gustoća, prividna viskoznost, raspodjela veličine čestica i temperatura. Pratio se utjecaj ultrazvuka konstantne frekvencije od 30 kHz i nominalne snage od 100 W pri amplitudama od 20, 60 i 100 %, vremenu obrade od 2, 6 i 10 minuta sa sondama promjera 7 i 10 mm. Rezultati dobiveni u ovom istraživanju obrađeni su pomoću programskog paketa „*Statistica 12*“. Ultrazvuk visokog intenziteta pokazuje statistički značajan utjecaj na sva promatrana fizikalna svojstva soka i njegovu stabilnost. Najstabilniji sokovi dobiveni su pri nižim vrijednostima amplitude (20 %) i vremena obrade (2 i 6 minuta) s vrijednostima ISS od 100 – 600 sati koje prati interval učestalosti raspodjele čestica od 0,05 – 3  $\mu\text{m}$ .

**Ključne riječi:** ultrazvuk visokog intenziteta, sok od jabuke, fizikalna svojstva, raspodjela veličine čestica

**Rad sadrži:** 30 stranica, 21 slika, 1 tablica, 34 literaturna 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. Tomislav Bosiljkov

**Pomoć pri izradi:** Marko Škegro, mag.ing. upravljanja sigurnošću hrane

**Datum obrane: 19. rujna 2018.**

## 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: Biotechnological sciences**

**Scientific field: Food Technology**

### **INFLUENCE OF HIGH-INTENSITY ULTRASOUND ON PHYSICAL PROPERTIES OF APPLE JUICE**

**Sven Knechtl, 0058205219**

#### **Abstract:**

The main goal of this research was to examine the positive effect of high-intensity ultrasound on the changes of physical properties of the apple juice. The changes of the following physical properties was observed: absorbance, juice stability index (ISS) density, apparent viscosity, particle size distribution, and temperature. The effect of 30 kHz constant frequency ultrasonic waves with a nominal power of 100 W, amplitudes of 20, 60 and 100 % and with 2 different probe sizes (7 and 10mm) was observed at different time intervals od 2, 6 and 10 minutes. The results acquired by this study were processed by the program „*Statistica 12*”. High-intensity ultrasound show a statistically significant effect on the physical properties of apple juice and its stability. The most stable juice was observed at lower amplitudes (20 %) and at (2 and 6 minutes) with ISS values of 100 – 600 hours. The interval of particle size distribution was at 0,05 – 3  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** apple juice, high – intensity ultrasound, physical properties, particle size distribution

**Thesis contains:** 30 pages, 21 figures, 1 table, 34 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:** PhD Tomislav Bosiljkov, Assistant professor

**Technical support and assistance:** Marko Škegro, mag.ing.techn.aliment.

**Defence date:** September 19<sup>th</sup>, 2018

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. Jabuka .....	2
2.2. Voćni sok.....	3
2.3. Ultrazvuk.....	3
2.3.1. Ultrazvučni valovi.....	5
2.3.2. Fizikalne veličine .....	6
2.3.3. Djelovanje ultrazvuka na tekućinu .....	7
2.3.4. Zvučna kavitacija .....	7
2.3.5. Stabilna i prijelazna kavitacija.....	8
2.3.6. Nastajanje ultrazvuka.....	9
2.4. Primjena ultrazvuka u prehrambenoj tehnologiji.....	11
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	12
3.1. Materijali .....	12
3.2. Metode rada .....	12
3.2.1. Priprema soka od jabuke.....	12
3.2.2. Obrada soka od jabuke ultrazvukom .....	13
3.2.3. Mjerenje temperature .....	13
3.2.4. Mjerenje apsorbancije.....	14
3.2.5. Određivanje indeksa stabilnosti soka od jabuke (ISS).....	14
3.2.6. Mjerenje gustoće .....	16
3.2.7. Mjerenje viskoznosti .....	16

3.2.8.	Određivanje raspodjele veličine čestica.....	17
3.2.9.	Statistička obrada .....	18
4.	REZULTATI I RASPRAVA .....	19
5.	ZAKLJUČCI.....	27
6.	LITERATURA.....	28

## 1. UVOD

Zdravstveno stanje pojedinca ovisi o načinu života, no posljednjih desetljeća došlo je do velikih društvenih promjena, promjena u kojima se stvorio novi stil života koji uključuje manje fizičke aktivnosti i pristupačnost kaloričnoj hrani. Posljedica svega toga je porast kroničnih bolesti poput debljine, dijabetesa i kardiovaskularnih bolesti. Stoga sve više ljudi obraća pozornost na odabir hrane i način prehrane.

U svijetu je danas sve veća potraga za prehrambenim proizvodima koji su minimalno obrađeni, proizvodima koji su vrhunske kvalitete. Ti proizvodi trebaju biti nutritivno bogati, a njihova aroma, tekstura i okus se ne smiju bitno razlikovati od izvorne namirnice. Zbog toga u prehrambenoj tehnologiji dolazi do osmišljavanja novih netoplinskih tehnologija kojima se smanjuje broj ili dolazi do inaktivacije mikroorganizama, ali bez gubitka arome, teksture i okusa izvorne sirovine.

Ultrazvuk visokog intenziteta je sve popularniji način netoplinske obrade prehrambenih proizvoda. Njime se skraćuje vrijeme obrade, a time se i znatno štedi energija potrebna za tretiranje i dobiva se proizvod veće nutritivne vrijednosti. Ultrazvuk se koristi u svim granama prehrambene tehnologije, u postupcima koju uključuju čišćenje, sušenje, stvaranje emulzija, homogenizaciju, inaktivaciju mikroorganizama, kristalizaciju, ekstrakciju, konzerviranje te mnoge druge.

Cilj ovog završnog rada bio je ispitati pozitivan utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na sok od jabuke. Promatrala su se fizikalna svojstva soka od jabuke: apsorbancija, indeks stabilnosti soka od jabuke, gustoća, prividna viskoznost, raspodjela veličine čestica i temperatura.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Jabuka

Prehrana bogata voćem i povrćem smanjuje šansu od dobitka kroničnih bolesti poput raka ili kardiovaskularnih bolesti. Fenoli, flavonoidi i karotenoidi imaju ključnu ulogu u smanjenju kroničnih bolesti. Jabuke su bogat izvor fitokemikalija, epidemiološka istraživanja su pokazala da jabuke smanjuju mogućnost oboljevanja od karcinoma, kardiovaskularnih bolesti, astme i dijabetesa (Boyer i Liu, 2004.)

U istraživanjima je također istraženo da jabuke imaju jaka antioksidativna svojstva, one inhibiraju rast tumorskih stanica, smanjuju oksidaciju lipida i smanjuju kolesterol. Jabuke sadržavaju puno različitih fitokemikalija, uključujući kvercetin, katehin, klorogeničnu kiselinu, a sve te fitokemikalije su izvrsni antioksidansi. (Boyer i Liu, 2004.)



Slika 1. Cvijet, plod i listovi jabuke (Anonymous, 2018)

Jabuka (*Malus domestica* L.) (Slika 1) koristi se u ljudskoj prehrani već tisućama godina, što dokazuje fosilizirano voće (*M. Sylvestris*, europska divlja jabuka) otkriveno u ljudskim nastambama u Švicarskoj. Smatra se da je uzgoj jabuke započeo u središnjoj Aziji na



području današnjeg Kaspijskog jezera i Crnog mora gdje i dan danas raste predak kultivirane jabuke, *M. Sieversii* (Azijska divlja jabuka). Aleksandar Veliki (356 – 323 p.n.e.) ju je iz srednje Azije donio u Makedoniju i tako se je jabuka proširila Europom (Levaj, 2018).

Danas postoji oko 10 000 sorti jabuka, a one se razlikuju po vremenu dozrijevanju ploda, boji ploda, okusu, veličini ploda, otpornosti prema bolestima i sl. Prema vremenu dozrijevanja jabuke se dijele na ljetne ili rane, jesenske ili srednje te zimske ili kasne sorte jabuka. Berba ranih sorti se odvija 6 - 7 dana prije konzumne vrijednosti, jesenskih sorti 7 - 14 dana prije, a zimske sorte se beru u fiziološkoj zrelosti. Prema boji pokožice ploda razlikujemo žute, crvene i šarene jabuke (Levaj, 2018).

## **2.2. Voćni sok**

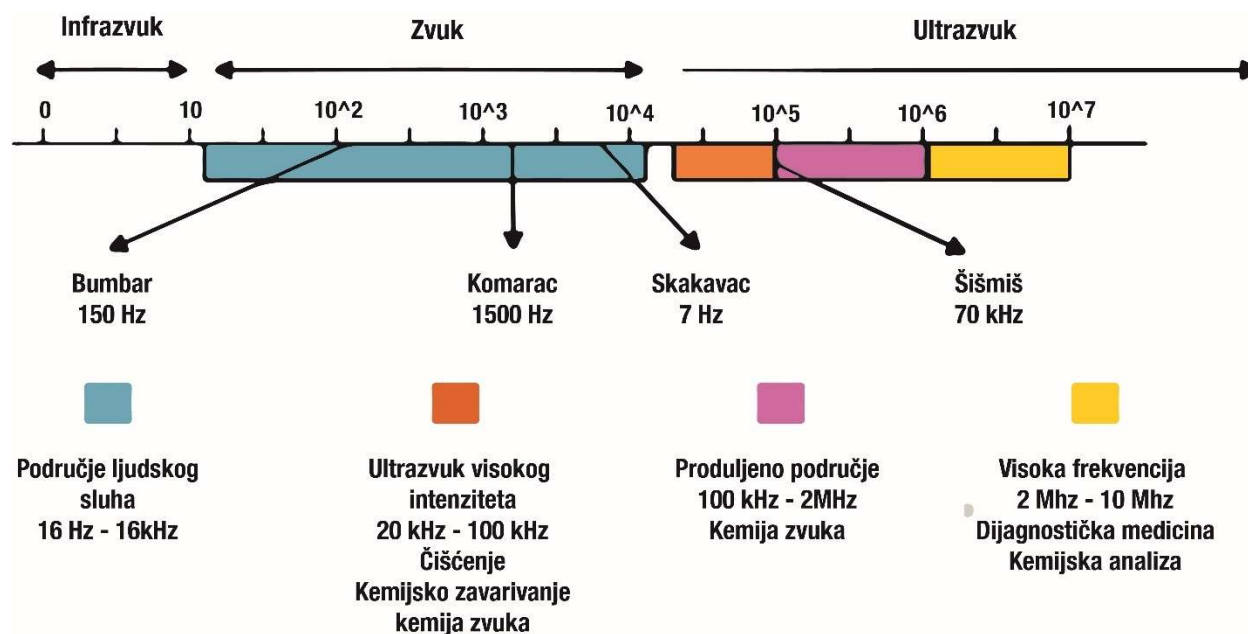
Prema Pravilniku o voćnim sokovima i njima sličnim proizvodima namijenjenim za konzumaciju voćni sok je proizvod koji može fermentirati, ali je nefermentiran, a proizvodi se od jestivog dijela voća koje je zdravo, svježije ili konzervirano hlađenjem ili smrzavanjem jedne ili više vrsta pomiješanih zajedno, a ima boju, aromu i okus karakterističan za sok od voća od kojega potječe. Aroma, pulpa i čestice voćnog tikva koji su dobiveni odgovarajućim fizikalnim postupcima iz iste vrsta voće mogu biti vraćeni u sok (Pravilnik NN 48/13, 2013).

Voćni sokovi su važan segment industrije prerade voća. Oni su vrlo popularni proizvodi kod potrošača, prema veličini i topljivosti čestica voćni sokovi se dijele na bistre, mutne i kašaste. Sok od jabuke najčešće se proizvodi kao bistri sok, ali pošto je danas u svijetu sve veći interes za svježom i blago obrađenom hranom sa sačuvanim nutritivnim i organoleptičkim karakteristikama, raste interes za mutne sokove. (Genovese i Lozano, 2006)

## **2.3. Ultrazvuk**

Mehaničke vibracije nastale u krutini, tekućini ili plinu zovu se zvučni valovi. Zvučni valovi bitno se razlikuju od elektromagnetskih valova koji mogu putovati i kroz vakuum, dok zvučni valovi mogu putovati samo u materiji te uključuju cikluse sažimanja i ekspanzije tijekom prolaska kroz medij (Mason i Lorimer, 2002).

Ultrazvuk je oblik energije koja se prenosi preko zvučnih valova frekvencija viših od 20 kHz, tj. iznad gornje granice ljudskog sluha koji se nalazi između 16 Hz do 20 Hz za mladu osobu dok je s godinama granica sve manja. Gornja granica frekvencije ultrazvuka nije strogo definirana, ali obično se uzima da za plinove iznosi 5 MHz, a za tekućine i krutine 500 MHz. Frekvencija je određena jedinicom Hertz, koja označava broj titraja koje određena čestica napravi u jedinici vremena (1Hz = broj titraja u sekundi) (Mason i Lorimer, 2002).

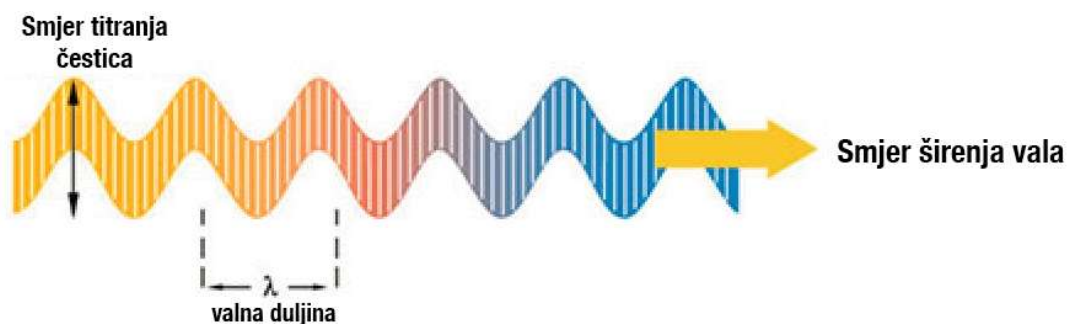


Slika 2. Područje podjele zvuka prema frekvencijama (Mason i Lorimer, 2002.)

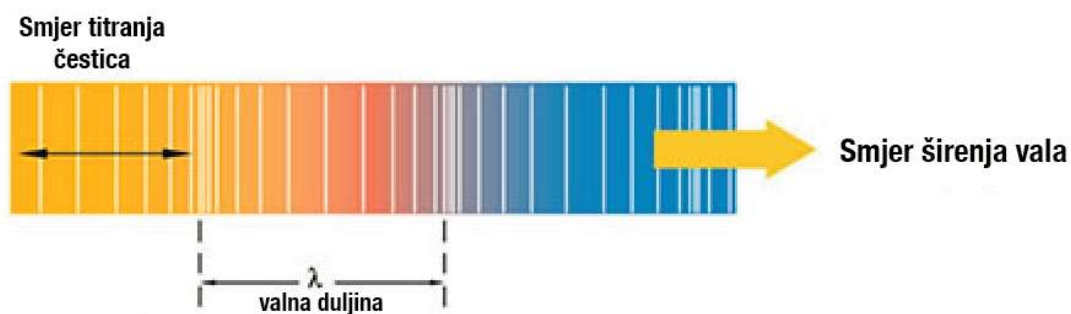
Područje primjene ultrazvuka (Slika 2) dijeli se na dva dijela, na ultrazvuk niskog intenziteta i ultrazvuk visokog intenziteta. Ultrazvuk niskog intenziteta uključuje zvučne valove visokih frekvencija (2 do 10 MHz) i niske amplitude, a ultrazvuk visokog intenziteta valove visokih amplitude i niskih frekvencija (20 do 100 kHz), (Mason i Lorimer, 2002).

### 2.3.1. Ultrazvučni valovi

Širenje zvučnih valova kroz medij, tako i ultrazvučnih, (krutina, tekućina ili plin) uzrokuje izmjenu ciklusa kompresije i ekspanzije pri čemu se prenosi energija. Širenje vala prenosi se vibracijama na molekule koje se nalaze u mediju pri čemu svaka čestica prenosi gibanje na sljedeću česticu prije nego što se vrati u prvobitni položaj. Ultrazvuk se može širiti na dva načina, transverzalno i longitudinalno. Kod transverzalnih valova (Slika 3) čestice titraju okomito na smjer širenja vala, a kod longitudinalnih valova čestice titraju u smjeru širenja vala što je prikazano na slici (Slika 4). Posebnost longitudinalnih valova jest mogućnost širenja u sva tri agregatna stanja. Krutine posjeduju smičnu elastičnost pa se kod njih valovi šire i transverzalno i longitudinalno. (Mason i Lorimer, 2002).



Slika 3. Transverzalni val (Olympus, 2018)



Slika 4. Longitudinalni val (Olympus, 2018)

### 2.3.2. Fizikalne veličine

Osnovne fizikalne veličine kojima se definiraju zvučni valovi su amplituda ( $A$ ), frekvencija ( $f$ ), valna duljina ( $\lambda$ ), koeficijent prigušenja ( $\alpha$ ) i brzina vala ( $v$ ).

Udaljenost između dvije točke najvećeg zgušnjavanja ili razrjeđenja medija kroz koji se širi val označava se valnom duljinom [ $m$ ]. Valna duljina je obrnuto proporcionalna frekvenciji ultrazvuka (de Castro i Capote, 2007). Definira se izrazom (1):

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad [1]$$

Frekvencija [ $Hz$ ] je broj titraja čestice u jedinici vremena te je obrnuto proporcionalna periodu. Period je veličina kojom se definira vrijeme koje je potrebno za odvijanje jednog ciklusa periodične promjene. Definira se izrazom (2):

$$f = \frac{1}{T} \quad [2]$$

Intenzitet vibracije ili snaga koju val stvara označava se amplitudom. Što je veća amplituda vala to su vibracije u materijalu kroz koji se zvučni val širi veće (De Castro i Capote, 2007).

Tijekom udaljavanja vala od izvora ultrazvuka dolazi do smanjenja amplitude zbog toga što se val prilikom prolaska kroz medij raspršuje i apsorbira. Koeficijent prigušenja [ $\alpha$ ] je mjera smanjenja amplitude prilikom prolaska vala kroz materijal (Dickinson, McClements, 1995). Koeficijent prigušenja određenog materijala je definiran izrazom (3):

$$A = A_0 \times e^{-\alpha x} \quad [3]$$

gdje je:  $A$  = amplituda zvučnog vala;  $A_0$  = početna amplituda zvučnog vala;  $\alpha$  = koeficijent prigušenja materijala;  $x$  = prijeđena udaljenost

### **2.3.3. Djelovanje ultrazvuka na tekućinu**

Ultrazvučni valovi, ovisno i primijenjenoj frekvenciji i amplitudi, imaju različite fizikalne, kemijske i biokemijske učinke na medij na koji djeluju (Knorr, 2004). Širenjem kroz različite medije uzrokuju promjene koje dovode do porasta temperature, kavitacije, kompresije i širenja, strukturne promjene, turbulencija, otplinjavanje tekućina, inaktivacije mikroorganizama (Mason i Lorimer, 2002). Ultrazvuk visokog intenziteta, odnosno ultrazvuk velike snage, uzrokuje trajnu fizikalno-kemijsku promjenu (Brnčić i sur., 2009.).

### **2.3.4. Zvučna kavitacija**

Zvučna kavitacija je glavni uzrok fizikalno – kemijskih promjena koje nastaju u mediju tijekom djelovanja ultrazvuka (Margulis, 1995), kavitacija uključuje stvaranje, rast i snažan raspad mjehurića u tekućini zbog fluktuacije tlaka (Suslick, 1998). Djelovanjem ultrazvuka visokog intenziteta na tekući medij stvaraju se longitudinalni valovi te dolazi do naizmjeničnih ciklusa kompresije i ekspanzije molekula. U tekućini su prisutna područja niskog tlaka za vrijeme ekspanzijskog ciklusa, pri čemu se prosječna udaljenost među molekulama povećava, dok se kod kompresijskog ciklusa prosječna udaljenost molekula smanjuje pri području visokog tlaka. Primjenom ultrazvuka dovoljno visokog intenziteta dolazi do nastajanja mjehurića ili praznina uslijed ekspanzijskih ciklusa (Patist i Bates, 2007). Volumen mjehurića raste i prilikom toga apsorbira energiju, dolazi do sniženja tlaka, odnosno porasta negativnog tlaka. Do implozije dolazi zbog toga što nastali negativni tlak prevlada lokalnu vlačnu čvrstoću tekućine (Suslick, 1998; Mason i Lorimer, 2007; Karlović i sur. 2014).

U mjehuriću dolazi do ekstremnih temperatura (do 5000 K) i tlaka (do 1000 atm), no pošto je veličina mjehurića neznatna naspram tekućeg medija kojim su mjehurići okruženi,

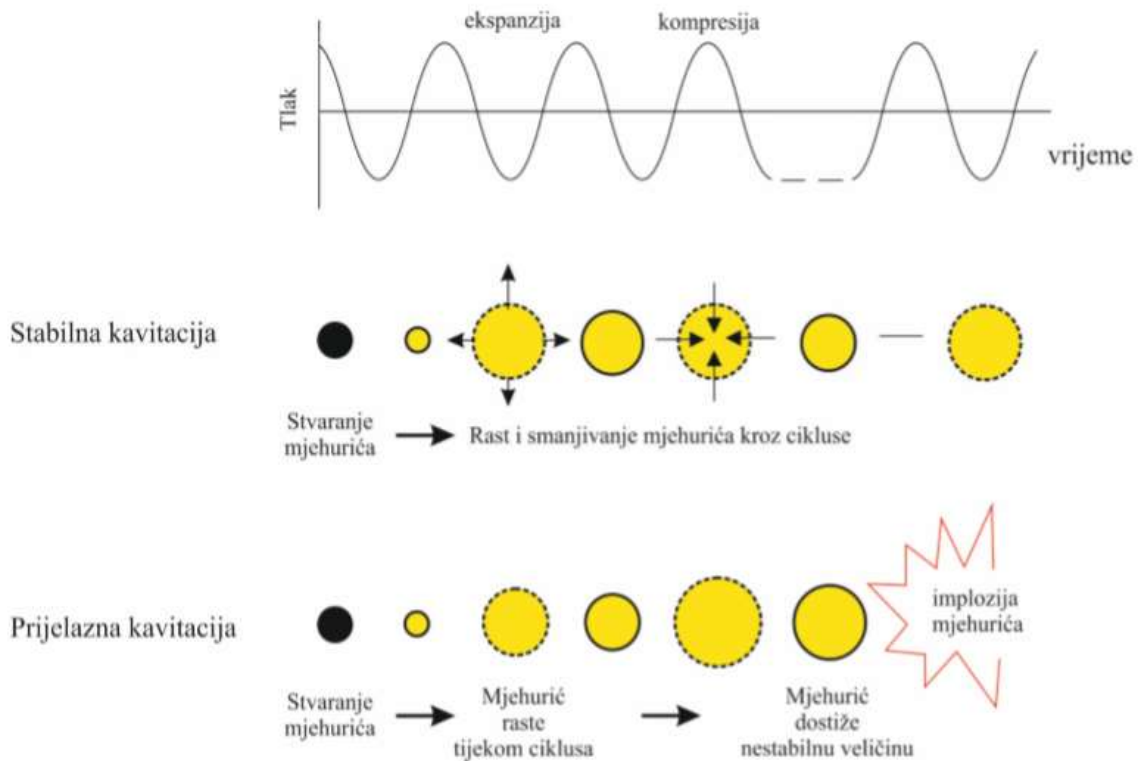
toplina koja se oslobodi prilikom implozije vrlo brzo rasprši se u mediju (Patist i Bates, 2007). Zvučna kavitacija se zbog ovog može nazvati i „hladno ključanje“ (De Castro i Capote, 2007).

Zbog tako jakih implozija i oslobađanja energije dolazi do trajnih fizikalno – kemijskih promjena (Mason i Lorimer, 2007.).

### **2.3.5. Stabilna i prijelazna kavitacija**

Ovisno o tipu mjehurića, ultrazvučna kavitacija može biti stabilna i prijelazna (Slika 5). Pri intenzitetima većim od  $1 \text{ Wcm}^{-2}$  i pri nižim frekvencijama ultrazvuka dolazi do prijelazne ili tzv. inercijske kavitacije pri kojoj su mjehurići ili prazni ili ispunjeni parom. Životni vijek ovih mjehurića je relativno kratak, jedan ili više zvučnih ciklusa pa zbog toga kod njih ne dolazi do bilo kakvog prijenosa mase. Zbog manjka plina koji bi ublažio imploziju, raspad ovih mjehurića je vrlo snažan i intenzivan (de Castro i Capote, 2007; Gogate, 2007; Horst, 2007). Stabilna ili tzv. neinercijsku kavitaciju karakteriziraju stabilni mjehurići koji sadrže plin i paru, a nastaju pri niskim intenzitetima ultrazvuka od 1 do  $3 \text{ Wcm}^{-2}$ . Njihov vijek trajanja je dovoljno dug da dođe do prijenosa mase, odnosno difuzije plina i pare zbog toga što oni osciliraju oko ravnotežne veličine tijekom brojnih zvučnih ciklusa. Tijekom ekspanzijske faze ciklusa dolazi do difundiranja plina iz tekućine u mjehurić, a u kompresijskoj fazi ciklusa plin difundira iz mjehurića u tekućinu, no pošto je površina kojom je mjehurić okružen tekućim medijom prilikom ekspanzijske faze veća od one pri kompresijskoj više plina difundira u mjehurić nego što difundira iz mjehurića pa dolazi do rasta mjehurića (de Castro i Capote, 2007; Leighton, 1998)

Stabilni i prijelazni mjehurići nisu jedine kategorije, rastom mjehurića i promjenom uvjeta u mediju stabilni mjehurić može postati prijelazni i raspasti se. Implozija mjehurića će biti ublažena zbog toga što će mjehurić djelomično biti ispunjen plinom. (Leighton, 1998; Apfel 1981).

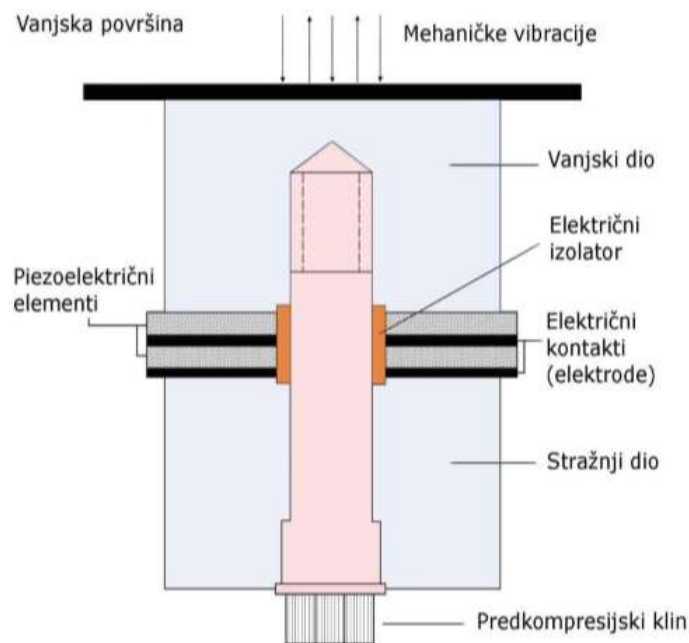


Slika 5. Stabilna i prijelazna kavitacija (Kuijpers i sur., 2002)

### 2.3.6. Nastajanje ultrazvuka

Za nastanak ultrazvučnih valova potrebne su dvije osnovne komponente, tekući medij koji prenosi zvuk, u kojem dolazi do kavitacije, i izvor visokoenergetskih vibracija. Izvor vibracija je prenosnik, uređaj koji pretvara mehaničku ili električnu energiju zvuk visokih frekvencija (Mason i Lorimer, 2002).

Dva su osnovna tipa ultrazvučnih pretvornika, mehanički i elektromehanički. Rad mehaničkih pretvornika se bazira na protoku tekućine ili plina kroz rotor, turbinu ili zviždaljku pri čemu dolazi do nastanka ultrazvuka. Elektromehanički pretvornici djeluju na principu elektrostrikcije koju posjeduju samo određeni materijali. (Torley i Bhandari, 2007).



Slika 6. Piezoelektrični pretvornik (Fuchs, 1999.)

Piezoelektrični pretvornici (Slika 6) najčešće se koriste u ultrazvučnim kupeljima i sustavima sa ultrazvučnim sondama. Oni prevode električnu energiju u mehaničke vibracije, a za svoj rad koriste piezoelektrična svojstva kristala ili feroelektrične keramike. Kod piezoelektričnih pretvornika dolazi do stvaranja električnog naboja na površini, jedna strana poprima pozitivni naboj, a druga strana poprima negativni naboj, što znači da kristal postaje električki polariziran. U promjenjivom električnom polju piezoelektrični materijal se širi i skuplja, a posljedica toga je stvaranje tlačnih valova koji se dalje šire kroz medij. Negativna strana piezoelektričnih pretvornika je ta što se materijal od kojeg je pretvornik napravljen s vremenom troši što rezultira slabijom vibracijskom energijom, no glavna prednost piezoelektričnih pretvarača je ta što mogu djelovati u cijelom ultrazvučnom području (Mason i Povey, 1998).



## 2.4. Primjena ultrazvuka u prehrambenoj tehnologiji

Današnji potrošači traže da hrana bude zdravstveno ispravna, nutritivno bogata i aromom identična polaznoj namirnici/sirovini. Sve više se traži visokokvalitetna hrana koja je po organoleptičkim značajkama identična sirovoj neprerađenoj sirovini/namirnici. Takva hrana poznata je pod nazivom „minimalno obrađena hrana“ (Lelas, 2006).

Istraživanjem razvoja novih postupaka obrade hrane s ciljem dobivanja prehrambenih proizvoda visoke kvalitete došlo se do novih načina obrade hrane koji u potpunosti mogu zamijeniti određene standardne operacije. Neki od novih postupaka koji se mogu koristiti u prehrambenoj industriji su ultrazvuk visokog intenziteta, visoki hidrostatski tlak, pulsirajuća električna polja i dr. (Barbosa – Cannovas i sur., 2005).

Ultrazvuk niskog intenziteta se koristi kao dijagnostička metoda za određivanje svojstava prehrambenih sirovina i proizvoda, dok se ultrazvuk visokog intenziteta koristi kao tehnika kojom se mijenjaju određena fizikalno – kemijska svojstva. Može se koristiti za homogenizaciju, emulgiranje, ekstrakciju, pasterizaciju, kristalizaciju, ubrzavanje reakcija, sterilizaciju itd. (Bosiljkov i sur., 2011).

Pod utjecajem ultrazvučnih valova dolazi do razlike u tlakovima zbog čega dolazi do pucanja staničnih membrana bakterija i inaktivacije ili uništenja mikroorganizama unutar tekućine. Sterilizacija ultrazvukom je jako uspješna kod gram pozitivnih bakterija, dok je gram negativne bakterije, spore i neke viruse teško inaktivirati koristeći samo ultrazvuk. Zbog toga se u prehrambenoj industriji koristi kombinirano djelovanje ultrazvuka i drugih tehnika za sterilizaciju poput tlaka, nepovoljnog pH – a ili temperature (Dolatowski i sur, 2007).

Ultrazvuk je vrlo učinkovit kod ekstrakcije. Tradicionalne metode ekstrakcije zahtijevaju puno vremena i imaju malu iskoristivost. Ultrazvuk omogućava bolji prolazak otapala u stanicu, poboljšava prijenos mase, uzrok je razbijanja stijenki stanica u biljnom materijalu što omogućuje lakše otpuštanje staničnih sastojaka. Ekstrakcijom pomoću ultrazvuka smanjuje se temperatura pri kojoj dolazi do ekstrakcije što nam omogućava ekstrakciju toplinski nestabilnijih spojeva (Bosiljkov i sur., 2015)

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Materijali

Pri izradi završnog rada korišten je svježi sok od jabuka sorte „Zlatni delišes“. Jabuke su bile skladištene u hladnjaku na temperaturi od 4 °C. Od jabuka je bio pripremljen sok koji je obrađen ultrazvukom. Soku su prije i nakon obrade određena fizikalna svojstva.

#### 3.2. Metode rada

##### 3.2.1. Priprema soka od jabuke

Sok je pripremljen od svježih jabuka, kojima je uklonjena sjemena loža i peteljka, pomoću sokovnika „TEFAL Infinity Press Revolution ZC500H38“. Upotrijebljen je filter veličine 0.3 mm. Dobivenom soku se prije obrade ultrazvukom uklonio višak pjene.



Slika 7. Sokovnik Tefal (Tefal, 2018)

### 3.2.2. Obrada soka od jabuke ultrazvukom

Sok od jabuke bio je tretiran ultrazvukom „dr. Hielscher“ (Slika 8) oznake „UP100H“ nominalne snage 100 W i konstantne frekvencije 30 kHz. Mjerenja su provedena pri amplitudama od 20, 60 i 100 %, vremenu obrade od 2, 6, i 10 minuta sa sondama promjera 7 i 10 mm i punom ciklusu. Volumen soka tijekom obrade iznosio je 150 mL, a dubina urona sonde iznosila je 3 cm.



Slika 8. Ultrazvuk „Dr. Hielscher UP100H“ (Hielscher Ultrasonics GmbH, 2018)

### 3.2.3. Mjerenje temperature

Temperatura soka mjerena je svakih 30 sekundi pri svim vremenima obrade. Uređaj koji se koristio za mjerenja je infracrveni mjerač temperature „Raytek“ koji radi u temperaturnom intervalu od [-30 °C] do 200 °C. Uređaj se usmjerava na površinu soka te na digitalnom ekranu očita temperatura.

### 3.2.4. Mjerenje apsorbancije

Apsorbancija je mjerena spektrofotometrom (*Konica Minolta CM3500d*, Japan) prikazanim na slici (Slika 9). Uređaj je prije upotrebe kalibriran destiliranom vodom. Mjerila se apsorbancija pri valnoj duljini od 550 nm ( $A_{550}$ ) u kivetama promjera 1,5 cm.



Slika 9. Kolorimetar KONICA-MINOLTA CM-3500-d, Japan (Konica Minolta, 2018)

Mjerenja su se provela za referenti uzorak te za uzorke netom nakon što su bili obrađeni ultrazvukom i 24 sata nakon obrade. Rezultati su obrađeni pomoću programskog paketa „Spectra Magic™ NX Ver. 1.7.” i „Color Data Software CM – S 100 W”.

### 3.2.5. Određivanje indeksa stabilnosti soka od jabuke (ISS)

Vrijednost indeksa stabilnosti soka od jabuke (ISS) matematičkim metodama dobiva se iz izmjerenih vrijednosti apsorbancije na 550 nm netom poslije tretmana ultrazvukom visokog intenziteta i iz apsorbancija dobivenih nakon 24 h.

Na temelju vrijednosti izmjerene apsorbancije netom nakon obrade ultrazvukom visokog intenziteta izračunava se optička gustoća prema izrazu (4):

$$T_m = \frac{2,303 \times A_{550}}{d_{kiv}} \quad [4]$$

Gdje je:  $T_m$  = optička gustoća soka od jabuke;  $A_{550}$  = apsorbancija kod 550 nm;  $d_{kiv}$  = promjer kivete [m]

Uzorci obrađeni ultrazvukom visokog intenziteta su nakon obrade pohranjeni u hladnjak na temperaturu od 4 °C te im je opet izmjerena apsorbancija pri 550 nm nakon 24 h. Indeks stabilnosti soka od jabuke (ISS) računa se prema formuli (5) (Bosiljkov, 2011):

$$ISS = \frac{\Delta T \times T_m}{d_{kiv}} \quad [5]$$

gdje je:

ISS = indeks stabilnosti soka od jabuke [h]

$T_m$  = optička gustoća soka od jabuke određena neposredno nakon obrade (0 h)

$\Delta t$  = vremenski interval (24 h)

$\Delta T_m$  = promjena optičke gustoće soka od jabuke neposredno nakon obrade ultrazvukom i nakon 24 h

### 3.2.6. Mjerenje gustoće

Za određivanje gustoće korišten je mjerač gustoće „Mettler Toledo DE40“, Švicarska (slika 10) kojem interval mjerenja gustoće iznosi od 0,0000 g/cm<sup>3</sup> do 3,0000 g/cm<sup>3</sup>.



Slika 10. Uređaj za mjerenje gustoće „Mettler Toledo Density Meter DE 40“ (MT, 2018)

Gustoća je mjerena unošenjem 1mL soka u uređaj pomoću plastične šprice. Prije unošenja uzorka u radnu komoru provodi se ispiranje destiliranom vodom. Uređaj vrši automatski temperaturnu korekciju soka na 20 °C nakon čega započinje mjerenje gustoće s točnošću od 0,0001 gcm<sup>-3</sup>.

### 3.2.7. Mjerenje viskoznosti

Za određivanje viskoznosti korišten je viskozimetar „Fungilab“ (Slika 11) s rotacionim elementom oznake L2. Mjerenja su određena za svaki uzorak pri smičnim brzinama od 50, 60 i 100 okretaja u minuti [rpm].



Slika 11. Rotacioni viskozimetar „Fungilab“ (Fungilab, 2018)

Uzorci (cca 80 ml) stavljaju se u čaše volumena 150 mL. Mjerenje se provodi na način da se rotacioni element u potpunosti uroni u uzorak nakon čega se očita vrijednost prividne viskoznosti na digitalnom ekranu.

### **3.2.8. Određivanje raspodjele veličine čestica**

Raspodjela veličine čestica određivana je prije i nakon obrade ultrazvukom. Za određivanje raspodjele veličine čestica korišten je uređaj „Mastersizer 2000“ (Slika 12).

Uzorak se uvodi u uređaj pomoću plastične šprice ili pipete. Uzorak ulazi u optički sustav uređaja unutar kojeg se snima spektar raspršene svjetlosti. Unutar mjerne ćelije čestice raspršuju svjetlost laserske zrake u obrnuto proporcionalnom kutu u odnosu na njihovu veličinu. Fotosjetljivi senzori mjere intenzitet svjetlosti, tijekom svakog mjerenja uređaj bilježi oko 2000 snimaka koje nakon toga uređaj uspoređuje i računa srednju vrijednost. Dobiveni rezultati se obrađuju koristeći se „Fraunhoferovom“ ili „Mie“ teorijom. Osim He – Ne lasera (svjetlost crvene boje), osjetljivost je povećana izvorom plave svjetlosti manje valne duljine što povećava mjerni raspon od 0,02 do 2000  $\mu\text{m}$ .



Slika 12. „Malvern Mastersizer 2000“ s vanjskom jedinicom Hydro 2000S (Malvern Panalytical, 2018)

### 3.2.9. Statistička obrada

Programskim paketom „*Statistica 12*“ obrađeni su rezultati. Statistička značajnost utjecaja procesnih parametara određena je analizom varijance (ANOVA) i izražena preko  $p$  - vrijednosti. Svi parametri koji imaju ANOVA,  $p$  - vrijednost nižu od 0,05 (95 % - tna razina značajnosti) uzeti su u obzir. Utjecaj procesnih parametara izražen je brojčanom vrijednosti  $\beta$  – standardiziranog koeficijenta utjecaja očitanih iz Pareto dijagrama.



#### 4. REZULTATI I RASPRAVA

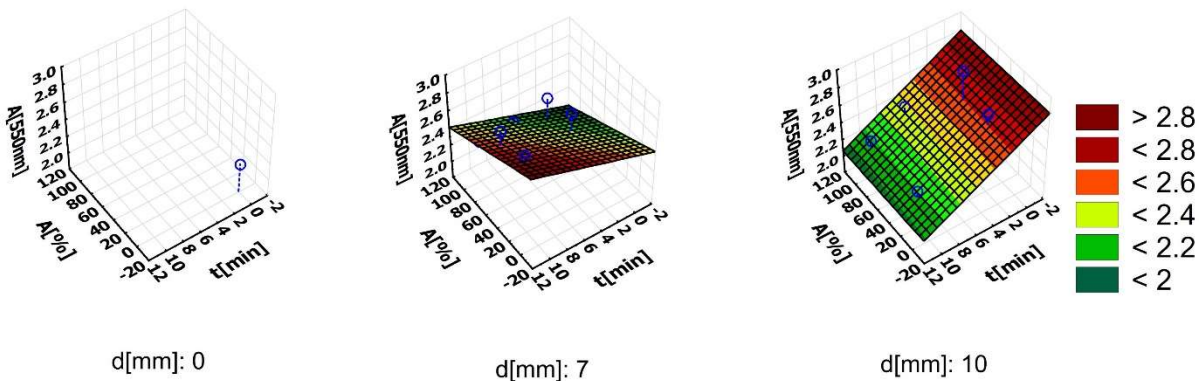
Svrha ovog završnog rada bila je ispitati utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta pri punom ciklusu i različitim vrijednostima amplitude, promjera sonde i vremena obrade. Dobiveni rezultati prikazani su 3D – kategorijskim dijagramima kako bi se nakon statističke analize dao što jasniji uvid u promjenu promatranih fizikalnih svojstava soka od jabuke.

Rezultati obrade ultrazvukom visokog intenziteta su prikazani i kategorizirani preko najznačajnijih statističkih utjecaja: amplitude, vremena obrade i promjera sonde.

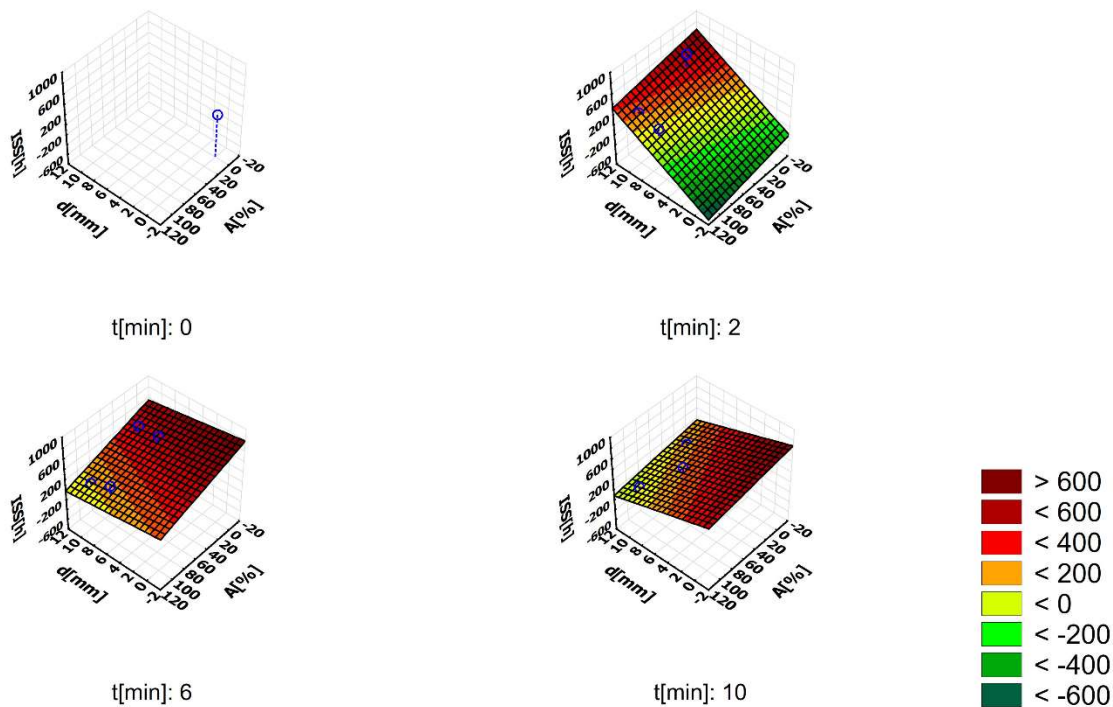
Rezultati ultrazvučne obrade na promjenu apsorbancije [ $A_{550}$ ], gustoće [ $\rho$ ], prividne viskoznosti [ $\mu$ ] i temperature [T] prikazani su na Slikama 13-18. Iz eksperimentalno dobivenih vrijednosti za apsorbanciju i apsorbanciju nakon 24 h [ $A_{24_{550}}$ ] odgovarajućim računskim metodama izračunane su vrijednosti za indeks stabilnosti soka od jabuke [ISS].

Analiza varijance tablično je prikazana preko  $\beta$  – standardiziranog koeficijenta utjecaja za sva određena fizikalna svojstva sa statističkom značajnošću  $p < 0,05$  (Tablica 1). Viša vrijednost koeficijenta pokazuje veći utjecaj procesnih parametara na ispitivanu vrijednost, dok predznak određuje promjenu promatranog fizikalnog svojstva u smislu povećanja ili smanjenja izlazne veličine.

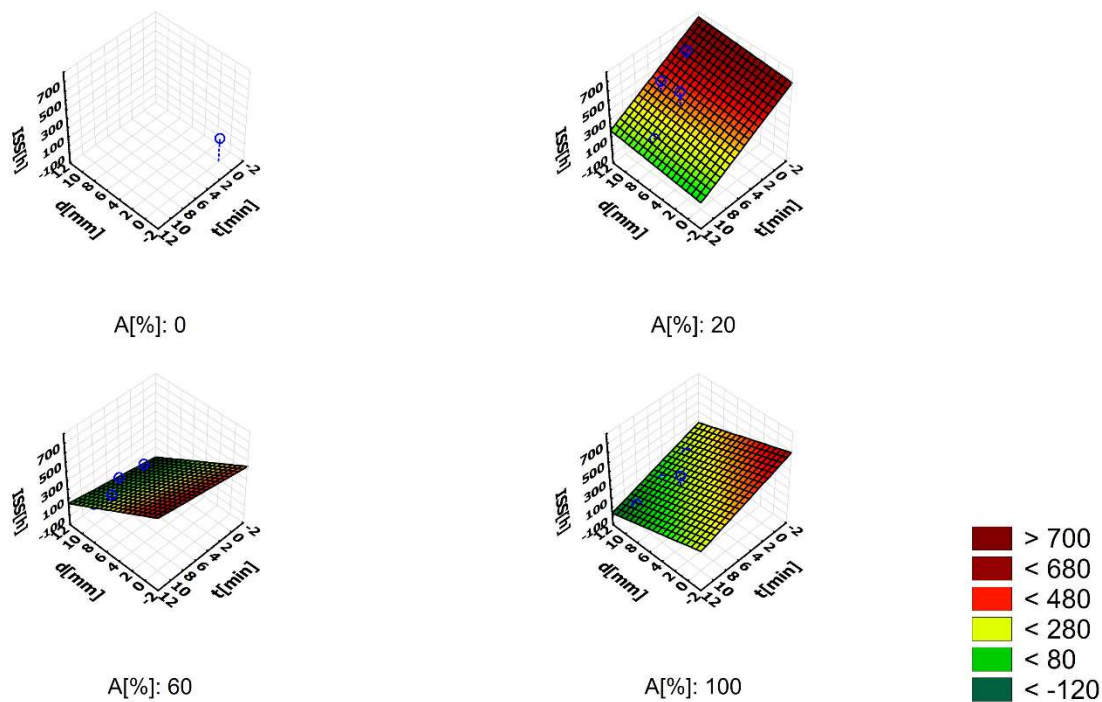
Na Slikama 19-21 je prikazan utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na raspodjelu veličine čestica odnosom relativne učestalosti (frekvencijska krivulja) o promjeru veličine čestica soka od jabuke.



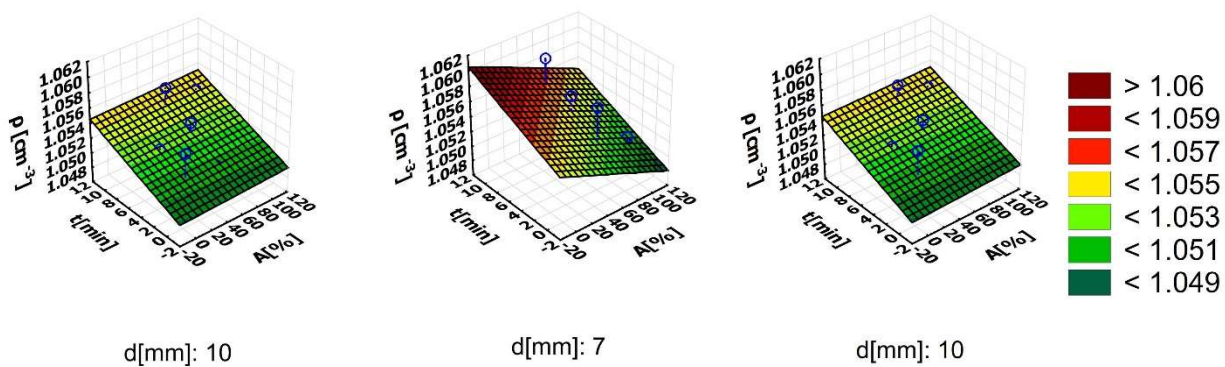
Slika 13. Grafički prikaz utjecaja procesnih parametara na promjenu **apsorbancije (A<sub>550</sub>)** kategorizirano prema promjeru sonde.



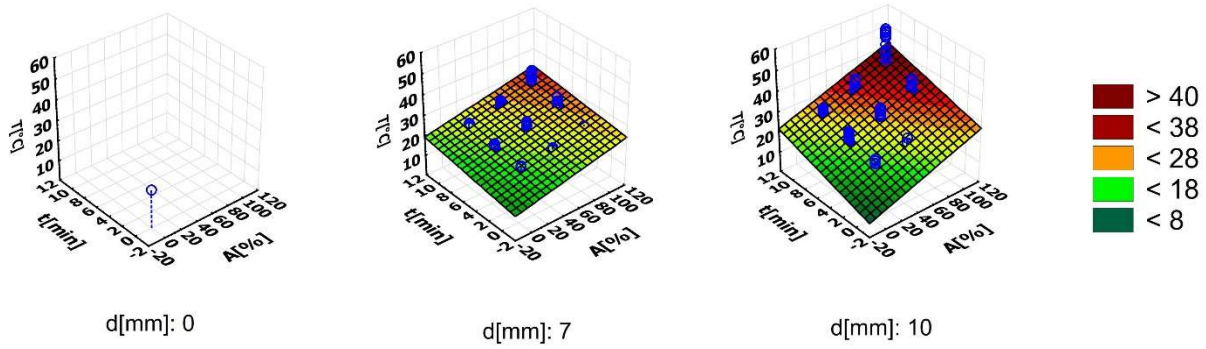
Slika 14. Grafički prikaz utjecaja procesnih parametara na promjenu **indeksa stabilnosti soka od jabuke [h]** kategorizirano prema vremenu obrade.



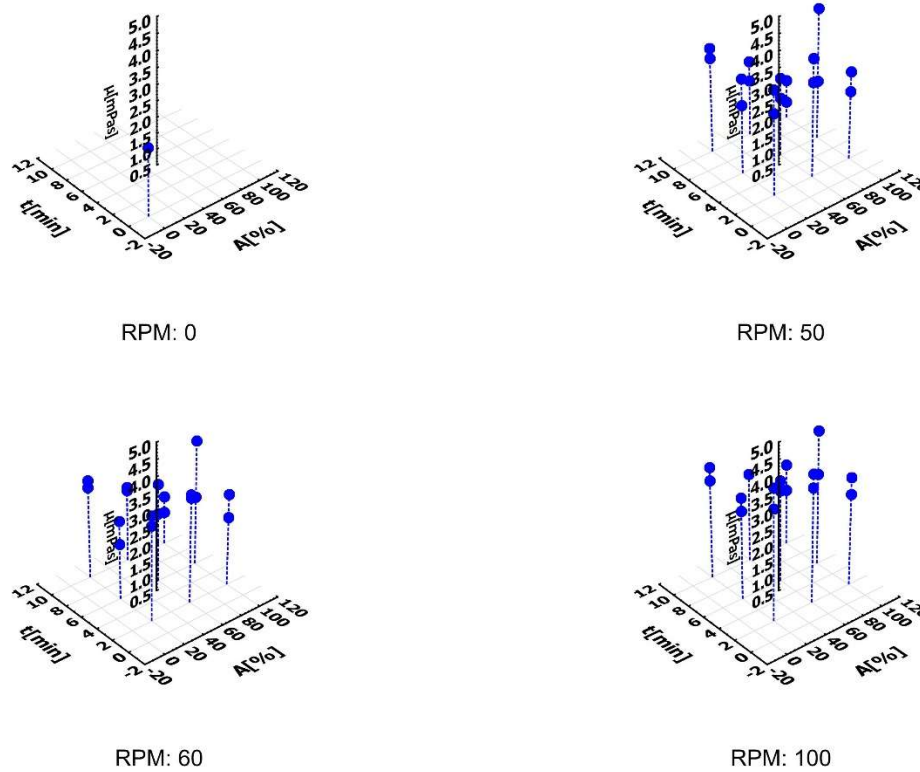
Slika 15. Grafički prikaz utjecaja procesnih parametara na promjenu **indeksa stabilnosti soka od jabuke [h]** kategorizirano prema amplitudi.



Slika 16. Grafički prikaz utjecaja procesnih parametara na promjenu **gustoće [gcm<sup>-3</sup>]** kategorizirano prema promjeru sonde.



Slika 17. Grafički prikaz utjecaja procesnih parametara na promjenu **temperature** [°C] kategorizirano prema promjeru sonde.



Slika 18. Grafički prikaz utjecaja procesnih parametara na promjenu **prividne viskoznosti** [mPas] kategorizirano prema brzini smicanja.

Tablica 1. Prikaz utjecaja amplitude, vremena obrade, promjera sonde, brzine smicanja na promjene temperature, gustoće, prividne viskoznosti, apsorbancije i apsorbancije nakon 24 sata sa statističkom značajnošću ( $p < 0,05$ ), izraženih preko **standardiziranih koeficijenata utjecaja** [ $\beta$ ].

<b>Parametri ultrazvuka/Fizikalno svojstvo</b>	<b>A [%]</b>	<b>t [min]</b>	<b>d<sub>sonde</sub> [mm]</b>	<b>RPM</b>
<b>T [°C]</b>	10,740	5,800	5,888	-
<b><math>\rho</math> [gcm<sup>-3</sup>]</b>	-4,309	8,471	-6,420	-
<b><math>\mu</math> [mPas]</b>	-2,741	-4,196	0,632	3,571
<b>ISS [h]</b>	-9,342	-4,754	-1,912	-
<b>A<sub>550</sub></b>	-2,181	-3,546	-6,194	-
<b>A<sub>24550</sub></b>	6,498	7,396	1,788	-

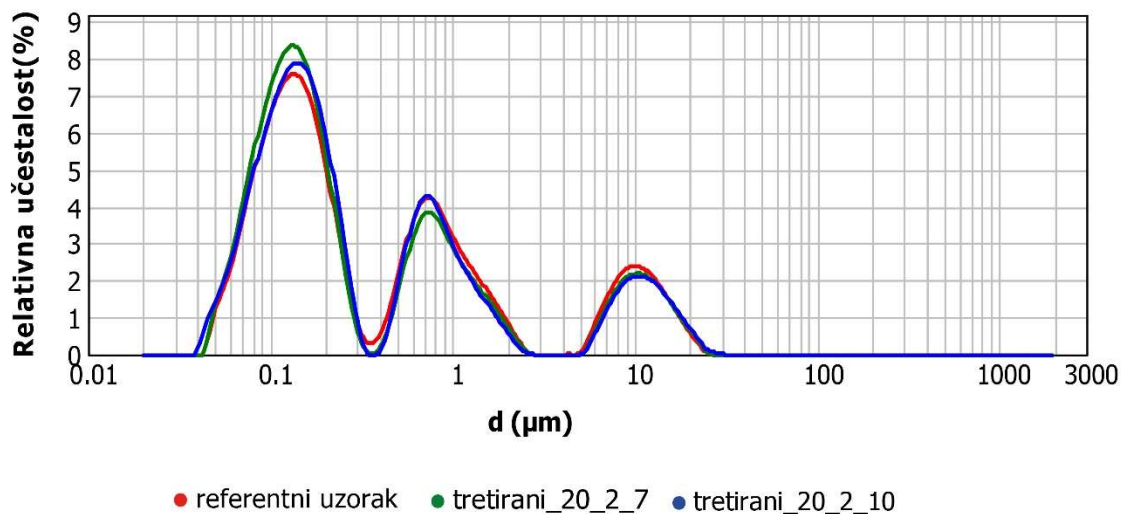
Analizom razine  $\beta$  – koeficijenata utjecaja (Tablica 1) vidljiv je izražen pozitivan utjecaj negativnih  $\beta$  – koeficijenata utjecaja procesnih parametara ultrazvuka na promjenu vrijednosti apsorbancije izmjerene nakon obrade. Najviše vrijednosti apsorbancije koja uvjetuje posljedično i najvišu razinu stabilnosti soka dobivena je pri nižim amplitudama i vremenima obrade sondom promjera 10 mm.  $\beta$  – koeficijenti apsorbancije izmjerene nakon 24 sata prikazuju pozitivan utjecaj procesnih parametara. Najizraženiji utjecaj na povećanje  $\beta$  – koeficijenata nakon 24 sata vidljiv je kod vremena obrade i amplitude, dok povećanje promjera sonde nije pokazalo statistički značajan utjecaj (Slika 13) .

Sličan utjecaj procesnih parametara projiciraju izračunate vrijednosti indeksa stabilnosti soka [ISS] (Slike 14 i 15) koje ukazuju da se najstabilniji odnos disperzne faze u disperznom sredstvu dobije pri najnižim vrijednostima amplitude i vremena obrade. Maksimalni izlazni intenziteti nisu pokazali statistički značajnu promjenu primjenom sonde različitog promjera, ali budući da se izračunata  $\beta$  vrijednost nalazi na samoj granici značajnosti realno je za očekivati kako će sonda promjera većeg od 10 mm pozitivno utjecati na promjenu tj. smanjenje ove veličine. Sokove dobivene pri nižim vrijednostima amplitude (20 %) i vremena obrade (2 i 6 minuta) karakteriziraju vrijednosti ISS od 100 – 600 sati.

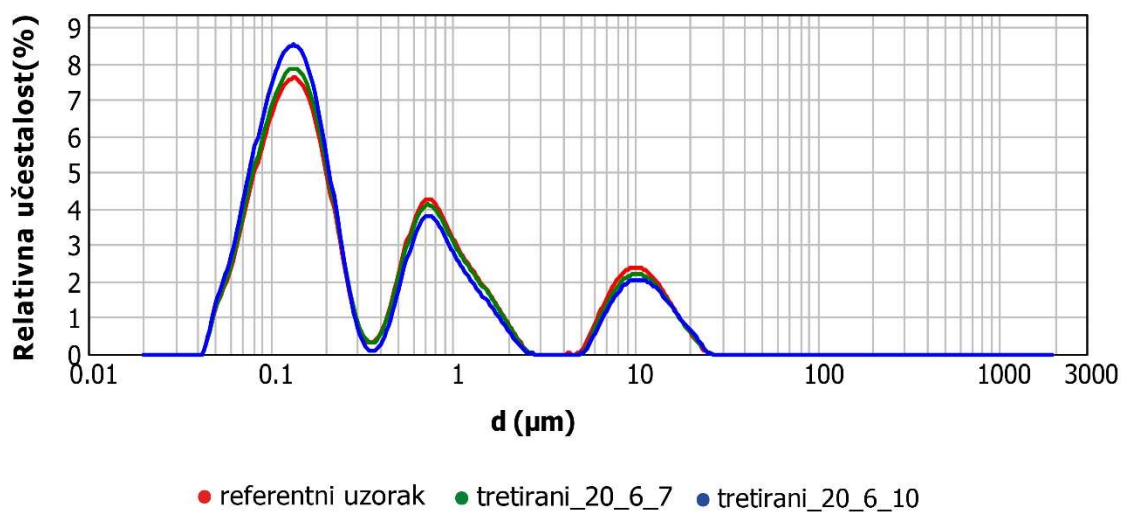
Vrijednost promjene gustoće (Slika 16) prati sinergistički utjecaj smanjenja promatrane veličine povećanjem promjera sonde i amplitude ultrazvučnog vala dok pozitivna vrijednost  $\beta$  – koeficijenta utjecaja vremena ukazuje da produljenim vremenom obrade dolazi do povećanja vrijednosti gustoće.

Viskoznost soka od jabuke (Slika 18) mjerena je pri različitim smičnim brzinama koje su u konačnici pokazale statistički značajan utjecaj. Povećanjem smične brzine dolazi do povećanja vrijednosti prividne viskoznosti soka. Povećanje amplitude i vremena obrade karakterizira sinergistički utjecaj smanjenja promatrane veličine. Suprotno očekivanom, budući da mlijeko i sok od mrkve pokazuju Newtonski karakter, za sok od jabuke možemo sa sigurnošću reći da ga najbolje opisuje ponašanje dilatantnog fluida (NeNewtonski karakter).

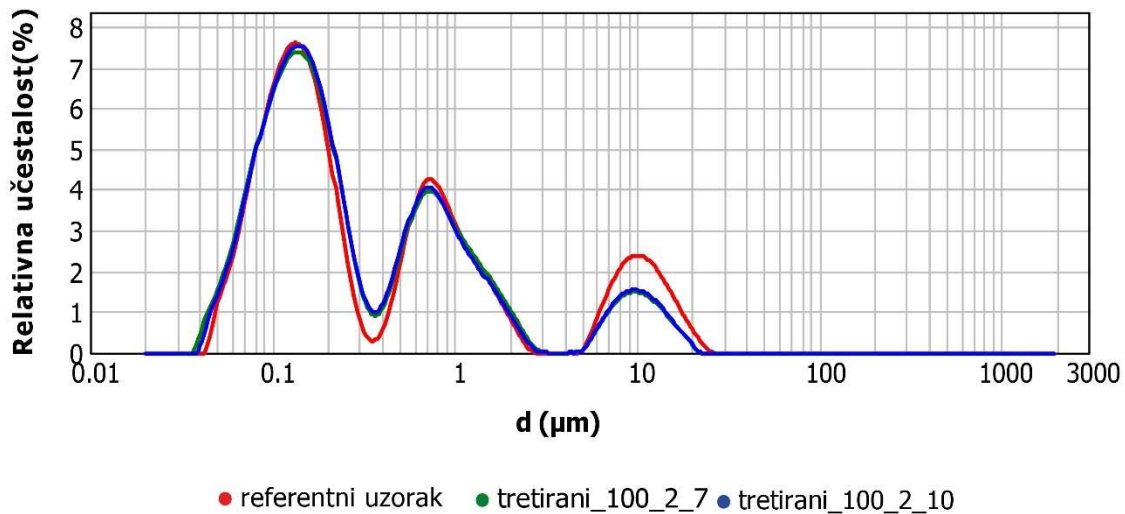
Temperatura kao jedno od najvažnijih fizikalnih svojstava direktno utječe na promjenu fizikalnih svojstava promatrane disperzne faze i disperznog sredstva. Viskoznost ovih faza su temperaturno zavisne jer povišenjem temperature kao posljedice implozije kavitacijskih mjehurića dolazi do smanjenja sile međugranične površine. Očekivano, sonda većeg promjera čiji se utjecaj odražava na veću površinu uzorka producira veće vrijednosti konačnih temperatura. Sonda manjeg promjera (7mm) dovodi do maksimalnih 40 °C dok sonda promjera 10 mm dovodi do maksimalnih 52 °C (Slika 17). Temperatura kao jedna od izlaznih veličina može biti analizirana i analizom kovarijanca (ANCOVA). Kovarijanca je vrijednost koja nam govori o načinu utjecaja dvije promatrane veličine koje djeluju zajedno. Tijekom obrade ultrazvukom promjena temperature u okolnom mediju kao posljedica djelovanja širenja ultrazvučnog vala konstantne frekvencije, amplitude i ciklusa kroz određeni vremenski interval stvara mehaničke vibracije, tj. mehaničko valno gibanje koje uključuje odlike izlazne veličine koja statistički značajno mijenja fizikalna svojstva analiziranih uzoraka u promatranom sustavu.



Slika 19. Raspodjela veličine čestica [ $\mu\text{m}$ ] soka od jabuke obrađenog pri amplitudi od 20 % sa sondama promjera 7 i 10 mm i vremenu obrade od 2 minute u ovisnosti o relativnoj učestalosti [%]



Slika 20. Raspodjela veličine čestica [ $\mu\text{m}$ ] soka od jabuke obrađenog pri amplitudi od 20 % sa sondama promjera 7 i 10 mm i vremenu obrade od 6 minuta u ovisnosti o relativnoj učestalosti [%]



Slika 21. Raspodjela veličine čestica [ $\mu\text{m}$ ] soka od jabuke obrađenog pri amplitudi od 100 % sa sondama promjera 7 i 10 mm i vremenu obrade od 2 minute u ovisnosti o relativnoj učestalosti [%]

Sukladno dobivenim vrijednostima indeksa stabilnosti soka prikazanim na Slikama 14 - 15 vidljivo je da su najstabilniji sokovi dobiveni pri najnižim vrijednostima procesnih parametara. Raspodjela veličine čestica u obrađenom soku pri 20 % amplitude i vremenima od 2 i 6 minuta kod obje sonde pokazuju najvišu relativnu učestalost čestica u intervalu od 0,05 – 3  $\mu\text{m}$  (Slike 19 i 20). Neznatne razlike u povećanju relativne učestalosti u odnosu na učestalost čestica referentnog uzorka mogu se primijetiti u intervalu raspodjele od 0,05 – 0,5  $\mu\text{m}$  i upravo su čestice tog promjera odgovorne za najvišu razinu stabilnosti tj. najviše izračunate vrijednosti indeksa stabilnosti. Na Slici 21 vidljivo je da povišenje amplitude ultrazvučnog vala kao najdominantnijeg procesnog parametra ne doprinosi razlici u prethodno navedenom intervalu stabilnosti.



## 5. ZAKLJUČCI

1. Vrijednosti amplitude i vremena obrade utječu na promjenu svih fizikalnih svojstava soka od jabuke dok se utjecaj različitog promjera sonde odrazio na promjenu temperature, gustoće i apsorbancije.
2. Najviša razina stabilnosti soka dobivena je pri amplitudi 20 % i vremenu obrade 2 i 6 minuta i karakteriziraju ga vrijednosti indeksa stabilnosti u intervalu od 100 – 600 sati.
3. Promatrajući sve obrađene sokove i njihove indekse stabilnosti možemo sa sigurnošću reći da su stabilni.
4. Povećanjem smične brzine dolazi do povišenja vrijednosti prividne viskoznosti što ukazuje na Nenevtonski karakter (dilatantni fluid).
5. Sukladno zaključku točke 2, obje primijenjene sonde pokazuju najveću relativnu učestalost čestica u intervalu od 0,05 – 3  $\mu\text{m}$ . Neznatne razlike u raspodjeli čestica referentnog i obrađenog uzorka vidljive su u intervalu raspodjele 0,05 – 0,5  $\mu\text{m}$  koje su u konačnici i odgovorne za najvišu razinu stabilnosti izražena preko ISS vrijednosti.

## 6. LITERATURA

- Anonymous Wikipedia,  
<[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Malus\\_domestica\\_-\\_K%C3%B6hler%E2%80%93s\\_Medizinal-Pflanzen-108.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Malus_domestica_-_K%C3%B6hler%E2%80%93s_Medizinal-Pflanzen-108.jpg)> Pristupljeno 11.rujna 2018.
- Barbosa-Canovas, G.V., Tapia, M.S., Cano, M.P. (2005): Novel Food Processing Technologies, CRC Press, Boca Raton
- 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
- Bosiljkov, T., Karlović, S., Brnčić, M., Ježek, D., Dujmić, F., Tripalo, B., Extraction of bioactive compounds from tangerine peels // Book of Abstract, Citrus Waste Valorisation Workshop Mersin, 2015. str. 23-23
- Bosiljkov, T., Tripalo B., Brnčić M., Ježek D., Karlović S., Jagušić I. (2011) Influence of high intensity ultrasound with different probe diameter on the degree of homogenization (variance) and physical properties of cow milk. African Journal of Biotechnology 10 (1): 34 – 41.
- Boyer, J., Liu, R.H. (2004), Apple phytochemicals and their health benefits. 1: 1-2.
- 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.
- De Castro, L.M.D., Capote, P.F. (2007) Analytical applications of ultrasound. Elsevier Science, Langford Lane, Oxford, Great Britain.
- Dickinson, E., McClements, D.J., (1995) Advances in food colloids. Springer science & Business media, Berlin, Njemačka.
- Dolatowski, Z.J., Stadnik, J., Stasiak, D. (2007) Application of ultrasound in foodtechnology. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria 6: 89 – 99.
- Fuchs, F.J. (1999) Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application. Blackstone-Ney Ultrasonic Inc, New York.

- Fungilab (2018) Fungilab, Leading viscosity technology <<https://www.fungilab.com/product/rotational-viscometers/master-series/smart/>> Pristupljeno 9. rujna 2018.
- Genovese, D. B., Lozano, J. E. (2006a) Stability of Cloudy Apple Juice Colloidal Particles Modeled with the Extended DLVO Theory. U: Water Properties of Food, Pharmaceutical, and Biological Materials (Pilar Buera, M., Welte-Chanes, J., Lillford, P. J., Corti, H. R., ured.), Taylor & Francis Group, Boca Raton, str. 289-300.
- Gogate P.R., (2007) Application of cavitation reactors for water disinfection: current status and path forward. J Environ Manage 85: 801 – 815.
- Karlović, S., Bosiljkov, T., Brnčić, M., Semenski, D., Dujmić, F., Tripalo, B., Ježek, D. (2014) Reducing Fat Globules Particle – Size in Goat Milk: Ultrasound and HighHydrostatic Pressures Approach, Chemical and Biochemmical Engineering Quarterly, 28: 499 – 507.
- 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.
- Konica Minolta (2018) Konica Minolta Sensing Europe B.V. <<https://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/colour-measurement/discontinued-products/cm-3500d.html>> Pristupljeno 9. rujna 2018.
- Krstelj, V., (2003) Ultrazvučna kontrola. Nastavni materijal, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- Kuijpers, M. W. A., Van Eck, D., Kemmere, M. F., Keurentjes, J. T. F. (2002) Cavitation
- 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.
- Lelas, V. (2006): Nove tehnike procesiranja hrane, Mljekarstvo 56 (4), 311-330.
- Levaj, B., (2018) Minimalno procesiranje voća i povrća. Nastavni materijal, Zagreb: Prehrambeno – biotehnološki fakultet.
- Margulis, M.A. (1995) – Sonochemistry and Cavitation
- Mason, T.J. (1998) Power ultrasound in food processing- The way forward. U: Ultrasound in food processing (Povey, M. J. W., Mason, T. J., ured.), Blackie Academic & Professional, London, 103 - 126.

- Mason, T.J., Lorimer, J.P. (2002) Applied Sonochemistry: The Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim.
- MT (2018) Mettler Toledo, MT. <[https://www.mt.com/gb/en/home/phased\\_out\\_products/PhaseOut\\_Ana/DE40.html](https://www.mt.com/gb/en/home/phased_out_products/PhaseOut_Ana/DE40.html)> Pristupljeno 9. rujna 2018.
- Olympus (2018) Olympus Corporation, <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/flaw-detection/wave-propagation/> > Pristupljeno 11. rujna 2018
- Paderborn University (2018), Paderborn University <<https://dmrc.uni-paderborn.de/content/dmrc/testing-technologies-services/optical/>> Pristupljeno 9. rujna 2018.
- Povey, M.J.W., Mason, T.J. (1998) Ultrasound in Food Processing, Blackie Academic & Professional, London.
- Pravilnik o voćnim sokovima i njima sličnim proizvodima namijenjenim za konzumaciju (2013) Narodne novine broj 46/07., 84/08. i 55/11. (NN , 46/07, 84/08, 55/11)
- Ruiz J., Capote, F., Castro, M.D. (2003) Identification and quantification of trans fatty acids in bakery products by gas chromatography-mass spectrometry after dynamic ultrasound-assisted extraction. Journal of Chromatography, 1045: 203 – 210.
- Suslick, K.S. (1998) Kirk – Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 4. Izd, Wiley, J. & Sons, New York, 26: 517 – 541.
- Tefal (2018), Tefal, < <https://www.tefal.com.hr/PRIPREMA-HRANE-I-PI%C4%86A/Sokovnici-i-cjedila-agruma/Infiny-Press-Revolution/p/1500866743> >
- Torley, P., Bhandari, B. R. (2007). Ultrasound in food processing and preservation. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of food preservation*, Boca Raton, FL, USA, 2: 713 – 740.