Utjecaj djelovanja ultrazvuka pri sušenju jabuka

Badenić, Petra

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:159:636668

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

prehrambeno biotehnološki fakultet

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Petra Badenić

7086

UTJECAJ DJELOVANJA ULTRAZVUKA PRI SUŠENJU JABUKA

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Inženjerstvo III.

Mentor: Prof.dr.sc. *Mladen Brnčić*

Zagreb, 2017.

Ovaj završni rad izrađen je u okviru projekta (kratkotrajna potpora) **Sveučilišta u Zagrebu** pod Nazivom „Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na brzinu difuzije vode voća sušenog pod vakuumom“ i sufinanciran sredstvima Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost u vidu financijskih sredstava pomoći ostvarenih temeljem prijave na javni poziv za neposredno sufinanciranje istraživačkih i razvojnih djelatnosti u području klimatskih promjena (Odluka br. 48947) od 01.prosinca 2015.

Zahvaljujemo se Sveučilištu u Zagrebu te Fondu za Zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost na ukazanom povjerenju i financijskoj pomoći.

Završni rad izrađen je u cijelosti u Laboratoriju za tehničku termodinamiku Zavoda za procesno inženjerstvo, Prehrambeno – biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom Prof.dr.sc. Mladena Brnčića, uz pomoć višeg asistenta dr.sc. Filipa Dujmića i asistenta Marka Marelje, mag.educ.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija
Zavod za procesno inženjerstvo
Laboratorij za tehničku termodinamiku
Znanstveno područje: Biotehnološke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

UTJECAJ DJELOVANJA ULTRAZVUKA PRI SUŠENJU JABUKA

Petra Badenić, 0058206718

Sažetak: Svrha ovog rada je utvrditi kako ultrazvuk visokih intenziteta koji se koristi kao predtretman prilikom klasičnog postupka sušenja utječe na senzorska svojstva (boju i teksturu) uzoraka jabuke. Uzorci se tretiraju u ultrazvučnoj kupelji pri različitim vremenima (10, 30 i 50 min), uz konstantne parametre temperature (20°C), frekvencije (37 kHz) i amplitude (100%). Uzorci se zatim suše u konvekcijskoj sušari pri temperaturama 40, 55 i 70°C u vremenima 60, 120 i 180 min. Uzorci koji nisu bili predtretirani sušeni su pri istim temperaturama 60, 120, 180 i 240 min. Ultrazvuk visokih intenziteta znatno skraćuje vrijeme sušenja, a sušenje se korištenjem ultrazvuka kao predtretmana može odvijati pri nižim temperaturama te se na taj način racionalnije raspolaže energentima. Tretirani uzorci sušeni pri 40 i 55°C manje su tvrdoće nego ne-tretirani uzorci, što pogoduje zahtjevima potrošača, dok temperatura od 70°C uzrokuje preveliku tvrdoću sušenih uzoraka. U svim slučajevima sušenja, pokazalo se kako predtretman ultrazvukom u trajanju od 10 minuta djeluje najpovoljnije na parametar ΔE*, odnosno uzrokuje najmanju razliku u boji.

Ključne riječi: jabuke, sušenje, ultrazvuk
Rad sadrži: 36 stranica, 23 slika, 6 tablica, 24 literaturnih navoda
Jezik izvornika: Hrvatski
Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb
Mentor: Prof.dr.sc. Mladen Brnčić
Pomoć pri izradi: Marko Marelja, mag., dr.sc. Filip Dujmić
Datum obrane: 8. rujna 2017.

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 Thermodynamics
Scientific area: Biotechnological sciences
Scientific field: Food Technology

THE IMPACT OF ULTRASOUND ON APPLE DRYING

Petra Badenić, 0058206718

Abstract: The purpose of this paper is to determine how high intensity ultrasound used as a pre-treatment during a classic drying process affects the sensory properties (color and texture) of apple samples. Samples are treated in the ultrasonic bath at different times (10, 30 and 50 min), with constant temperature parameters (20°C), frequency (37 kHz) and amplitude (100%). The samples were then dried in a convection dryer at 40, 55 and 70°C for 60, 120 and 180 minutes. Samples that were not pre-treated were dried at the same temperatures for 60, 120, 180 and 240 min. High intensity ultrasound significantly shortens the drying time, and drying can be done at lower temperatures, which includes more rational energy using. Pre-treated samples dried at 40 and 55°C are less hard than untreated samples, favoring consumer demands, while the temperature of 70°C causes excessive hardness of the dried samples. In all cases, it has been shown that the 10-minute ultrasound treatment works best on the ΔE* parameter, causing the slightest difference in color.

Keywords: apples, drying, ultrasound
Thesis contains: 36 pages, 23 figures, 6 tables, 24 references
Original in: Croatian
Final work 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 Mladen Brnčić, Full proffesor
Technical support and assistance: Marko Marelja, mag., PhD Filip Dujmić
Defence date: September 8th, 2017

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI DIO 2

2.1. JABUKE 2

2.2. ULTRAZVUK 3

2.3. ULTRAZVUČNI UREĐAJI 6

2.3.1. SUSTAV S DIREKTNO URONJENOM SONDOM 6

2.3.2. ULTRAZVUČNE KUPELJI 7

2.4. SUŠENJE POTPOMOGNUTO ULTRAZVUKOM 8

2.5. BOJA 10

2.6. TEKSTURA 11

3. MATERIJALI I METODE 12

3.1. MATERIJALI-PRIPREMA UZORKA 12

3.2. METODE 12

3.2.1. OBRADA ULTRAZVUKOM 12

3.2.2. SUŠENJE 12

3.2.3. KOLORIMETRIJA 13

3.2.4. ANALIZA TEKSTURE 15

4. REZULTATI I RASPRAVA 16

4.1. MASA 16

4.2. TEKSTURA 20

4.3. KOLORIMETRIJA 24

5. ZAKLJUČCI 27

6. POPIS LITERATURE 28

1. UVOD

U prehrambenoj industriji se danas sve više koriste tzv. netoplinske tehnologije, kao što su visoki hidrostatski tlak, pulsirajuća električna polja, oscilirajuća magnetska polja, pulsirajuće svjetlo, ultrazvuk visokih intenziteta i druge.

Jedna od češćih primjena ultrazvuka visokih intenziteta je kao predtretman prije postupka sušenja, kako bi se sam proces sušenja mogao odvijati pri značajno nižim temperaturama i u znatno kraćem vremenskom intervalu.

Sušenje je jedna od najstarijih metoda konzerviranja hrane. Sušenjem se sprječava kvarenje hrane djelovanjem mikroorganizama i kemijskih promjena, što uvelike produžuje rok trajanja hrane.

Konvencionalne metode sušenja zasnivaju se na sušenju pomoću toplog zraka, ali njihova upotreba može negativno utjecati na kvalitetu konačnog proizvoda, te se radi toga sve više istražuju nove metode sušenja. Dehidratacija potpomognuta ultrazvukom jedna je od novijih tehnologija koja se sve češće primjenjuje, jer se uzorci tretirani ultrazvukom visokih intenziteta mogu sušiti pri nižim temperaturama nego uzorci koji nisu tretirani ultrazvukom. Na taj način smanjuje se degradacija samih uzoraka i osigurava očuvanje visoko vrijednih bioaktivnih spojeva. Ova metoda osobito je pogodna za termički osjetljive uzorke, kojima se uz upotrebu ultrazvuka visokih intenziteta kao predtretmana, znatno mogu skratiti vrijeme i omogućiti primjenu nižih temperatura sušenja. (Dujmić i sur., 2013.)

Cilj ovog rada je odrediti utjecaj ultrazvuka visokih intenziteta na boju, kao glavnu vizualnu senzorsku osobinu, i teksturalna svojstva sušenih uzoraka jabuka u usporedbi sa uzorcima koji nisu predtretirani ultrazvukom visokih intenziteta.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. JABUKE

Jabuka je jedna od voćnih vrsta koje se najviše uzgajaju u svijetu, a konzumiraju se ne samo svježe, već i u prerađenim oblicima, kao što su sok i džem. U tom smislu, brojna hrana, kao što su grickalice, pripravci za doručak s cjelovitim žitaricama, funkcionalna hrana i instant hrana za djecu, sadrži osušene jabuke. Jabuka je prepoznata kao jedan od glavnih izvora vlakana i fenolnih komponenata, koje imaju zanimljiv antioksidacijski profil (Santacatalina i sur., 2016).

Jabuke u prosjeku sadrže 86 % vode, 14 % ugljikohidrata, 0,3 % proteina, 0,9-3,6 % vlakana, 27 μg β-karotena i 3-13 mg vitamina C na 100 g svježeg voća. Sadrži najviše vitamina A, B1, B2, C i niacin, a od minerala je najbogatija na kaliju i fosforu. Prema tome, jabuka sadrži gotovo sve važne hranjive sastojke, dok istovremeno sadrži relativno malo energetskih sastojaka, što je osobito važno u prehrani suvremenog čovjeka (Davey i sur., 2007).

Obrada i prerada jabuka može imati odličan utjecaj na antioksidacijska svojstva, ali i na ostale parametre kvalitete. Sušenje izaziva niz različitih promjena na materijalima, poput oksidacije, posmeđivanja, sažimanja, omekšavanja te gubitak nutritivno vrijednih sastojaka. Dolazi i do promjene mikrostrukture zbog uklanjanja vode, te može doći do smanjenja kapaciteta rehidratacije osušenih proizvoda, a sušenje utječe i na mogućnost ekstrakcije željenih komponenata (Santacatalina i sur., 2016).

U ovom eksperimentu korištene su jabuke sorte „Zlatni delišes". Sorta „Zlatni Delišes" potječe iz SAD-a i predstavlja jednu od najpopularnijih vrsta jabuka. Boja pokožice je zelenkasta do žuta, a prilikom čuvanja dobiva lijepu, izrazito zlatnožutu boju, s malim rumenilom. Meso ploda je žućkasto, čvrsto, sočno, ugodnog mirisa, jako izraženog, finog okusa.



Slika 1. Fotografski prikaz vanjskog izgleda jabuke „Zlatni Delišes"

(Izvor: http://www.volim-jabuke.com/sorte/)

2.2. ULTRAZVUK

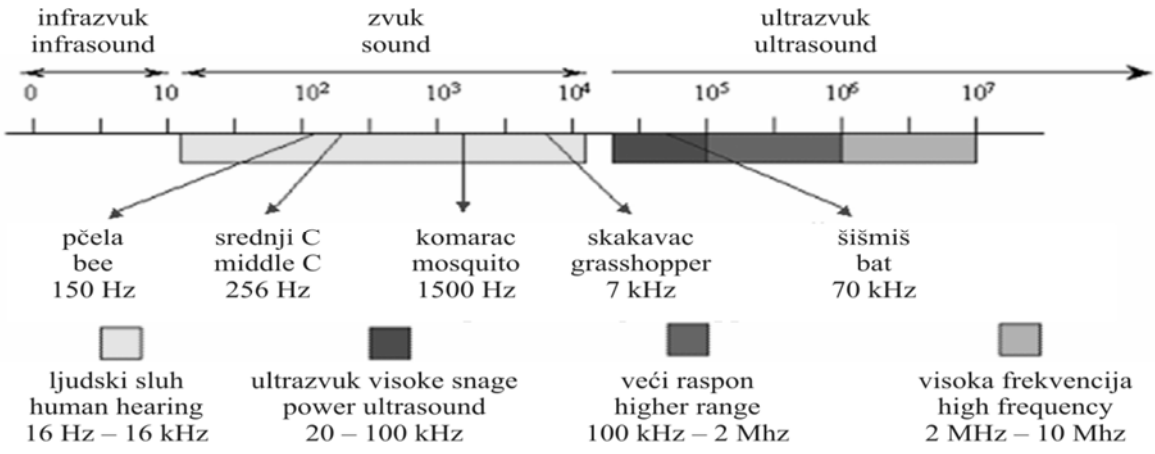
Zvuk nastaje oscilacijom izvora (tijela), a propagira se u obliku mehaničkog vala. U ravnotežnom stanju čestice tvari osciliraju oko ravnotežnog položaja. Kada mehanički val prolazi kroz tvar, dolazi do pomaka iz ravnotežnog stanja, a takav poremećaj širi se kroz medij. Konačno, sustav se vraća u ravnotežu, u neometano i stabilno stanje. Mehanički valovi koji se šire kroz krutine nazivaju se elastičnim valovima, a oni koji se šire kroz tekućine nazivaju se akustični valovi. Elastični valovi prenose se kao longitudinalni i transverzalni valovi, dok su akustični valovi samo longitudinalnog tipa. Frekvencija mehaničkih valova kreće se između 16 Hz i 1 GHz, a prema tome se zvuk dijeli na četiri područja:

- infrazvuk: 1-16 Hz
- zvuk: 16 Hz-20 kHz
- ultrazvuk: 20 kHz-1 GHz
- hiperzvuk: iznad 1 GHz (Musielak i sur., 2016).

Na slici 2. prikazana je podjela zvuka prema frekvencijama.

Općenito je prihvaćeno da se valovi u rasponu od 20 kHz do 1 GHz klasificiraju kao ultrazvučni valovi (Musielak i sur., 2016).

Postoje dvije vrste ultrazvuka: dijagnostički ultrazvuk i ultrazvuk visoke snage. Karakteristike dijagnostičkog ultrazvuka su ultrazvučni valovi niskog intenziteta, visoke frekvencije i niske energije, dok ultrazvuk visoke snage karakteriziraju ultrazvučni valovi visokih intenziteta, niske frekvencije i visoke energije (Brnčić i sur., 2010).



Slika 2. Podjela zvuka prema frekvencijama (Povey i Mason, 1998)

Na temelju raspona frekvencija ultrazvuk se dijeli na ultrazvuk niskog i ultrazvuk visokih intenziteta, te se prema tome primjenjuje u prehrambenoj industriji (Awad i sur., 2012).

Ultrazvučni valovi niskog intenziteta imaju frekvencije od 1-10 MHz, a intenzitet manji od 1W/cm^{-2} i ne uzrokuju fizikalna i kemijska oštećenja materijala kroz koji prolaze (Herceg i sur., 2009). Ultrazvuk niskog intenziteta primjenjuje se za neinvazivnu detekciju i za karakterizaciju fizikalno-kemijskih značajki materijala. Također se koristi i za stimulaciju aktivnosti živih stanica, površinsko čišćenje hrane, ekstrakciju asistiranu ultrazvukom, kristalizaciju, emulgiranje, filtraciju, operacije sušenja i smrzavanja te omekšavanje mesa (Ninčević Grassino i sur., 2015).

Za razliku od toga, ultrazvučni valovi visokih intenziteta frekvencije od 20-100 kHz i intenziteta višeg od 1 W/cm^{-2}, najčešće u rasponu od 10 do 1000 W/cm^{-2} ,uzrokuju fizička, mehanička, kemijska i biokemijska oštećenja materijala kroz koji prolaze. (Brnčić i sur, 2010).

Ultrazvuk veće snage niskih frekvencija (20 do 100 kHz) smatra se "snažnim ultrazvukom" ili ultrazvukom visokih intenziteta jer uzrokuje kavitaciju. Kavitacija uključuje stvaranje, rast i snažno rasprsnuće mjehurića ili praznina u tekućini kao rezultat fluktuacije tlaka. (Roselló-Soto i sur., 2015).

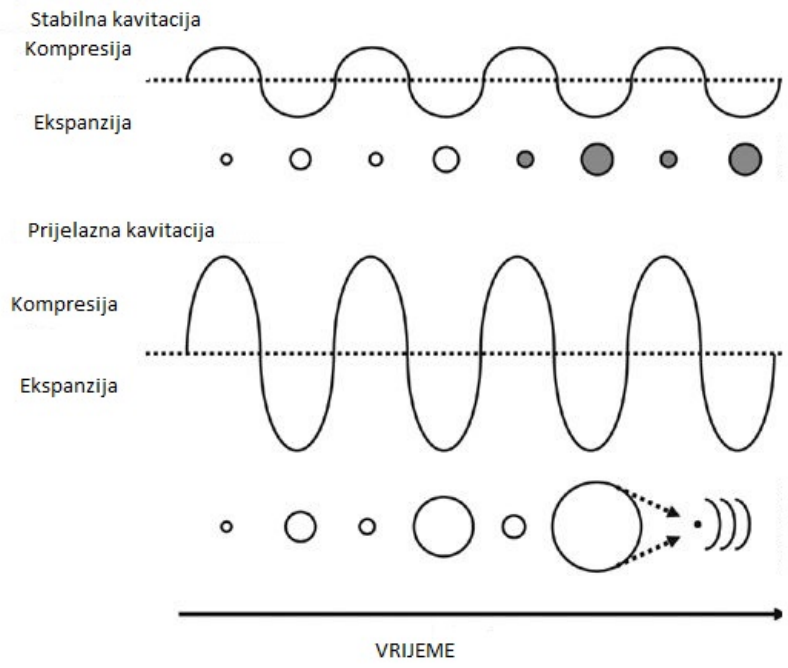
Mjehurići, raspoređeni po tekućini, rastu tijekom razdoblja od nekoliko ciklusa do ravnotežne veličine za određenu primijenjenu frekvenciju. Kada bi mjehurići bili podložni samo toj određenoj frekvenciji, ostali bi kao oscilirajući mjehurići, ali akustičko polje utječe na svaki pojedini mjehurić između više tisuća stvorenih mjehurića u kavitacijskoj tekućini. Svaki mjehurić će malo utjecati na lokalizirano polje u kojem se kreću i susjedni mjehurići. U takvim okolnostima nepravilno polje uzrokuje da kavitacijski mjehurić postane nestabilan i propadne. Taj kolaps generira energiju za kemijske i mehaničke učinke (Da-Wen Sun, 2005).

Kavitacija koja nastaje djelovanjem ultrazvuka niskog intenziteta, visoke frekvencije od 1 do 10 MHz i niskog intenziteta (manje od 1W/cm^2) naziva se stabilna kavitacija, jer formirani mjehurići neznatno osciliraju tijekom vrtloga i dolazi do minimalne promjene promjera mjehurića.

Tijekom svakog ciklusa ekspanzije i kompresije veličina mjehurića se stalno povećava. Nakon brojnih ciklusa ekspanzije i kompresije mjehurići dosegne određenu kritičnu veličinu, para kondenzira, a mjehurići se urušavaju pri čemu dolazi do nastanka

ekstremno velikih temperatura (5500°C) i tlakova do 50 MPa. To je takozvana prijelazna kavitacija (Brnčić i sur., 2010).

Stabilna i prijelazna kavitacija prikazane su na slici 3.



Slika 3. Stabilna i prijelazna kavitacija (Newmann i Bettinger, 2007)

Kavitacija je fenomen koji izaziva kemijske i fizikalne promjene u različitim prehrambenim sustavima, na primjer, promjene na ugljikohidratima, proteinima, lipidima i drugim komponentama. Kavitacija može povoljnije djelovati pri obradi hrane, za razliku od konvencionalnih tehnika obrade. Kemijski učinci uzrokovani ultrazvukom ne događaju se zbog interakcije molekula, nego zbog fenomena kavitacije i kolapsa mjehurića u tekućinama (Awad i sur., 2012).

Primjena ultrazvuka visokih intenziteta i niže frekvencije uzrokuje oštećenje membrana stanica (Nowacka i sur., 2012).

Upotreba ultrazvuka visokih intenziteta se sve više razvija, posebno u prehrambenoj industriji. Korištenje ultrazvuka pri obradi hrane je relativno nova tehnologija koja se često koristi kao dopuna klasičnim tehnikama, na primjer, kao predtretman kod sušenja

voća i povrća. Nasuprot ultrazvuka niskog intenziteta, djelovanje ultrazvuka visokih intenziteta popraćeno je stvaranjem visokih tlaka, smicanja i temperaturnog gradijenta unutar prehrambenog sistema. Ovakvi uvjeti mogu značajno promijeniti strukturu materijala, a kao posljedica prolaska ultrazvučnog vala visokih intenziteta može doći do pojave određenih kemijskih reakcija (Brnčić i sur., 2009).

Ultrazvuk visokih intenziteta najprije se koristio kako bi se omogućilo razbijanje staničnih stijenki nepoželjnih stanica, otplinjavanje tekućina, čišćenje, homogenizacija, emulgacija i raspršivanje agregatnih materijala, dok se danas primjenjuje i u drugim postupcima kao što su stimuliranje reakcija oksidacije, inhibicija enzima, razaranje mikroorganizama, zvučno potpomognuta difuzija te ultrazvučno potpomognuta kristalizacija. Primjenom ultrazvuka visokih intenziteta može se unaprijediti obrada hrane, na način da se dobije proizvod boljih senzorskih svojstava i veće nutritivne vrijednosti, a može se i znatno uštedjeti energija te skratiti trajanje procesa proizvodnje (Brnčić i sur., 2009).

2.3. ULTRAZVUČNI UREĐAJI

2.3.1. SUSTAV S DIREKTNO URONJENOM SONDOM

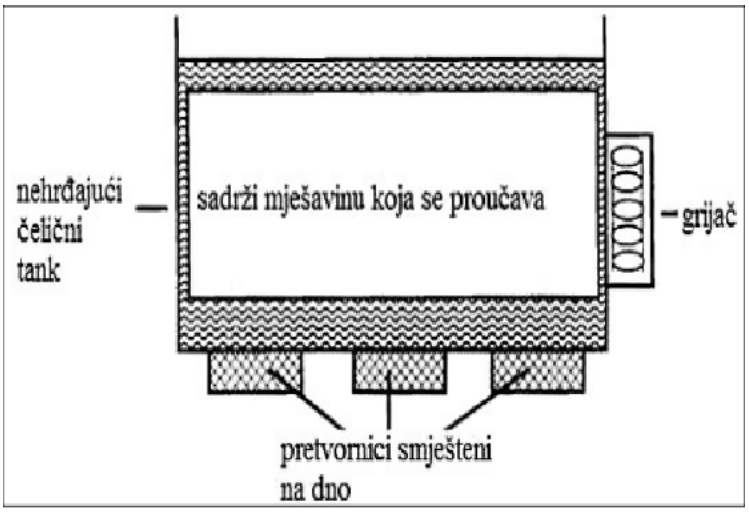
Većina uređaja za dobivanje ultrazvuka visokih intenziteta temelji se na elektroakustičnim sustavima, odnosno na piezoelektričnom ili rjeđe na magnetostriktivnom pretvorniku. Neovisno o tome koji se od ova dva pretvornika koristi, najvažnije je da se energija ultrazvuka dostavlja tekućem sustavu koji se tretira. Uobičajeni ultrazvučni postav sadrži dva osnovna dijela - generator i pretvornik. Generator pretvara električnu energiju u zahtijevanu visoku frekvenciju izmjenične struje, dok pretvornik pretvara tu visoku frekvenciju izmjenične struje u mehaničke vibracije koje će stvoriti kavitacije (Brnčić i sur., 2009). Sustav s direktno uronjenom sondom prikazan je na slici 4.



Slika 4. Sustav sa direktno uronjenom sondom

2.3.2. ULTRAZVUČNE KUPELJI

Ultrazvučne kupelji se često koriste u laboratorijima jer su lako dostupne i relativno jeftine. Ultrazvučna kupelj kakva se često koristi u laboratorijima prikazana je na slici 6. Najčešće se elementi pretvornika smještaju na dno spremnika. Većina ultrazvučnih kupelji radi na frekvencijama između 20 i 40 kHz, ali postoje izvedbe i u višem frekvencijskom području. Postoje različite mogućnosti izvedbe ultrazvučnih kupelji koje omogućavaju velik broj parametara koji se mogu proučavati, a uključuju termostatski kontrolirano grijanje i promjenjivu snagu te frekvencijsko prostiranje. Frekvencijsko prostiranje omogućava dobivanje ujednačenijeg polja kavitacije tako da se izbjegavaju stojni valovi koji bi ograničili kavitaciju. Nadalje, pokretna sila koja nastaje uključivanjem ili isključivanjem omogućava kratak signal isprekidane snage ili njezino pulsiranje, što je korisno pri otplinjavanju. Ako bi mjehurići zaostali u stojnim valovima, apsorbirala bi se energija ultrazvuka. Ultrazvučne kupelji obično sadrže električne mjerače vremena koji omogućavaju različito trajanje tretmana ultrazvukom. Standardne ultrazvučne kupelji rade pri nižem intenzitetu kako bi se izbjeglo oštećenje stijenki spremnika uzrokovano kavitacijom, te pri manjim akustičkim snagama jer su volumeni tretirane tekućine u spremniku najčešće veliki.

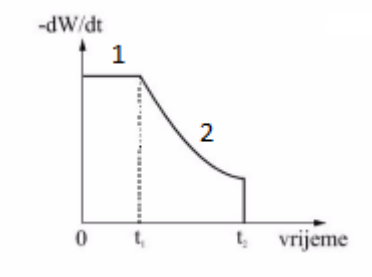


Slika 5. Ultrazvučna kupelj (Brnčić i sur., 2009)

2.4. SUŠENJE POTPOMOGNUTO ULTRAZVUKOM

Konvencionalno sušenje u struji toplog zraka je energetski vrlo nepovoljno pa zahtjeva veće financijske troškove. Sušenje je simultana operacija izmjene topline i mase, koja je praćena promjenama faze. Krivulja sušenja prikazana je na slici 6. Krivulja sušenja se sastoji od perioda konstantne brzine (1) i jednog ili više perioda padajuće brzine sušenja (2).

S obzirom na to da je sušenje operacija uklanjanja vlage do sigurne razine, ravnotežna vlažnost je definirana kao stupanj vlažnosti u ravnoteži s relativnom vlažnošću okolnog zraka. Ravnotežna vlažnost dijeli se na statičku i dinamičku. Statička se primjenjuje za operacije skladištenja, a dinamička za operacije sušenja. Predtretman u operacijama sušenja se primjenjuje kako bi se smanjila inicijalna vlažnost ili kako bi se modificirala struktura tkiva voća tako da se skrati vrijeme sušenja. Operacije sušenja, koje imaju važnu ulogu u prehrambenoj industriji, uglavnom se temelje na primjeni toplinske energije. Takve metode mogu uzrokovati strukturne promjene u proizvodu te se upravo zbog toga primjenjuju se novi tretmani kako bi se očuvala kvaliteta gotovog proizvoda (Dujmić i sur., 2013).



Slika 6. Shematski prikaz sušenja (Lovrić, 2003)

Posljednjih godina sve se više otkriva pozitivan utjecaj ultrazvuka visokih intenziteta na efikasnost sušenja bioloških materijala kao što su voće i povrće. Voće i povrće zahtijevaju posebne metode sušenja, jer je vrlo osjetljivo na visoke temperature i dugi temperaturni interval sušenja. Tijekom sušenja konvencionalnim metodama, dolazi do degradacije njihovih vrijednih sastojaka. Sušenje je važan proces u mnogim industrijama i poljoprivrednim sektorima gdje se zahtjeva niska razina vlage u procesiranim proizvodima. Sušenje voća, povrća i ostalih biljnih tkiva je osjetljiv proces i s ekonomskog gledišta, jer je dugotrajan je i energetski vrlo zahtjevan. Klasični postupak sušenja je relativno jeftin i jednostavan, ali se takav oblik sušenja smatra visoko destruktivnom metodom, osobito za toplinski osjetljive materijale poput bioaktivnih spojeva. Klasični postupak sušenja zahtjeva odabir odgovarajućih uvjeta sušenja i pažljiv odabir parametara sušenja kao što su temperatura, vlažnost i vrijeme. Svi ovi faktori utječu na konačnu kvalitetu dobivenih proizvoda, odnosno na boju, nutritivnu vrijednost, okus i izgled (Kowalski i Rybicki, 2017).

Mehanizam i princip djelovanja ultrazvuka na tkivo voća i povrća kao čvrstog materijala temelji se na prolasku akustičke energije visokih intenziteta kroz čvrsti medij.

Ultrazvučni valovi proizvode seriju alternativnih kontrakcija i ekspanzija (efekt spužve) materijala u kojem putuju. Ova brza izmjena kompresija i ekspanzija stvara mikroskopske kanaliće, koji olakšavaju uklanjanje vlage. Osim toga, akustični valovi visokih intenziteta mogu proizvesti kavitaciju molekula vode unutar čvrstog matriksa, što može biti korisno za uklanjanje čvrsto vezane vlage (García-Pérez i sur., 2007). Ovaj mehanizam poznat je kao „rektificirana difuzija" i vrlo je važan u akustičkom sušenju i migraciji vlage. Kod gušćih materijala koji su praktički nestlačivi, promjenjiv akustički tlak potiče odvlaživanje. Do toga dolazi očuvanjem postojećih kanala za uklanjanje vode ili stvaranjem novih. Gušći materijali obično pucaju pod akustičkim tlakom. U smjeru u kojem se širi val tijekom svojeg opuštanja ili paralelno sa širenjem vala tijekom kompresije, stvaraju se mikroskopski kanali. Isti mehanizam rezultira povišenjem i smanjenjem tlaka na

međufazama plin/tekuće te se tako povećava stupanj isparavanja. Iako su promjene tlaka pod djelovanjem zvučnog vala vrlo male, njegov učinak je jak zbog brze oscilacije tlaka (Zinoviadou i sur., 2015).

Ultrazvuk visokih intenziteta poboljšava prijenos topline i mase, zbog posebnih pojava koje se javljaju kada ultrazvučni valovi putuju kroz medij. Glavni utjecaj ultrazvuka na poboljšanje prijenosa topline i mase je akustična kavitacija (izmjenični ciklusi ekspanzije i kompresije) (Yao, 2016).

Sušeno povrće i voće mora imati i određene senzorske karakteristike (boju, miris, okus) i nutritivne kvalitete (udjel šećera, očuvanje vitamina). Prednost primjene ultrazvuka visokih intenziteta je u tome da se operacija može provoditi kod sobne temperature te se time smanjuju moguća oštećenja vitamina i drugih tvari koji čine nutritivno kvalitetan proizvod (Šic Žlabur i sur., 2015).

Sušenje potpomognuto ultrazvučnim zračenjem se može izvoditi pri nižim temperaturama nego konvencionalno sušenje, čime se smanjuje oksidacija i propadanje materijala. Za razliku od sušenja vrućim plinom materijal se ne otpuhuje niti dolazi do njegova oštećenja (Brnčić i sur., 2009).

Primjena ultrazvuka visokih intenziteta pri sušenju biomaterijala može pozitivno utjecati na sljedeće načine:

- bitno snižavanje temperature sušenja
- smanjenje potrošnje energije
- skraćivanje vremena sušenja
- poboljšanje kvalitete osušenih proizvoda očuvanjem njihovih vrijednih komponenata (vitamini, minerali) i izgleda (boja, oblik) (Kowalski i Pawlowski, 2015).

2.5. BOJA

Boja je optičko svojstvo koje utječe na odabir obrade te na privlačnost, odnosno ljudski izbor hrane na prvi pogled. Boja je važno senzorsko svojstvo pa je stoga važno osigurati odgovarajuću boju sušenih proizvoda, kako bi oni bili vizualno prihvatljivi potrošaču.

Boja proizvoda je vrlo važan parametar i predstavlja jedan od ključnih (ili čak odlučujućih) čimbenika koji se uzimaju u obzir prilikom prosuđivanja kvalitete proizvoda. Boja, pored mirisa, jedan je od prvih poticaja koji dolaze u ljudski mozak, čak i iz veće

udaljenosti. Prilikom samo promatranja proizvoda, kupac je već u mogućnosti prihvatiti ili odbiti predstavljeni proizvod. Štoviše, zbog nedostatka specijalističkih uređaja ili vremena, boja, miris i taktilni osjećaji obično su jedini testni alati za procjenu kvalitete većine prehrambenih proizvoda kao što su voće, povrće, pekarski proizvodi itd. (Musielak i sur., 2016)

Za mjerenje boje koriste se mjerni instrumenti (kolorimetri i kromometri) visoke osjetljivosti i jednostavni za upotrebu.

2.6. TEKSTURA

Iako je tekstura direktno povezana s prihvaćanjem potrošača, ima važan učinak i na modulaciju oslobađanja okusa. Kako bi se komponente okusa osjetile, moraju se osloboditi iz matrice hrane da bi došle do odgovarajućeg receptora. Oslobađanje okusa povezano je s načinom na koji se struktura hrane razara u ustima, odnosno s početnom teksturom hrane i promjenom teksture do koje dolazi tijekom žvakanja (Kilcast, 2004).

Tekstura je obilježje kvalitete hrane i usko je povezana sa strukturnim i mehaničkim svojstvima hrane. U mehanička svojstva se ubrajaju tvrdoća, elastičnost, viskoznost i adhezivnost, kohezivnost. Tri osnovne varijable koje se koriste kod proučavanja mehaničkih svojstava hrane su sila (F), deformacija (D) i vrijeme (t), pri čemu odnos sile i deformacije ovisi o vremenu. Naprezanje odgovara sili po jedinici površine, a uzrokovano je vanjskom silom i/ili drugim faktorima kao što su temperatura i vlažnost. Materijal podvrgnut djelovanju vanjskih sila mijenja oblik, a veličina promjene ovisi o unutarnjim svojstvima materijala, te se razlikuju elastični i plastični materijali. Savršeno elastični materijali se vraćaju u svoj početni oblik nakon prestanka djelovanja sile, dok savršeno plastični materijali nakon prestanka djelovanja sile zadrže deformirani oblik. Pritisak vanjskih sila na površinu materijala koji je podložan deformaciji, izaziva poremećaje u materijalu, koji se očituju u udaljenosti između čestica (Lu i Abbot, 2004).

3. MATERIJALI I METODE

3.1. MATERIJALI-PRIPREMA UZORKA

Uzorci jabuke „Zlatni delišes" razrezani su kuhinjskim nožem i rezačem na ploškice debljine 3 mm, dimenzija 10 cm*5 cm te izvagani na analitičkoj vagi s točnošću ±0,001 g.

3.2. METODE

3.2.1. OBRADA ULTRAZVUKOM

Izvagani uzorci jabuka stavljeni su u ultrazvučnu kupelj Elmasonic P 300H (Elma) ispunjenu destiliranom vodom. Uzorci su tretirani pri 37 kHz, amplitudi 100% i sobnoj temperaturi, pri različitim vremenskim intervalima – 10, 30 i 50 min.



Slika 7. Ultrazvučna kupelj Elmasonic P (Elma)

3.2.2. SUŠENJE

Sušenje je provedeno u Vacum Drying Oven VO200 (memmert) sušari pri temperaturama 40, 55 i 70°C. Pri svakoj od navedenih temperatura sušenje se odvijalo 60, 120 i 180 min. Uzorci koji nisu bili predtretirani ultrazvukom sušeni su pri istim temperaturama pri 60, 120, 180 i 240 min.



Slika 8. Sušara Vacum Drying Oven VO200 (memmert)

3.2.3. KOLORIMETRIJA

Određivanje boje uzoraka vršilo se CM- 3500d kolorimetrom (Konica-Minolta, Japan). Nakon kalibracije uređaja za izabranu masku otvora 8 mm, uzorak se postavio na otvor maske pri čemu su se izmjerile reflektancija u vidljivom području i L*, a* i b* vrijednosti. L* predstavlja svjetlinu, odnosno skalu sive boje, pri čemu je vrijednost 0 potpuno crna boja, a 100 potpuno bijela. a* ima raspon vrijednosti od -100 do +100, gdje negativne vrijednosti označavaju približavanje zelenoj boji (a*=-100 predstavlja čistu zelenu boju), dok pozitivne vrijednosti označavaju približavanje crvenoj. b* također ima isti raspon vrijednosti, s negativnim vrijednostima koje u -100 dosežu čisto plavu boju, te pozitivnim vrijednostima gdje +100 predstavlja čistu žutu boju. Kombinacijom a* i b* vrijednosti dobivamo boju materijala, pri čemu L* predstavlja svjetlinu te boje. Sva mjerenja su provedena u SCE (Specular Component Excluded) modu. Na temelju L*, a* i b* vrijednosti računa se Δ E po formuli:

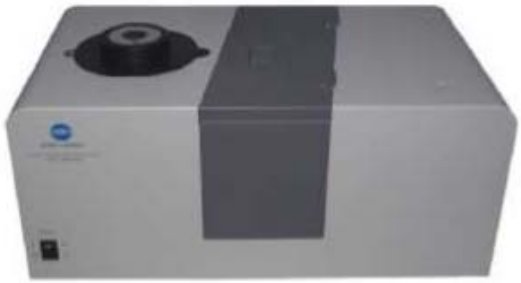
$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L^*_{ref})^2 + (a^* - a^*_{ref})^2 + (b^* - b^*_{ref})^2}$$

- L* - svjetlina boje ispitivanog uzorka u L*a*b* sustavu
- a* - parametar boje ispitivanog uzorka
- b* - parametar boje ispitivanog uzorka
- L^*_{ref}– svjetlina boje referentnog uzorka
- a^*_{ref}– parametar boje referentnog uzorka
- b^*_{ref} – parametar boje referentnog uzorka.

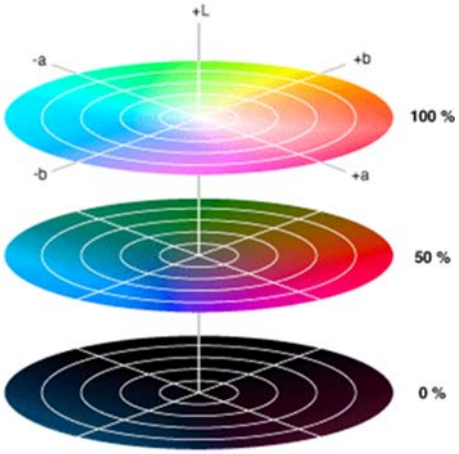
Parametar Δ E* pokazuje koliko neki proizvod odstupa od referentne boje, kao što je prikazano u tablici 1 (Xiao, 2008).

Tablica 1. Značenje razlika između izmjerene Δ E* vrijednosti i referentne

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



Slika 9. CM- 3500d kolorimetar (Konica-Minolta, Japan)



Slika 10. Koordinatni sustav CIE - L*, a*, b*

3.2.4. ANALIZA TEKSTURE

Teksturni parametri mjereni su korištenjem TA.HD.plus analizatora tekstura (Stable Micro Systems, Velika Britanija). Koristila se mjerna ćelija od 5kg i cilindrična sonda φ=2mm. Tvrdoća svježih i osušenih uzoraka određivala se penetracijom. Pre-test je iznosio 1mm/s, a test-speed 0,5 mm/s.



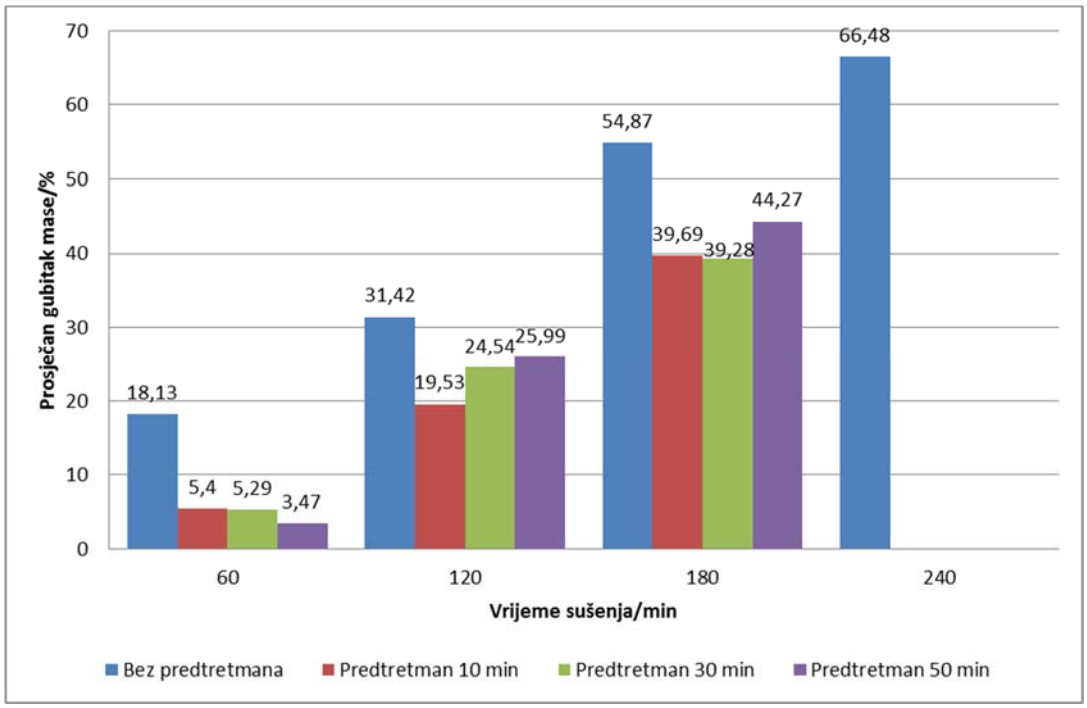
Slika 11. TA.HD.plus analizator teksture (Stable Micro Systems, Velika Britanija)

4. REZULTATI I RASPRAVA

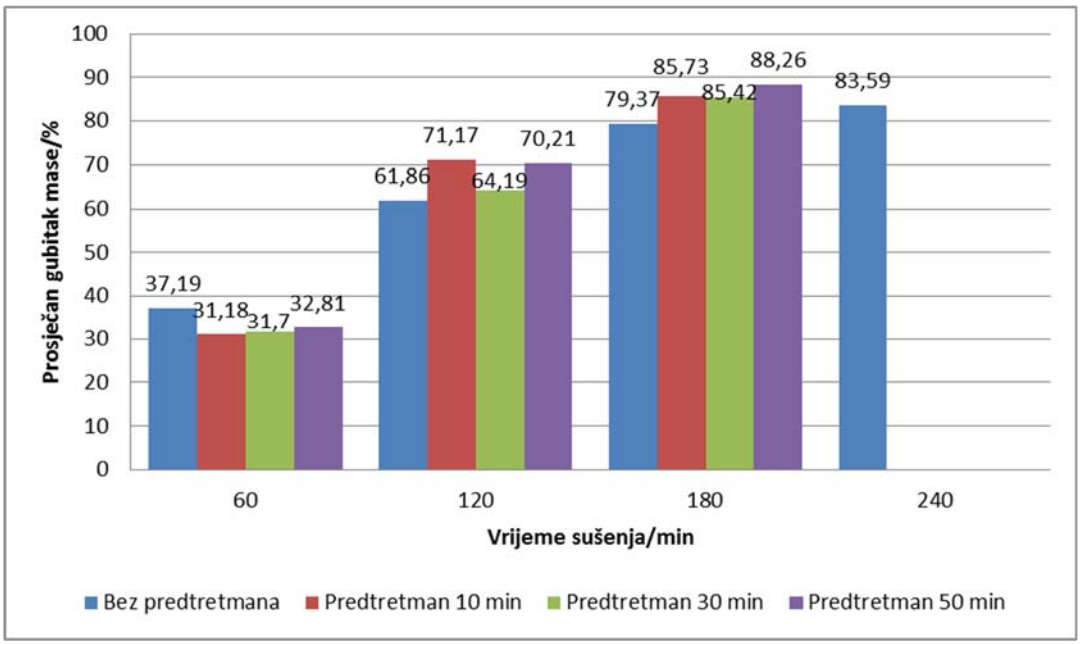
4.1. MASA

Tablica 2. Prikaz prosječnih gubitaka mase prilikom sušenja i parametara sušenja i predtretmana

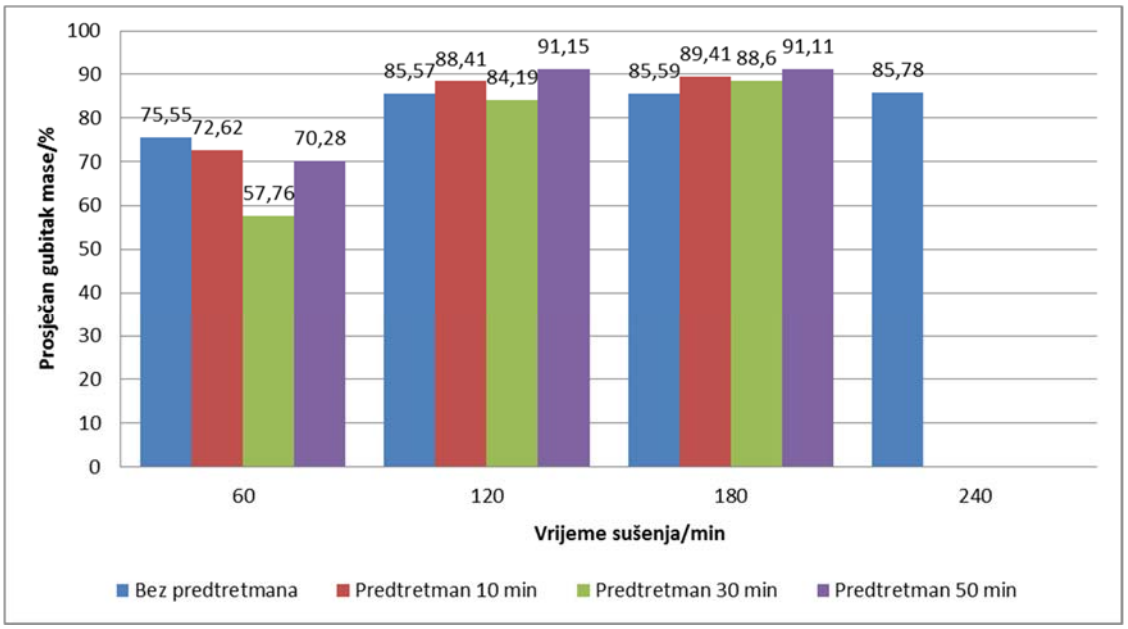
Temperatura (°C)	Vrijeme(min)	Predtretman: frekvencija 37 kHz;amplituda 100%;temperatura 20°C — Vrijeme(min)	Prosječna masa prije(g)	Prosječna masa nakon(g)	Prosječan gubitak mase(%)
40	60	-	4,290	3,520	18,13
40	120	-	5,244	3,600	31,42
40	180	-	4,566	2,058	54,87
40	240	-	5,595	1,877	66,48
55	60	-	4,771	3,001	37,19
55	120	-	5,600	2,182	61,86
55	180	-	4,682	0,967	79,37
55	240	-	4,174	0,822	83,59
70	60	-	4,247	1,038	75,55
70	120	-	4,097	0,591	85,57
70	180	-	4,712	0,680	85,59
70	240	-	4,029	0,572	85,78
40	60	10	4,512	4,277	5,40
40	120	10	3,479	2,635	19,53
40	180	10	4,046	2,462	39,69
40	60	30	4,777	4,600	5,29
40	120	30	3,840	2,851	24,54
40	180	30	3,769	2,079	39,28
40	60	50	4,285	2,959	3,47
40	120	50	4,220	1,255	25,99
40	180	50	3,893	0,554	44,27
55	60	10	4,511	3,072	31,18
55	120	10	3,760	1,328	71,17
55	180	10	4,124	0,603	85,73
55	60	30	4,104	2,803	31,70
55	120	30	3,945	1,197	64,19
55	180	30	3,758	0,441	85,42
55	60	50	4,278	1,154	32,81
55	120	50	3,545	0,409	70,21
55	180	50	3,804	0,403	88,26
70	60	10	4,037	1,154	72,62
70	120	10	3,545	0,409	88,41
70	180	10	3,804	0,403	89,41
70	60	30	5,492	2,336	57,76
70	120	30	4,497	0,679	84,19
70	180	30	4,241	0,486	88,60
70	60	50	4,538	1,363	70,28
70	120	50	3,960	0,351	91,15
70	180	50	3,774	0,336	91,11



Slika 12. Grafički prikaz ovisnosti gubitka mase o vremenu sušenja jabuka pri temperaturi sušenja 40°C



Slika 13. Grafički prikaz ovisnosti gubitka mase o vremenu sušenja jabuka pri temperaturi sušenja 55°



Slika 14. Grafički prikaz ovisnosti gubitka mase o vremenu sušenja jabuka pri temperaturi sušenja 70°C

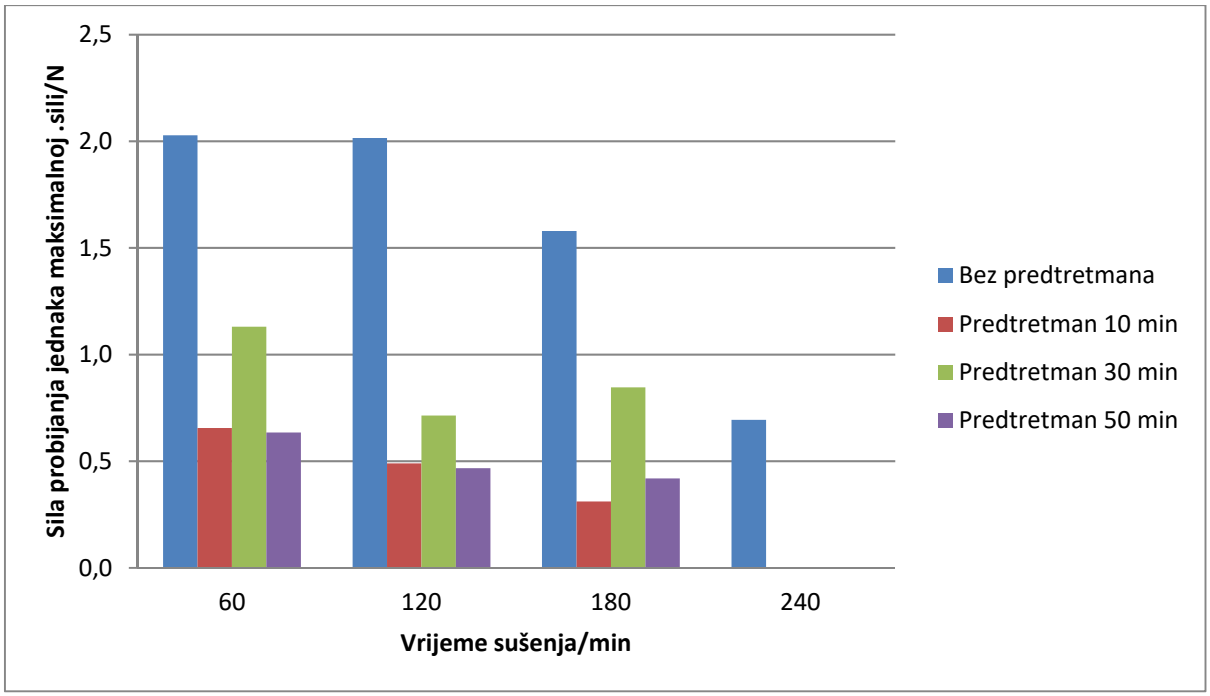
U tablici 2 prikazani su prosječni gubitci mase pri temperaturama 40, 55 i 70°C, bez predtretmana ili sa tretmanom od 10, 30 ili 50 min. Na slici 12 prikazan je graf ovisnosti gubitka mase o vremenu sušenja pri temperaturi 40°C. Vidljivo je kako su pri svakom vremenu sušenja (60, 120 ili 180 min) postignuti bolji rezultati bez predtretmana, nego sa predtretmanom. Razlog tome je što prilikom tretmana ultrazvukom, zbog djelovanja kavitacije dolazi do rastezanja mikro kanalića jabuka, čime se olakšava difuzija vode te uzorak lakše nakuplja vodu. S obzirom na to da je uzorak sušen pri relativno niskoj temperaturi od 40°C, nakupljena vode ne ispari dovoljno brzo da bi gubitak na masi bio vidljiv. Najviše vlage izgubljeno je nakon 4h sušenja, 66,48%, bez predtretmana ultrazvukom. Na slici 13 prikazane se vrijednosti gubitka mase pri temperaturi sušenja 55°C. Najveći gubitak mase, od 88,26%, postignut je nakon 3h sušenja, uz predtretman od 50 min. Na ovom primjeru, vidljivo je kako se vrijeme sušenja može skratiti uz korištenje predtretmana. Naime, predtretmanom od samo 10 min, nakon 3h sušenja, postotak izgubljene vlage je 85,73%, a sušenjem nakon 4h bez predtretmana taj postotak iznosi 83,59%. Time je vrijeme sušenja skraćeno za sat vremena, a postotak izgubljene vlage je i nešto veći. Općenito, najbolje osušeni su uzorci koji su tretirani pri maksimalnim uvjetima - sušenje pri 70°C i predtretman 50 min. Gubitak vlage pri tim uvjetima je 91,15% nakon 2h sušenja i 91,11% nakon 3h sušenja. Vidljivo je da se predtretmanom od samo 10 min, već nakon 2h sušenja, uzorci bolje osuše nego bez predtretmana nakon 2, 3 ili 4h sušenja. Ovo

je još jedan primjer kako se vrijeme sušenja može skratiti, uz odgovarajući predtretman ultrazvukom i odgovarajuću temperaturu sušenja. Ako se koristi ultrazvučni predtretman, sušenje je moguće izvoditi pri nižim temperaturama, što je vidljivo ako se usporede slike 13 i 14. Sušenjem pri 70°C, nakon 3h, bez predtretmana, postotak izgubljene vlage je 85,59%, a približno isto toliko vlage izgubi se sušenjem pri 55°C uz predtretman od 30 min nakon 3h sušenja.

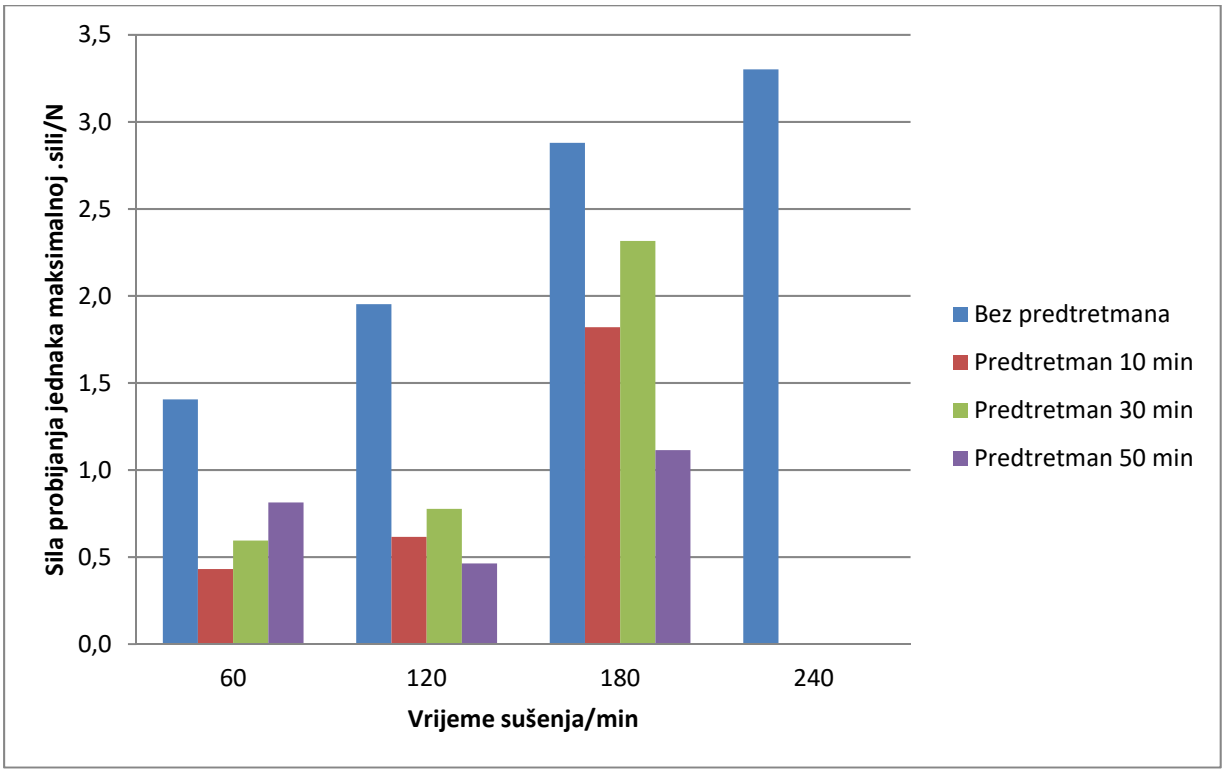
4.2. TEKSTURA

Tablica 3. Prikaz dobivenih rezultata za silu probijanja, naprezanje u točci probijanja i rad potreban za probijanje za navedene uzorke

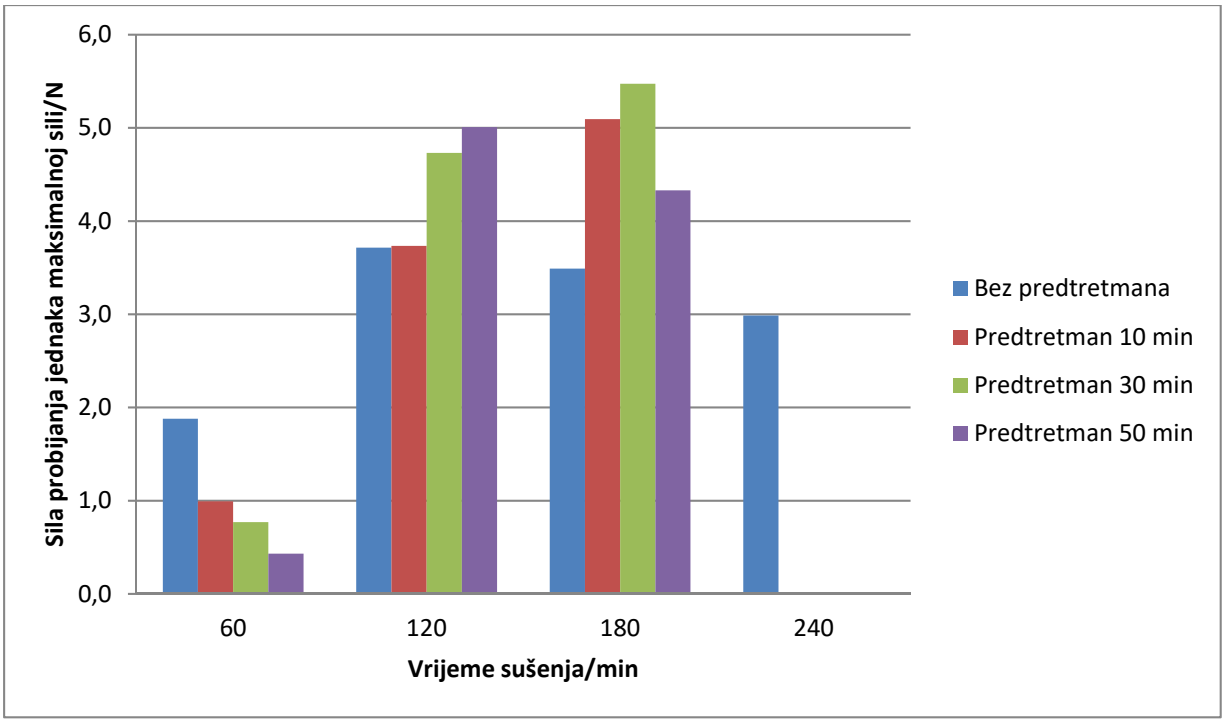
Uzorak	Sila probijanja jednaka maksimalnoj sili $F_p=F_{max}$ (N)	Naprezanje u točci probijanja (tvrdoća) σ (N mm $^{-2}$)	Rad potreban za probijanje W (Nm)
Svježa jabuka	1,769	0,563	0,001
40 C˚, 60min	2,028	0,645	0,002
40 C˚, 120min	2,015	0,641	0,002
40 C˚, 180min	1,579	0,502	0,003
40 C˚, 240min	0,694	0,539	0,002
55 C˚, 60min	1,405	0,447	0,001
55 C˚, 120min	1,953	0,621	0,002
55 C˚, 180min	2,880	0,917	0,003
55 C˚, 240min	3,301	1,051	0,002
70 C˚, 60min	1,879	0,598	0,002
70 C˚, 120min	3,715	1,182	0,003
70 C˚, 180min	3,490	1,111	0,002
70 C˚, 240min	2,986	0,950	0,002
40 C˚, 60min (PT 10min)	0,655	0,209	0,000
40 C˚, 120min (PT 10min)	0,489	0,156	0,000
40 C˚, 180min (PT 10min)	0,311	0,099	0,000
40 C˚, 60min (PT 30min)	1,131	0,360	0,001
40 C˚, 120min (PT 30min)	0,714	0,227	0,001
40 C˚, 180min (PT 30min)	0,846	0,269	0,001
40 C˚, 60min (PT 50min)	0,634	0,202	0,001
40 C˚, 120min (PT 50min)	0,467	0,149	0,001
40 C˚, 180min (PT 50min)	0,419	0,133	0,000
55 C˚, 60min (PT 10min)	0,431	0,137	0,000
55 C˚, 120min (PT 10min)	0,616	0,196	0,001
55 C˚, 180min (PT 10min)	1,820	0,579	0,001
55 C˚, 60min (PT 30min)	0,594	0,189	0,001
55 C˚, 120min (PT 30min)	0,777	0,247	0,001
55 C˚, 180min (PT 30min)	2,316	0,737	0,002
55 C˚, 60min (PT 50min)	0,814	0,259	0,002
55 C˚, 120min (PT 50min)	0,463	0,147	0,000
55 C˚, 180min (PT 50min)	1,114	0,355	0,001
70 C˚, 60min (PT 10min)	0,992	0,316	0,001
70 C˚, 120min (PT 10min)	3,734	1,188	0,002
70 C˚, 180min (PT 10min)	5,093	1,621	0,003
70 C˚, 60min (PT 30min)	0,769	0,245	0,001
70 C˚, 120min (PT 30min)	4,730	1,506	0,003
70 C˚, 180min (PT 30min)	5,472	1,742	0,003
70 C˚, 60min (PT 50min)	0,430	0,137	0,000
70 C˚, 120min (PT 50min)	5,008	1,594	0,004
70 C˚, 180min (PT 50min)	4,328	1,378	0,002



Slika 15. Grafički prikaz ovisnosti sile probijanja o vremenu sušenja pri temperaturi sušenja od 40°C



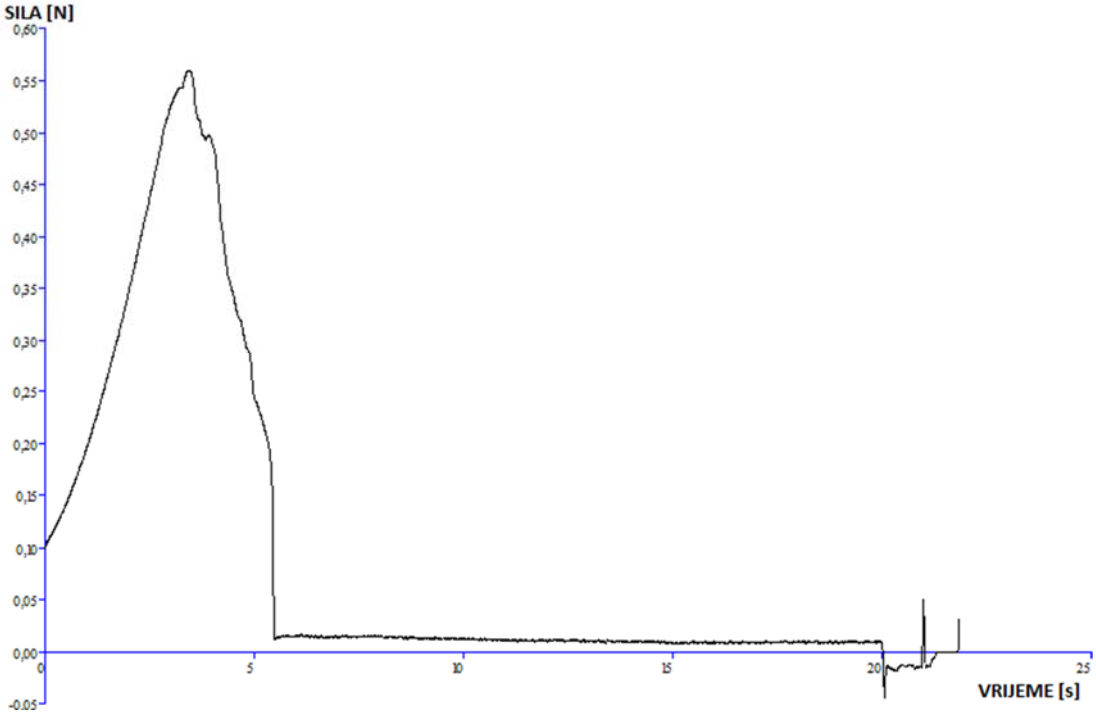
Slika 16. Grafički prikaz ovisnosti sile probijanja o vremenu sušenja pri temperaturi sušenja od 55°C



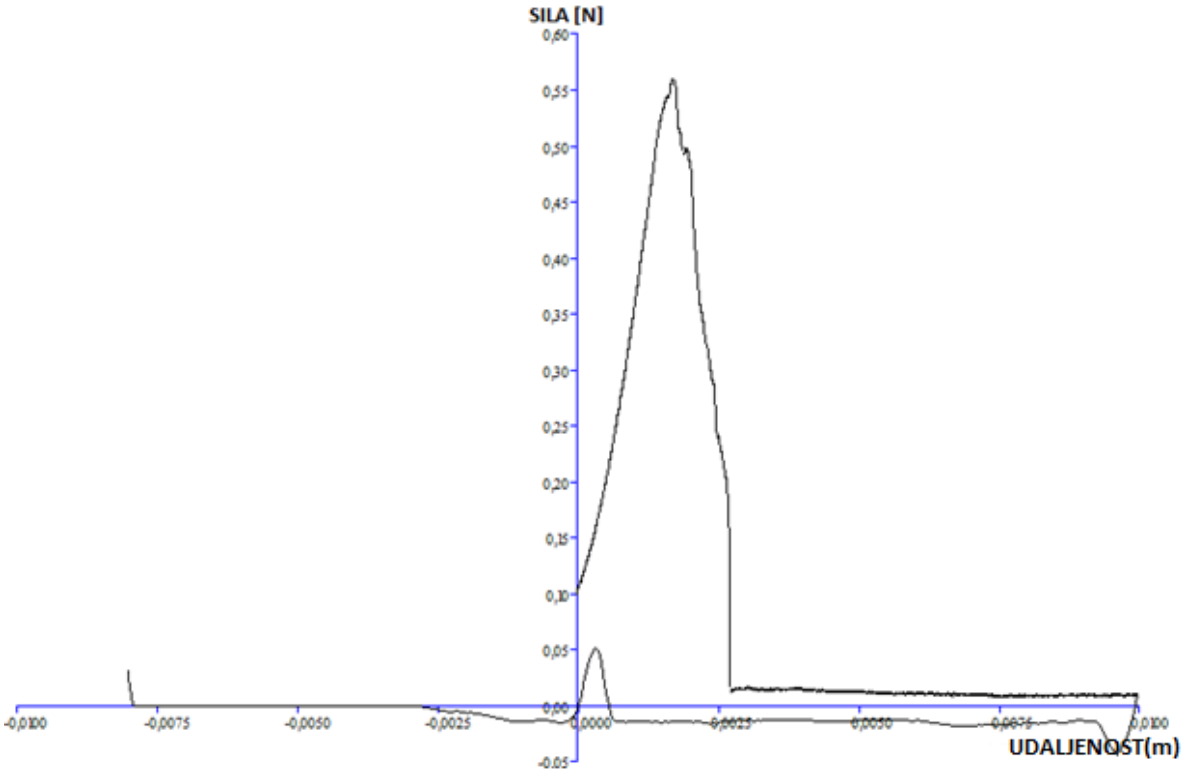
Slika 17. Grafički prikaz ovisnosti sile probijanja o vremenu sušenja pri temperaturi sušenja od 70˚C

U tablici 3 prikazani su rezultati analize teksture, odnosno tvrdoće uzoraka. Na slici 15 prikazani su rezultati za temperaturu sušenja 40°C. Vidljivo je da se dužim vremenom sušenja, sa ili bez predtretmana, tvrdoća uzoraka smanjuje. Sile probijanja su manje za predtretirane uzorke, jer je tretiranjem ultrazvukom razorena tekstura tkiva, pa je ono postalo poroznije, i manje tvrdo nego svježi uzorci jabuka. Pri temperaturi od 55°C vidljivo je pak da tvrdoća raste sa sve većim vremenom sušenja, jer se pri ovoj temperaturi sušenja već gube velike količine vlage, a uzorci postaju sve tvrđi. I u ovom slučaju predtretirani uzorci su mekši, što je i poželjno. Pri temperaturi sušenja od 70°C, većina predtretiranih uzoraka je tvrđa nego svježi uzorci. Pri sušenju od 1 h uz predtretman 50 min potrebna je najmanja sila za probijanje uzorka, a najveća kod 3 h sušenja uz predtretman 30 min.

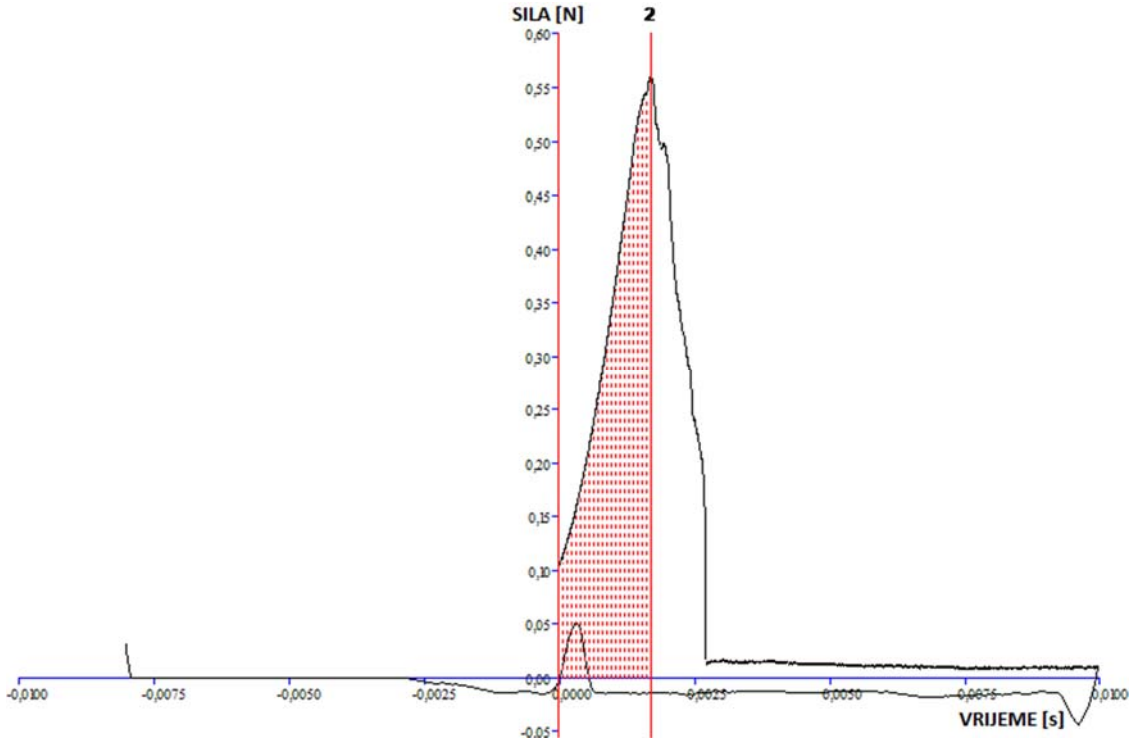
Na slikama 18 do 20 grafički je prikazano određivanje teksture.



Slika 18. Grafički prikaz ovisnosti sile (F) o vremenu (T) tijekom određivanja tvrdoće



Slika 19. Grafički prikaz ovisnosti sile (F) o udaljenosti (D) tijekom određivanja tvrdoće



Slika 20. Grafički prikaz određivanja rada potrebnog za probijanje (W)

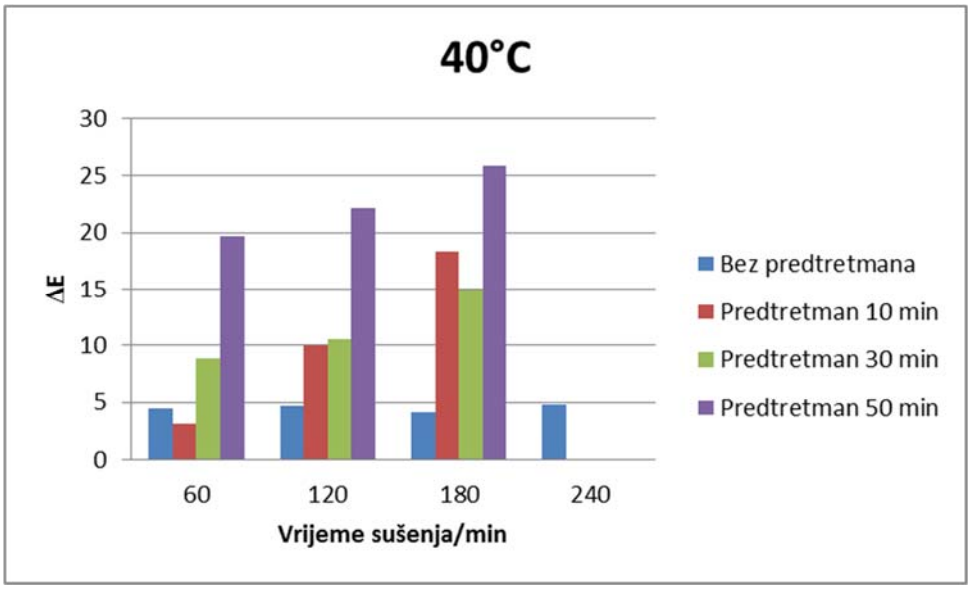
4.3. KOLORIMETRIJA

Tablica 4. L*, a*, b* i ΔE vrijednosti za uzorke sušene na 40°C.

Vrijeme sušenja (min)	Predtretman (min)	L*	a*	b*	ΔE
60	-	74,693	0,117	22,693	4,439
120	-	75,150	-0,103	23,137	4,646
180	-	74,730	0,487	22,363	4,182
240	-	74,370	0,243	22,943	4,823
60	10	74,513	-1,743	17,167	3,137
120	10	68,317	-1,350	13,587	9,967
180	10	61,297	-0,117	8,987	18,297
60	30	68,003	0,097	17,087	8,919
120	30	66,343	0,043	17,333	10,514
180	30	62,300	0,847	15,070	14,962
60	50	57,473	3,097	20,647	19,658
120	50	55,133	3,600	22,157	22,219
180	50	50,980	2,253	17,787	25,914

Na slici 21 vidljivo je kako je razlika u boji nakon sušenja vrlo velika kod svih predtretiranih uzoraka. Razlika u boji uzoraka koji nisu predtretirani je znatno manja, ali svejedno značajna. Razlog tome je što jabuka kao namirnica je jako podložna enzimskom posmeđivanju, te svaka dodatna minuta u kojem je izložena okolini dovodi do značajnije promjene boje, a upravo predtretman produljuje vrijeme njene pripreme.

Osobito je vidljivo da predtretman od 50 min uzrokuje najveću razliku u boji. Općenito se može zaključiti da sve duljim vremenom sušenja razlika u boji postaje sve veća.

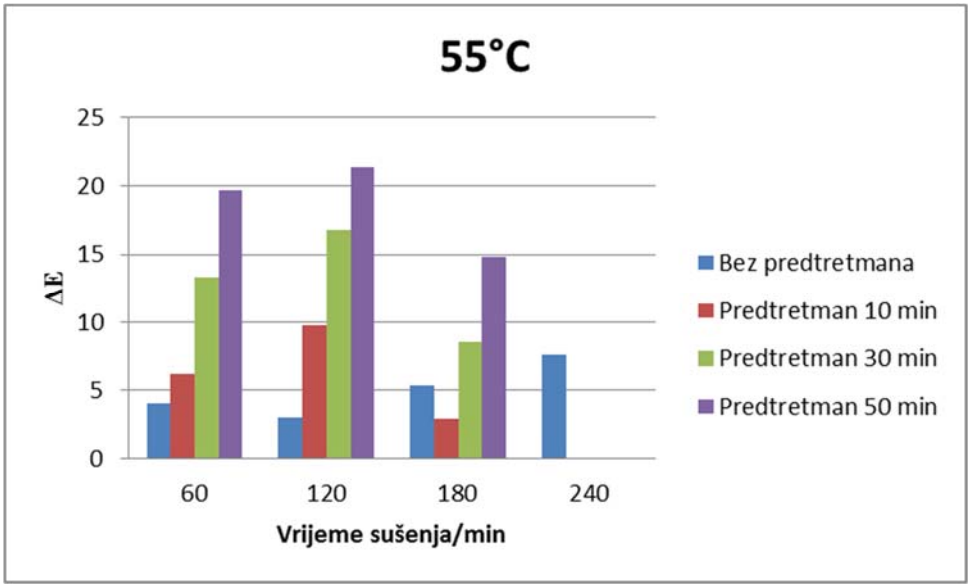


Slika 21. Grafički prikaz ΔE vrijednosti kod sušenja pri 40°C

Tablica 5. L*, a*, b* i ΔE vrijednosti za uzorke sušene na 55°C.

Vrijeme sušenja (min)	Predtretman (min)	L*	a*	b*	ΔE
60	-	74,620	0,517	22,103	4,024
120	-	78,030	0,107	21,457	2,989
180	-	77,837	0,693	23,903	5,322
240	-	79,943	0,427	25,580	7,543
60	10	70,683	-1,203	18,717	6,145
120	10	68,767	4,717	21,310	9,740
180	10	75,780	0,510	21,380	2,880
60	30	63,817	2,750	20,213	13,357
120	30	61,000	5,000	21,470	16,822
180	30	69,607	4,247	20,177	8,559
60	50	58,367	5,253	23,030	19,658
120	50	55,973	4,690	20,570	21,435
180	50	62,883	4,830	20,327	14,853

Prema slici 22 može se zaključiti da predtretman od 10 min uzrokuje manje razlike u boji od dužih predtretmana. Nakon sušenja od 3 sata razlika se znatno smanjuje u svim slučajevima gdje su uzorci predtretirani, dok se daljnjim sušenjem uzoraka koji nisu predtretirani razlika povećava. Općenito je razlika u boji najveća kod uzoraka predtretiranih 50 min.

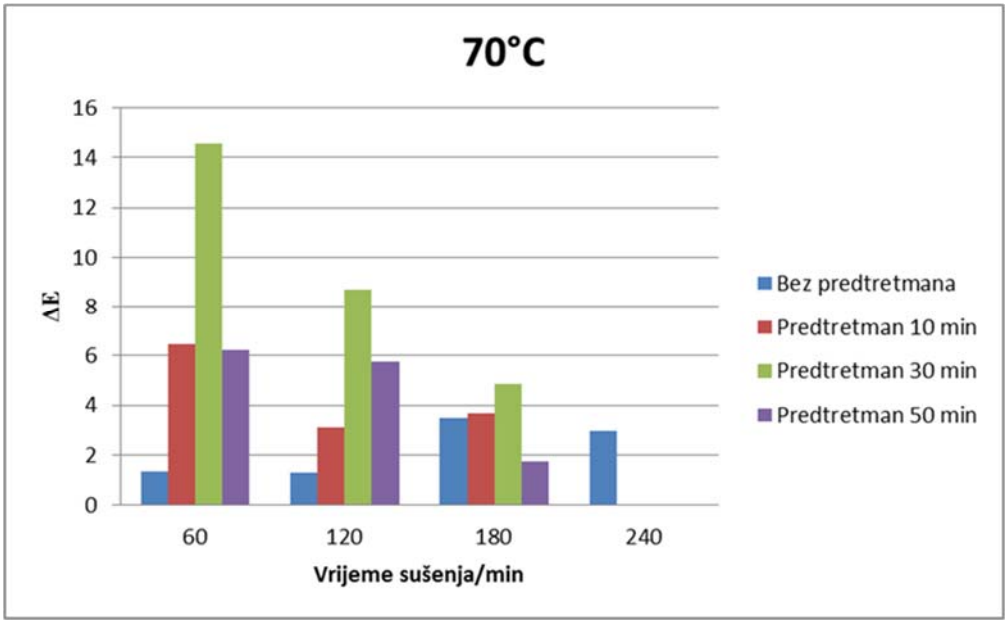


Slika 22. Grafički prikaz ΔE vrijednosti kod sušenja pri 55°C

Tablica 6. L*, a*, b* i ΔE vrijednosti za uzorke sušene na 70°C.

Vrijeme sušenja (min)	Predtretman (min)	L*	a*	b*	ΔE
60	-	76,183	0,960	18,710	1,341
120	-	76,943	0,977	19,170	1,303
180	-	75,507	2,700	20,170	3,493
240	-	76,853	1,403	21,247	2,973
60	10	70,570	1,557	19,277	6,462
120	10	74,257	1,623	18,867	3,123
180	10	73,880	1,780	19,830	3,673
60	30	63,063	3,167	22,380	14,563
120	30	68,613	2,363	20,273	8,680
180	30	72,653	2,153	17,777	4,858
60	50	70,693	0,327	20,073	6,224
120	50	71,363	1,270	17,537	5,737
180	50	76,170	-1,077	20,210	1,752

Pri temperaturi od 70°C razlike u boji su manje nego kod temperatura 40 i 55°C. Najveće razlike su kod uzoraka predtretiranih 30 min. Razlike su sve manje, što su predtretirani uzorci duže sušeni. Kod netretiranih uzoraka razlika se sušenjem povećava.



Slika 23. Grafički prikaz ΔE vrijednosti kod sušenja pri 70°C

5. ZAKLJUČCI

1. Primjena ultrazvuka viskog intenziteta kao predtretmana sušenju voća značajno skraćuje vrijeme sušenja.
2. Primjena ultrazvuka viskog intenziteta kao predtretmana sušenju voća omogućava primjenu nižih temperatura sušenja čime se osigurava očuvanje termo labilnih spojeva.
3. Pri temperaturama sušenja 40 i 55°C tvrdoća osušenih uzoraka koji su predtretirani ultrazvukom manja je nego tvrdoća netretiranih uzoraka čime se postiže unaprijeđenje svojstava bitnih kupcima.
4. Sušenje uzoraka jabuke pri temperaturi 70°C nije pogodno jer uzrokuje preveliku tvrdoću osušenih uzoraka čime značajno utječe na prihvatljivost proizvoda kod kupaca.

5. Sve duljim vremenom sušenja razlika u boji između netretiranog referentnog uzorka i sušenih uzoraka jabuka postaje sve veća.
6. U svim slučajevima sušenja, pokazalo se kako predtretman ultrazvukom u trajanju od 10 minuta djeluje najpovoljnije na parametar ΔE*, odnosno uzrokuje najmanju razliku u boji.
7. Primjenom ultrazvuka kao predtretmana u postupku sušenja značajno se doprinosi racionalnom korištenju energenata zbog značajno kraćeg vremena sušenja i primjene nižih temperatura.

6. POPIS LITERATURE

- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., Youssef, M. M. (2012) Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food. *Food Research International* **48**: 410-427.

- Brnčić, M., Karlović, S., Rimac Brnčić, S., Bosiljkov, T., Ježek, D., Tripalo, B. (2010) Textural properties of infra red dried apple slices as affected by high power ultrasound pre-treatment. *African journal of biotechnology* **9**: 6907-6915.

- Brnčić, M., Tripalo, B., Penava, A., Karlović, D., Ježek, D., Vikić Topić, D., Karlović, S., Bosiljkov, T. (2009) Primjena ultrazvuka visokih intenziteta pri obradi hrane. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam* **4**: 32-37.

- Davey, M.W., Auwerkerken, A., Keulemans, J. (2007) Relationship of apple vitamin C and antioxidant contenst to hardvest date and postharvest pathogen infection. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **87**: 810-813.

- Dujmić, F., Brnčić, M., Karlović, S., Bosiljkov, T., Ježek, D., Tripalo, B., Mofardin, I. (2013) Ultrasound-Assisted Infrared Drying of Pear Slices: Textural Issues. *Journal of Food Process Engineering* **36:** 397–406.

- García-Pérez, J.V., Cárcel, J.A., Benedito, J., Mulet, A. (2007) Power ultrasound mass trasfer enhancment in food drying. *Food and Bioproducts Processing* **85**: 247–254.

- Kilcast, D. (2004) Measuring consumer perceptions of texture: an overview. U: Texture in food-Volume 2: Solid foods (Kilcast.D., ured.), Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC, Cambridge, str. 1-25

- Kowalski, S.J., Pawłowski, A. (2015) Intensification of apple drying due to ultrasound enhancement. *Journal of Food Engineering* **156**: 1-9.

- Kowalski, S.J., Rybicki, A. (2017) Ultrasound in wet biological materials subjected to drying. *Journal of Food Engineering* **212**: 271-282.

- Lovrić, T. (2003) Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, 1.izd, Hinus. str. 181

- Musielak, G., Mierzwa, D., Kroehnke, J. (2016) Food drying enhancement by ultrasound. *Trends in Food Science & Technology* **56**: 126-141.

- Newman, C.M.H., Bettinger, T. (2007) Gene therapy progress and prospects: Ultrasound for gene therapy. *Gene Therapy* **14**: 465-475.

- Ninčević Grassino, A., Brnčić, M., Vikić-Topić, D., Roca, S., Dent, M., Rimac Brnčić, S. (2016) Ultrasound Assisted Extraction and Characterization of Pectin from Tomato Waste. *Food Chemistry*, **198**: 93-100.

- Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., Witrowa-Rajchert, D. (2012) Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering* **113**: 427-433.

- Povey, M. J. W., Mason, T. J. (1998) Ultrasound in Food Processing. Blackie Academic & Professional

- Renfu Lu & Abbott J. A. (2004) USDA Agricultural Research Service, USA. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

- Roselló-Soto, E., Galanakis, C.M., Brnčić, M., V. Orlien, Trujillo F. J., Mawson, R., Knoerzer, K., Tiwari, B.K., Barba, F.J. (2015) Clean Recovery of Antioxidant Compounds from Plant Foods, By-Products and Algae Assisted by Ultrasounds

Processing: Modeling approaches to optimize processing conditions. *Trends in Food Science & Technology*. **42**: 134-149.

- Santacatalina, J.V., Contreras, M., Simal, S., Cárcel, J.A., Garcia-Perez, J.V. (2016) Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple. *Ultrasonics Sonochemistry* **28**: 100-109.

- Sun, D.W. (2005) Emerging Technologies for Food Processing, 1.izd., Academic Press, str. 323-344.

- Šic Žlabur, J., Voća, S., Dobričević, N., Brnčić, M., Dujmić, F., Rimac Brnčić, S. (2015) Optimization of Ultrasound assisted extraction of functional ingredients from Stevia rebaudiana Bertoni leaves. *International Agrophysics* **29**: 231-237.

- Volim-jabuke, <http://www.volim-jabuke.com/sorte/> Pristupljeno 19. srpnja 2017.

- Zinoviadou, K.G., Galanakis, C.M, Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M.J., Saraiva, J., Patras, A., Tiwari, B.K., Barba, F.J. (2015) Fruit juice sonication: Implications on food safety, physicochemical and nutritional properties. *Food Research International* **77**: (4) 743-752.

- Xiao, D. C. (2008) Food Drying Fundamentals. U D. C. Xiao, & A. S. Mujumdar (Ur.), Drying Technologies in Food Processing. Singapore: Blackwell Publishing, str. 1-55

- Yao, Y. (2016) Enhancement of mass transfer by ultrasound: Application to adsorbent regeneration and food drying/dehydration. *Ultrasonics Sonochemistry* **31**: 512-531.

Izjava o izvornosti

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



ime i prezime studenta