

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno – biotehnološki fakultet

Marko Karalić, Irena Mofardin, Andrea Karačić  
Sušenje kruške potpomognuto ultrazvukom  
visokog intenziteta

Mentor: dr.sc. Mladen Brnčić, izv.prof.

Zagreb, travanj, 2011.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za tehnološke operacije i Laboratoriju za tehničku termodinamiku; Razvojno središte za primjenu ultrazvuka u prehrambenoj tehnologiji i biotehnologiji Prehrambeno – biotehnološkog fakulteta pod stručnim vodstvom prof.dr.sc. Mladena Brnčića; uz pomoć asistenta dipl.inž. Svena Karlovića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2010/2011.

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO.....</b>	<b>3</b>
2.1 Kruška .....	3
2.1.1 Kemijski sastav kruške.....	3
2.1.2 Hranjivost i ljekovitost kruške .....	5
2.1.3 Sorte Kruške .....	6
2.2 Sušenje .....	8
2.2.1 Sušenje kruške.....	11
2.3 Ultrazvuk .....	13
2.3.1 Fizikalna svojstva ultrazvuka.....	13
2.3.2 Predtretman ultrazvukom za sušenje .....	14
2.4 Fizikalna svojstva namirnica.....	16
2.4.1 Boja.....	16
2.4.2 Tekstura .....	17
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO .....</b>	<b>19</b>
3.1 Materijali .....	19
3.1.1 Priprema uzoraka .....	19
3.2 Metode .....	19
3.2.1 Obrada ultrazvukom.....	19
3.2.2 Sušenje u infracrvenoj sušari .....	20
3.2.3 Određivanje boje.....	21
3.2.4 Fotografiranje uzorka .....	22
3.2.5 Analiza teksture.....	22
3.2.6 Analiza raspodjele topline .....	24
<b>4. REZULTATI.....</b>	<b>25</b>
4.1 Sušenje uzorka kruške .....	26
4.2 Boja .....	26
4.3 Instrumentalna analiza teksture uzorka.....	28
4.4 Raspodjela topline tijekom obrade ultrazvukom .....	32
4.5 mjerenje temperature vode tijekom tretiranja ultrazvukom .....	33
<b>5. RASPRAVA.....</b>	<b>34</b>
5.1 Vrijeme sušenja .....	34
5.2 Određivanje boje .....	34

5.3 Tekstura .....	35
5.4 Raspodjela topline tijekom obrade ultrazvukom .....	37
<b>6. ZAKLJUČCI: .....</b>	<b>38</b>
<b>7. ZAHVALE .....</b>	<b>39</b>
<b>8. LITERATURA: .....</b>	<b>40</b>
<b>9. SAŽETAK .....</b>	<b>45</b>
<b>10. SUMMARY .....</b>	<b>46</b>
<b>11. ŽIVOTOPISI.....</b>	<b>47</b>

## 1. UVOD

Voće zbog svojih nutritivnih svojstava ima značajnu ulogu u ljudskoj prehrani. Bilo kao svježi plod ili obrađeno raznim tehnikama, voće predstavlja značajan izvor vitamina, minerala, vlakana i drugih visoko vrijednih sastojaka. Da bi se sačuvalo od kvarenja, ali i dobili različiti proizvodi voće se konzervira. Najpoznatiji i najučinkovitiji način konzerviranja predstavlja sušenje. Sušenjem se trajnost proizvoda produlji, ali može dovesti do nepoželjnih promjena u boji, teksturi i djelomičnog gubljenja nutritivnih tvari.

U prehrambenoj industriji danas sve više se koriste tzv. netoplinske tehnologije kao što su: visoki hidrostatski tlakovi, ultrazvuk visokog intenziteta, pulsirajuća električna polja, oscilirajuća magnetska polja, pulsirajuće svjetlo, hladna plazma i dr. (Knorr, 1993; Mason, 1998; Fuente-Blanco i sur., 2006; Brnčić i sur., 2010; Leadley i sur., 2006; Xiao, 2008). Primjena ultrazvuka visokog intenziteta smatra se kao jedna od najcijenjenijih netoplinskih tehnologija. Ultrazvuk visokog intenziteta u prehrambenom inženjerstvu koristi se za unaprjeđenje operacija ekstrakcije, homogenizacije, emulgiranja, otpjenjivanja, prosijavanja, inaktivacije mikroorganizama, obrade otpadnih voda, sušenja i filtracije (Kyllonen i sur., 2005; Muthukumaran i sur., 2006; Cañizares-Macías i sur., 2004). Može se koristiti kao postupak koji se provodi prije nekih drugih operacija npr. kao predobrada prije sušenja voća. Ovakav tretman tj. ultrazvučna predobrada daje mnoge pozitivne učinke na kvalitetu konačnog osušenog proizvoda. Mehaničko djelovanje ultrazvuka pomaže pri uklanjanju vode iz voća zahvaljujući tzv. „efektu spužve“, a temelji se na stvaranju kavitacijskih mjehurića koji nakon osilacije uslijed principa širenja i sažimanja implodiraju te prenose svoju energiju u vidu topline i tlaka u okolni sustav.

Radi ovakvog prijenosa energije na površini voća stvaraju se mikroskopski kanalići kroz koje se tijekom sušenja olakšava difuzija vode (Fuente-Blanco i sur., 2006). Ovako se skraćuje vrijeme sušenja, pospješuje se uklanjanje vezane vode, a sačuvana su i unaprijeđena bitna svojstva koja utječu na konačnu kvalitetu gotovog proizvoda kao što su tekstura i boja.

Kruška je zbog visoke nutritivne, a niske energetske vrijednosti, kao i dobrog okusa, cijenjena kod potrošača. Izvor je prehrambenih vlakana i sadrži značajne količine kalija, ali njezino vrijeme skladištenja u neprerađenom stanju je relativno kratko zbog čega se često prerađuje. Uklanjanjem vode iz kruške smanjuju se gubici na kvaliteti i produljuje trajnost. Kako bi se očuvala kvaliteta, potrebno je unaprijediti tradicionalne postojeće i istražiti primjene novih tehnologija za prehrambenu industriju. Konvencionalni načini sušenja su i dalje prisutni u industriji, iako zbog izloženosti namirnice visokim temperaturama može doći do smanjenja nutritivnih vrijednosti, degradacije senzorskih svojstava i teksture namirnice.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1 Kruška

Kruška (*Pyrus communis* L.) je karakteristično voće umjerenog pojasa. Kruške pripadaju porodici ruža i srodne su jabukama i dunjama. Postoji oko tisuću različitih sorti krušaka. Kruške se razlikuju po obliku, veličini, teksturi, boji, okusu kao i dužini skladištenja. Plod kruške ima veće okruglo dno koje se sužava prema vrhu peteljke, a ovisno o sorti tanka kora može biti žute, žuto zelene, zelene, smeđe, crvene ili zeleno crvene boje. Meso kruški je slatko i bogato sokom, dok mu je tekstura mekana i lagano zrnata. Kruška je voće s dobrom nutritivnom vrijednosti i niskom energetsom vrijednosti te je zato cijenjena kod potrošača. Kruška je lako probavljiva te se radi svog sastava preporuča za konzumaciju svima te posebno dijabetičarima. Sredina ploda, kao i kod jabuke, sadrži nekoliko sjemenki (Guine, 2006).

#### 2.1.1 Kemijski sastav kruške

Plod kruške sadrži mali udio proteina i masti, a bogat je ugljikohidratima kao što su fruktoza, sorbitol, saharoza i u manjoj količini glukoza. Energetska vrijednost 100 g svježe kruške iznosi 58 kcal / 242 kJ. Od toga sadrži 15,5% ugljikohidrata, 0,4% proteina i 0,1% masti. Kruška je bogata vitaminima, mineralima, antioksidansima i bioaktivnim komponentama (Barroca i sur., 2006). Prehrambena vlakna dobivena iz voća i povrća imaju veći udio u vodi topljivih prehrambenih vlakana, za razliku onih iz žitarica koje uglavnom sadrže u vodi netopljiva prehrambena vlakna (Thebaudin i sur., 1997). U tablici 1 prikazan je detaljan kemijski sastav kruške.

Tablica 1. Kemijski sastav kruške (izraženo na 100g.)(Guine, 2006)

Kemijski sastav kruške izražen prema 100g.		
Voda – 83 g	Kalij – 130 mg	Ugljikohidrati – 15 g
Proteini – 0,7 g	Bakar – 0,12 mg	Vitamin B1 – 0,02 mg
Vitamin C – 4 mg	Magnezij – 9 mg	Vitamin B2 – 0,04 mg
Vlakna – 1,4 g	Kalcij – 8 mg	Vitamin B6 – 0,02 mg
Masti – 0,4 g	Fosfor – 11 mg	Vitamin E – 0,1 mg

Kruška spada u vrstu voća koje ima veći udio prehrambenih vlakana (McKee i sur., 2000). Uz to što je dobar izvor prehrambenih vlakana, kruška sadrži značajne količine kalija. Vrijeme skladištenja neprerađene kruške je kraće nego kod jabuke, jer ima veću brzinu respiracije pri svim temperaturama u usporedbi s jabukom (Salunkhe i sur., 1995). Uobičajeni proizvodi od kruške su konzervirani sirupi, kaše za proizvodnju nektara, jogurti te osušeni proizvodi (Park i sur., 2002).



Slika 1. Plod i presjek ploda kruške (Anonymous).



### **2.1.2 Hranjivost i ljekovitost kruške**

Kruške sadrže više pektina od jabuka. Također, kruške su dobar izvor dijetalnih vlakana koja ljekovito djeluju na probavni i na kardiovaskularni sustav. Dijetalna vlakna u sinergističkom djelovanju s mineralom bakrom potiču djelovanje debelog crijeva te na taj način sprječavaju konstipaciju i time štite zdravlje debelog crijeva i reduciraju rizik od pojave raka. Neka istraživanja pokazala su da se konzumiranjem voća bogatog vlaknima može reducirati rizik od pojave raka dojke za 34-50% kod žena u menopauzi. Sadržaj antioksidanata u kruškama pomaže u zaštiti od štetnog djelovanja slobodnih radikala, čime se jača imunološki sustav (Guine, 2006).

U današnje doba kad su alergije vrlo rasprostranjene dobro je znati da su kruške hipoalergena hrana, stručnjaci osobito preporučuju da se prilikom uvođenja voća u prehranu male djece najprije daju kruške. Kruške su pokazale i učinkovito djelovanje kod snižavanja tlaka zbog ljekovitog djelovanja antioksidansa glutaciona koji smanjuje i rizik od pojave moždanog udara. Sok od kruške je odličan izvor energije zahvaljujući prirodnom voćnom šećeru fruktozi i levulozi, pa je prikladan i za dijabetičare. Zahvaljujući svom osvježavajućem djelovanju, sok od kruške može olakšati groznicu. Osim toga kruške sadrže i neke sastojke koji ublažavaju razna upalna stanja.

### 2.1.3 Sorte Kruške

U radu je već navedeno da u svijetu postoji više od tisuću različitih vrsti tj. sorti krušaka. Međusobno se razlikuju po obliku, boji, okusu i mirisu. Općenito vanjski izgled ploda kruške je privlačan, jasnih boja i teksture, gladak ili lagano hrapav s prepoznatljivim mirisom. Navesti ćemo samo neke od sorti.

Kruška „Lipanjsko zlato“ – Slatko je do blago kiselog okusa i vrlo aromatična. Rana je ljetna sorta a odlikuje se dobrom otpornošću prema mrazu, suši i krastavosti ploda. Dozrijeva krajem lipnja a plodovi su srednje veliki (70 g). Zlatno žute je boje s izraženim crvenilom na sunčanoj strani.



Slika 2. Sorta kruške Lipanjsko zlato

Kruška „Conference“– Slatko je do blago kiselog okusa i jače izražene ugodne arome i mirisa. Dozrijeva od početka do kraja druge polovice rujna. Podrijetlom je iz Engleske, a u vrijeme berbe mutno je zelene temeljne boje koja je na većem dijelu površine ploda prekrivena tzv. „hrđastom“ prevlakom. Rana je ljetna sorta, a odlikuje se dobrom otpornošću prema mrazu, suši i krastavosti ploda. Dozrijeva krajem lipnja, a plodovi su srednje veliki do veliki (140 – 240 g).



Slika 3. Sorta kruške conference

Kruška „Williams“ - Slatko je kiselog, skladnog i punog okusa sa specifičnom i prilično jako izraženom muškatnom aromom. Porijeklo je iz Engleske, a dozrijeva u drugoj polovici kolovoza. Plodovi su srednje veliki do veliki (160 - 260 g). Izražene je temeljne svjetlo zelene boje u vrijeme berbe, a dozrijevanjem prelazi u limunsko žutu s laganim crvenilom na sunčanoj strani.



Slika 4. Sorta kruške Williams

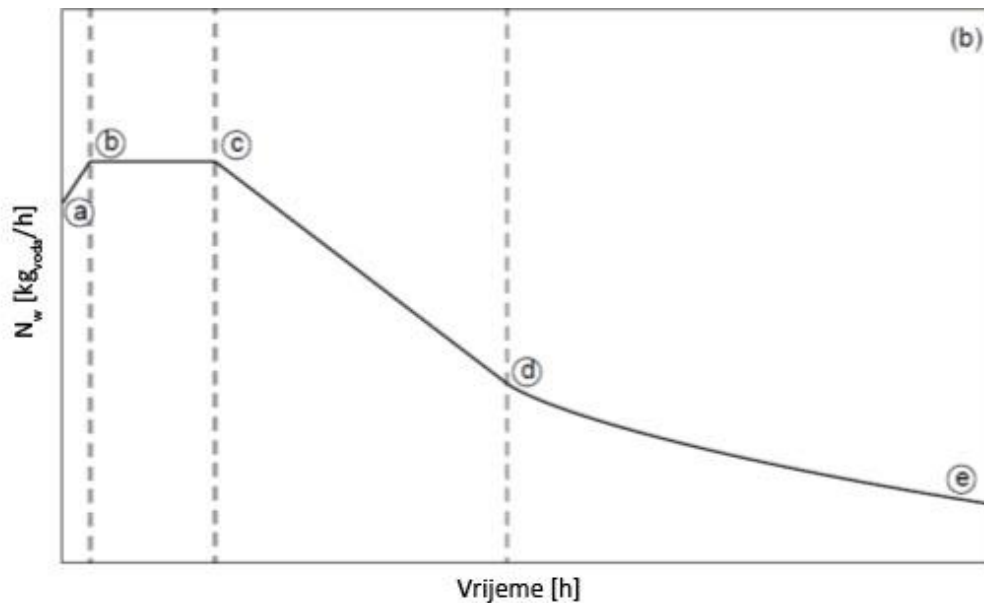
## 2.2 Sušenje

Sušenje cerealijskih, voćnih, povrćnih, ribe i mesa je jedna od najstarijih i vjerojatno najraširenijih metoda konzerviranja hrane. Sušenje može biti prirodno i umjetno. Kod prirodnog sušenja koristi se energija zračenja sunca i prirodno strujanje zraka za uklanjanje vode iz namirnice. Umjetno sušenje se odvija pod kontroliranim uvjetima (Lovrić, 2000). Konzerviranje sušenjem se često primjenjuje u prehrambenoj industriji. Mikroorganizmi koji uzrokuju kvarenje i truljenje ne mogu rasti i razmnožavati se bez vode (Genakopolis, 1993).

Sušenjem u hrani nastaju velike promjene. To su smanjenje moći rehidracije, nenzimatsko posmeđivanje i gubici važnih sastojaka. Iako i za vrijeme konstantne brzine sušenja dolazi do promjena u namirnici, do najvećih promjena dolazi kod perioda padajuće brzine sušenja (Lovrić, 2000). Tijekom sušenja voće gubi vodu, te dolazi do fenomena skupljanja. Ono je definirano kao ukupno smanjenje volumena, površine ili debljine prehrambenog materijala podvrgnutog sušenju. Tijekom sušenja mijenja se i poroznost materijala koji se suši. To je prvenstveno lokalni fenomen koji ovisi o lokalnom udjelu vode i narušavanju strukture materijala, posebice pora. Smanjenjem volumena i promjenom poroznosti, mijenjaju se i teksturna svojstva osušenog voća. Do najvećih promjena dolazi kod tvrdoće i elastičnosti. Najveći porast tvrdoće očekuje se na samoj površini izloženoj vrućem zraku ili drugom mediju u kojem se suši. Do pojave stvrdnjavanja vanjskog sloja dolazi zbog najmanjeg udjela vlage u vanjskom sloju voća (Xiao, 2008). Tijekom procesa sušenja prehrambenog materijala uz vodu migriraju i u njoj otopljene tvari. Zagrijavanjem ili nekom drugom nekrozom tkiva mijenjaju se svojstva staničnih stijenki i one postaju propusnije za veće molekule otopljene u vodi. To dovodi do nakupljanja tvari na površini namirnice, što za posljedicu ima ubrzavanje

degradativnih reakcija, otvrdnjivanje i kvrčenje površinskog sloja (Lovrić, 2000). Pore su nepravilnog oblika i nasumično raspoređene unutar materijala. S obzirom na veličinu pora, dijele se na porozne ( $d \geq 10^{-7}$  m) i kapilarne ( $d \leq 10^{-7}$  m). Voće i povrće imaju i poroznu i kapilarnu strukturu. Kod takvih materijala postoje međuprostori, kapilare i šupljine ispunjene zrakom. Kroz njih putuje voda pomoću nekoliko mehanizama koji djeluju na različite načine. Većina hrane se može podijeliti na krutu kapilarno poroznu i na kapilarno porozne koloide (Bruin i sur., 1980).

Proces sušenja zrakom kod konstantnih uvjeta okoline može se podijeliti na period konstantne brzine sušenja i na jedan ili više padajućih brzina sušenja. Na temelju toga namirnice se mogu podijeliti na higroskopične i nehigroskopične. Za nehigroskopične je karakteristično da je parcijalni tlak u njima jednak tlaku pare vode. Kod higroskopičnih materijala parcijalni tlak vode postaje manji od tlaka para vode kada se postigne kritična količina vode. Prvi period sušenja je period konstantne brzine sušenja i za vrijeme tog perioda uklonjena voda s površine se neprestano nadograđuje kapilarnim tokom. Kraj perioda konstantne brzine nastupa kada dotok vode više ne omogućava zasićenje površine. U prvom periodu padajuće brzine pretpostavlja se da se prijenos s razine u materijalu kod kojeg prevladavaju uvjeti zasićenja prema površini odvija kao prijenos plinske faze, a s površine u okolni zrak prijenos kroz film plina. Drugi period završava kada u središtu materijala nema više dovoljno vode da se održi tlak zasićenja. U nehigroskopičnim namirnicama je to kraj sušenja, a kod higroskopičnih materijala to odgovara kada je u središtu sadržaj vlage jednak kritičnoj vrijednosti vlage. Kod higroskopičnih namirnica tada nastupa drugi period padajuće brzine sušenja. Kod tog perioda tlak vode u hrani je manji od tlaka zasićenja. U ovom periodu sušenje se odvija desorpcijom (Lovrić, 2000).



Slika 5. Teoretska krivulja pada vrijednosti brzine sušenja (Araya-Farias, M. i sur., 2009).

Sušenje se najčešće provodi u struji zagrijanog zraka. Toplina se prenosi konvekcijom iz zraka na površinu hrane i onda dalje kondukcijom unutar hrane. Sušenje se može provesti tako da se toplina na hranu prenosi kontaktom s grijanom površinom. Primjena mikrovalova i radijske frekvencije u sušenju je ograničena. Sušenje smrzavanjem se provodi tako da se hrana smrzne i led onda ukloni sublimacijom pri vrlo niskom tlaku. Kod osmotskog sušenja komadići hrane uranjaju se u hipertoničnu otopinu (Magaris i sur., 2008). Hrana se može sušiti i desikantima, ali oni se upotrebljavaju za posebne svrhe i to uglavnom dosušivanje hrane u zatvorenoj ambalaži (Lovrić, 2000). Infracrveno sušenje se u prehrambenoj industriji koristi za uklanjanje površinske vode sa kristala soli ili šećera te male količine vode iz čestica s niskim udjelom vode. Materijal se postavlja u tankim slojevima ispod infracrvenih grijača. Sušenje infracrvenom energijom može se upotrijebiti u vakuum sušarama (Ježek i sur., 2006). Koeficijenti prijenosa mase su visoki kod infracrvenog sušenja i potrošnja energije je mala. Zrak je transparentan za infracrveno zračenje pa

se ova vrsta sušenja može koristiti kod sobnih temperatura zraka. Oprema za infracrveno sušenje može biti kompaktna i automatizirana za procesne uvjete zbog brzog zagrijavanja i opasnosti od pregrijavanja materijala koji se suši (Saka i sur., 1994).

### **2.2.1 Sušenje kruške**

Sušenjem se u voću smanjuje aktivitet vode, a posljedično i razvoj mikroorganizama i neželjene enzimatske promjene. Zbog smanjenja mase i volumena proizvoda olakšani su postupci rukovanja, skladištenja i transporta (Guiné, 2006). Sušena kruška se može konzumirati ili koristiti u proizvodnji pekarskih proizvoda, umaka i kompota, a mogu je jesti dijabetičari, stariji ljudi, ali i mala djeca (Park i sur., 2002). U nekim dijelovima svijeta od sušene kruške se priprema čaj.

Sušenje sunčevom energijom je prirodan i jeftin način sušenja, ali loše strane su ovisnost o vremenskim uvjetima i potreba za velikim površinama za izlaganje sirovina suncu. Zbog toga se javila potreba za primjenom alternativnih postupaka sušenja hrane, među kojima je najpopularnije sušenje konvekcijom (Guiné, 2006), u kojem se strujanjem zagrijanog zraka prenosi toplina i suši materijal. Postupci sušenja uključuju simultane izmjene vode i mase, kao i neke termodinamičke pojave te značajne modifikacije fizičkih svojstava prehrambenih proizvoda. Skupljanje uslijed sušenja dovodi do promjena u gustoći i poroznosti materijala, koji su ključni za izmjenu vode, teksturu i kvalitetu hrane (Guiné, 2006).

Prethodna istraživanja su pokazala da sušenje na suncu značajno smanjuje čvrstoću i lomljivost tkiva kruške, a povećava kohezivnost, elastičnost i adhezivnost (Ferreira i sur., 2008). U vakuoli stanice sušenog materijala dolazi do najvećeg gubitka vode, što uzrokuje smanjenje turgora u stanicama i njezino skupljanje. Tekstura

svježeg tkiva kruške je odraz adhezije među stanicama, koja uzrokuje njihovo čvrsto priljublivanje jednih uz druge, dok je kod sušenja na suncu tkivo kruške omekšano i ima gumenastu strukturu zbog razdvajanja stanica. Do ovih promjena u teksturi dolazi zbog promjena u mikrostrukтури mesa kruške uslijed gubitka vode i ostalih sastojaka voća, za vrijeme sušenja sunčevom energijom, s naglaskom na sužavanje stanica parenhima, međusobno razdvajanje stanica i oštećenja staničnih stijenki (Ferreira i sur., 2008).

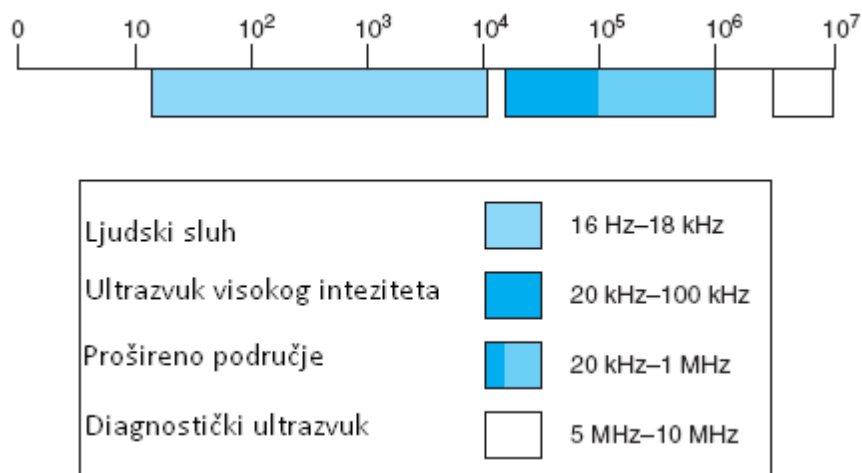
Osmotsko sušenje je učinkovita metoda uklanjanja vlage iz krute hrane i ne uzrokuje promjene agregatnog stanja vode (Park i sur., 2002). Koristi se kao predtretman za djelomično sušenje voća i povrća, a zasniva se na uranjanju sirovine u hipertoničnu otopinu šećera. Uslijed višeg osmotskog tlaka i nižeg aktiviteta vode u otopini, dolazi do prijelaza vode iz sirovine u otopinu. Ovim načinom sušenja se može ukloniti do 50 % vode iz sirovine bez smanjenja njezine nutritivne vrijednosti te promjene boje i arome.



## 2.3 Ultrazvuk

### 2.3.1 Fizikalna svojstva ultrazvuka

Ultrazvučni valovi su valovi čija je frekvencija iznad 16 kHz te su zato nečujni za ljudsko uho (Brnčić i sur., 2009). S obzirom na intenzitet, ultrazvuk se dijeli na ultrazvuk niskog i ultrazvuk visokog intenziteta. Pri visokim frekvencijama, obično od 2 do 20 MHz, postižu se niski intenziteti, koji iznose od  $100 \text{ mW/cm}^2$  do  $1 \text{ W/cm}^2$  (Leadley i Williams, 2006). Pri ovim uvjetima ne dolazi do fizičkih oštećenja materijala, kao ni do kemijskih promjena ispitivanog sustava. U prehrambenoj industriji se koristi kao analitička metoda. Ultrazvukom niskih intenziteta uspješno se određuju visokoznost, nepoželjna strana tijela, visina stupca kapljevine, brzine protoka u cjevovodima, koncentracija i sastav hrane. Pri nižim frekvencijama, od oko 20 do 100 kHz, postižu se visoki intenziteti, koji iznose od 10 do  $1000 \text{ W/cm}^2$  (Leadley i Williams, 2006).



Slika 6. Prikaz ultrazvučnog spektra (Mason i sur., 2003).

U prehrambenoj industriji se ultrazvuk koristi pri različitim procesima u obradi hrane, kao što su: sušenje, sterilizacija, filtracija, inaktivacija mikroorganizama,

kristalizacija, ekstrakcija, homogenizacija, stimulacija oksidacije te emulgiranje. Prolaskom ultrazvučnog vala u tekuću sredinu nastaju longitudinalni valovi i naizmjenični ciklusi sažimanja i ekspanzije. Izmjenjivanje tlaka uzrokuje kavitacije, odnosno, formiranje mjehurića plina u tekućini, koji postižu veću površinu tijekom ekspanzije, čime se povećava difuzija plina i mjehurići još više ekspandiraju. Plin koji se stvara u mjehurićima može biti para tekućeg medija, neki drugi plin ili njihova kombinacija. Pri nižim intenzitetima, odnosno, nižim akustičnim tlakovima, difuzija plina kroz granicu između tekućeg medija i unutrašnjosti mjehurića uzrokuje naizmjenično povećanje i smanjenje volumena mjehurića. Ukoliko su te oscilacije umjerene, radi se o stabilnoj kavitaciji. Djelovanjem ultrazvuka višeg intenziteta dolazi do brže difuzije plina u mjehurić nego iz mjehurića u tekući medij, zbog čega se volumen mjehurića naglo povećava i dolazi do njegovog raspada, odnosno implodije, pri čemu se oslobađa toplina i tlak. Kad energija ultrazvuka nije dovoljna za održavanje plinske faze, u mjehuriću dolazi do brze kondenzacije. Sudaranjem tih kondenziranih molekula velikom brzinom, dolazi do nastajanja šok valova i stvaranja visokih temperatura (do 5500 K) i tlakova (do 100 MPa). Sposobnost ultrazvuka da izazove kavitacije ovisi o frekvenciji i intenzitetu ultrazvučnih valova, viskoznosti, površinskoj napetosti i gustoći proizvoda te temperaturi, tlaku i vlažnosti okoline (Brnčić i sur., 2009).

### **2.3.2 Predtretman ultrazvukom za sušenje**

Predtretman ultrazvukom uključuje uranjanje voća u vodu ili hipertoničnu vodenu otopinu u kojoj se ultrazvuk koristi. Prednost korištenja ultrazvuka je mogućnost obrade pri temperaturi okoline, bez nužnog zagrijavanja, zbog čega ne

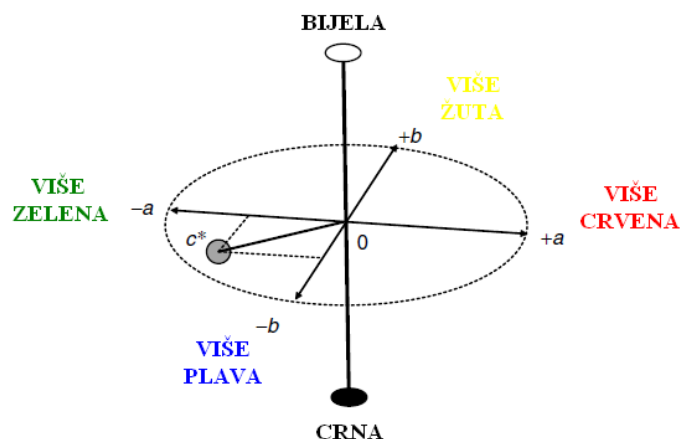
dolazi do degradativnih promjena (Mason, 1998). Prethodna istraživanja su pokazala da ultrazvuk uzrokuje formiranje mikrokanalića bez narušavanja makrostrukture voćnog tkiva. Obrada ultrazvukom se odvija pri sobnoj temperaturi, što pomaže očuvanju nutritivnih sastojaka, senzorskih karakteristika i smanjenju nepoželjnih promjena na strukturi voća. Kao posljedica djelovanja kavitacijskih mjehurića stvaraju se mikrokanalići u tretiranom materijalu, kroz koje se lakše izdvaja vlaga tijekom sušenja. Ova metoda kod sušenja je obećavajuća budući da ne utječe na glavne karakteristike i kvalitetu proizvoda (Mason i sur., 2003). Ultrazvuk visokog intenziteta stvara varijabilne tlakove na granici faza kruto-plinovito te povećava površinsko isparavanje vlage. Akustična energija uzrokuje oscilacije brzina i mikrostujanja na granici faza, što može utjecati na granični sloj difuzije (Gallego-Juarez i sur., 1999). Ultrazvučni valovi mogu izazvati brzu izmjenu kompresije i ekspanzije. Sile koje su uključene u ovaj mehanički proces mogu biti veće od površinske napetosti koja održava vlagu u kapilarama voća stvarajući mikroskopske kanale koji olakšavaju uklanjanje vlage. Deformacija poroznih materijala, kao što je voće, uzrokovana ultrazvučnim valovima, ima za posljedicu stvaranje mikroskopskih kanala koji smanjuju granični sloj difuzije i povećavaju konvekcijski prijenos mase u voću. (Fuente-Blanco i sur., 2006). Sušenje potpomognuto ultrazvučnim zračenjem može se provesti pri nižim temperaturama nego konvencionalno sušenje, čime se smanjuje oksidacija i propadanje materijala (Brnčić i sur., 2009). Kako bi se obrada materijala provela pri optimalnoj temperaturi, nužno je optimizirati vrijeme tretmana, intenzitet ultrazvuka i promjer sonde. Uporabom ultrazvuka pri sušenju žitarica u ljuski, cijelog zrna i samljevenog zrna pšenice dokazano je da se povećala brzina sušenja, koja je čak izraženija pri nižim temperaturama (Brnčić i sur., 2009).

## 2.4 Fizikalna svojstva namirnica

Boja i tekstura su dva bitna svojstva koja se povezuju s kvalitetom namirnica. Pokazatelji su poželjnih i nepoželjnih promjena koje se mogu pojaviti kao posljedica zrenja, obrade ili kvarenja namirnice (Planinić, 2008).

### 2.4.1 Boja

Boja je optičko svojstvo koje utječe na odabir obrade te na privlačnost odnosno ljudski izbor hrane na prvi pogled. U cilju poboljšanja određivanja boje, kvalitete i izgleda namirnice, mnogi znanstvenici pokušavaju razviti tehnologiju koja mjeri i predstavlja boju na računalo. Za mjerenje boje koriste se mjerni instrumenti (kolorimetri i kromometri) visoke osjetljivosti i jednostavni za upotrebu. Matematički sustav koji se najčešće koristi u prehrambenoj industriji za mjerenje boje je CIE- $L^*a^*b^*$  sustav (Yost i sur., 2006; Maskan, 2001). Ovaj sustav je vrlo učinkovit u određivanju razlike boja i praćenju promjene boje tijekom obrade i skladištenja hrane. Na slici 7. Prikazan je shematski dijagram koji pokazuje CIE- $L^*a^*b^*$  sistem.



Slika 7. Shematski dijagram CIELAB sustava izražavanja boje (Chen i Mujumdar, 2008).

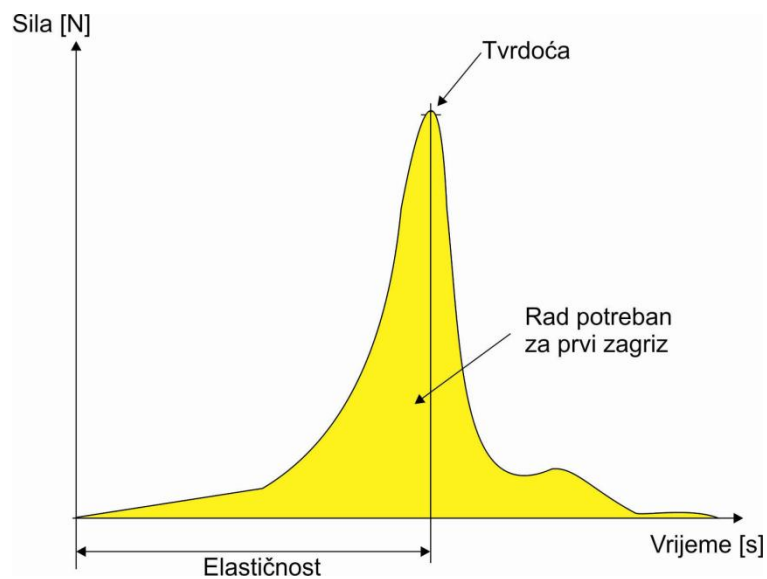
Određena boja ima određeno mjesto u koordinatnom sustavu kojeg predstavljaju tri međusobno okomite osi označene kao  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ .  $L^*$  os predstavlja koordinate svjetline s vrijednostima u rasponu od 0-100.  $a^*$  je koordinata obojenja s pozitivnim i negativnim smjerom, odnosno s vektorom crvene boje  $+a^*$  i vektorom komplementarne zelene boje  $-a^*$ .  $b^*$  je isto koordinata obojenja s pozitivnim i negativnim smjerom tj. vektorom žute boje  $+b^*$  i vektorom plave boje  $-b^*$  (Chen i Mujumdar, 2008). Prednost tog sistema je njegova usklađenost s percepcijom ljudskog oka odnosno, udaljenosti između dvije točke u koordinatnom sustavu (razlika između dvije boje). Mjera tolerancije ljudskog oka za razlikovanje boja definira se kao fizikalna vrijednost  $\Delta E^*$  koja je vrlo bitna za senzorsko ocjenjivanje boje (Li, 1998).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

#### 2.4.2 Tekstura

Teksturalna svojstva ubrajaju se u fizikalna svojstva namirnica te uključuju niz parametara kao što su kohezivnost, viskoznost, elastičnost, tvrdoća, čvrstoća, itd. Tekstura ima važnu ulogu kod potrošača ali nakon što se namirnica konzumira, te kao parametar senzorske kvalitete utječe na oslobađanje okusa koje je povezano s početnom strukturom i promjenom teksture tijekom žvakanja odnosno mehaničkim svojstvima namirnica (Brnčić i sur., 2006). Tvrdoća i hrskavost su glavne karakteristike sušenog voća kod potrošača (Konopacka i sur., 2001). Instrumentalno određivanje teksturalnih svojstava hrane provodi se pomoću različitih specifičnih

mjernih uređaja koji oponašaju uvjete žvakanja, čiji odabir ovisi o strukturalnim svojstvima hrane i o ciljanom svojstvu teksture. Mjerni instrumenti koji koriste silu podijeljeni su u skupine s obzirom na metodu mjerenja kao što su ubod, ekstruzija, kompresija, rezanje, itd. Sila  $F$ , deformacija  $D$  i vrijeme su temeljne varijable koje se koriste kod proučavanja mehaničkih svojstava namirnica (Planinić, 2008). Na slici 8 prikazan je karakteristični profil za određivanje teksture.



Slika 8. Karakterističan profil teksturalnih svojstava sušenog proizvoda (Brnčić i sur., 2010).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1 Materijali**

##### **3.1.1 Priprema uzoraka**

Tijekom provedbe eksperimenata, temperatura zraka u laboratoriju je iznosila  $22 \pm 0,4$  °C. Relativna vlažnost zraka kretala se od 60 do  $65 \pm 0,1$  %. Vrijednosti su dobivene korištenjem termohigrometra T250 (Trotec, Njemačka). Svi uzorci su od početka eksperimenata skladišteni u hladnjaku na temperaturi od  $4 \pm 1$  °C.

Iz svježih kruški sorte Williams (Hrvatska) uz pomoć skalpela i pomičnog mjerila izrezani su listići u obliku kvadra, dimenzija  $3 \times 3 \times 0,5$  cm. Izrezani listići su dalje obrađivani, a vrijeme izloženosti zraku bilo je minimalno. Zbog statističke obrade i ujednačenosti u masi tijekom sušenja, uzorci su bili od  $16 \pm 1$  g ukupne mase po 4 listića.

#### **3.2 Metode**

##### **3.2.1 Obrada ultrazvukom**

Za obradu ultrazvukom korišten je uređaj nominalne snage od 400W, frekvencije 24 kHz (Hielcher, Njemačka). Korištene su ultrazvučne sonde promjera 22 mm izrađene od titana. U čašu od 250 mL ulilo se 100 mL destilirane vode te je ubačeno otprilike  $16 \pm 1$  g kruške (4 uzorka). Ultrazvučna sonda uronjena je 0,5-1 cm u vodu pri čemu je vrijeme tretiranja uzoraka bilo 5 min, a korištene amplitude su bile od 25%, 50% i 100% što znači da je u prvom slučaju nominalna izlazna snaga bila 100 W, u drugom 200 W i u trećem slučaju 400 W. Ciklus je podešen na 1, što

predstavlja puno vrijeme obrade ultrazvukom. Nakon isteka vremena uzorci su lagano obrisani kuhinjskim papirom, čime je uklonjena voda s površine uzoraka. Kontrolni uzorak nije obrađivan ultrazvukom, već je direktno stavljen na sušenje.



Slika 9. Ultrazvučni uređaj UP400S (Hielscher, Njemačka) nominalne izlazne snage od 400 W.

### 3.2.2 Sušenje u infracrvenoj sušari

Sušenje uzoraka provodilo se na uređaju LJ16 (Mettler, Njemačka) pri temperaturi od 70 °C. Masa uzoraka se mjerila svakih 5 min. Nakon uspostave ravnotežnog stanja, tj. kada je masa uzoraka ostala ista tijekom tri uzastopna mjerenja, uzorci su se vadili iz sušare, te su se provodila analitička ispitivanja. Sušila su se četiri uzorka istovremeno, odnosno četiri paralele za svaku pojedinu obradu ultrazvukom (25%, 50% i 100%) i uzorci koji nisu bili obrađeni.



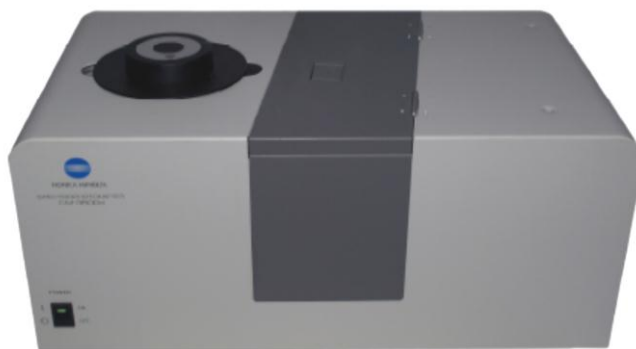


Slika 10. LJ16 Infracrvena sušara (Mettler – Toledo, Švicarska).

### 3.2.3 Određivanje boje

Određivanje boje uzoraka vršilo se difuzno reflektirajućom spektrofotometrijom na kolorimetru CM-3500d (Konica- Minolta, Japan), pri čemu je odabrana maska otvora 8 mm kao optimalna s obzirom na veličinu uzoraka i geometrija od  $[d/8]$ . Sva mjerenja vršena su u SCE (Specular Component Excluded). Uzorak koji se ispitivao postavljen je tako je prekrpio cijeli otvor, ter se poklopio s valjkom potpuno crne boje i maksimalne apsorpcije svjetlosti. Kao rezultat dobivena je refrakcija uzorka u čitavom području vidljivog spektra, te  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  vrijednosti iz kojih je izračunata vrijednost  $\Delta E^*$  po formuli (1) u kojoj su nam potrebni i parametri referentnog uzorka, odnosno uzorka netretiranog ultrazvukom ( $L^*_{ref}$ ,  $a^*_{ref}$ ,  $b^*_{ref}$ ).

Kolorimetrijske vrijednosti dobivene su uz pomoć Spectramagic NX programa (Konica-Minolta, Japan).



Slika 11. CM-3500d kolorimetar (Konica – Minolta, Japan).

### **3.2.4 Fotografiranje uzorka**

Svježi i osušeni uzorci postavljeni su na bijelu pozadinu, te fotografirani. Kod svih uzoraka korišteno je difuzno osvjetljenje od 600 luxa, ISO 100, F 5,4. Fotografiranje je obavljeno korištenjem aparata E-520 (Olympus, Japan) sa uzorcima postavljenim na udaljenost od 50 cm.

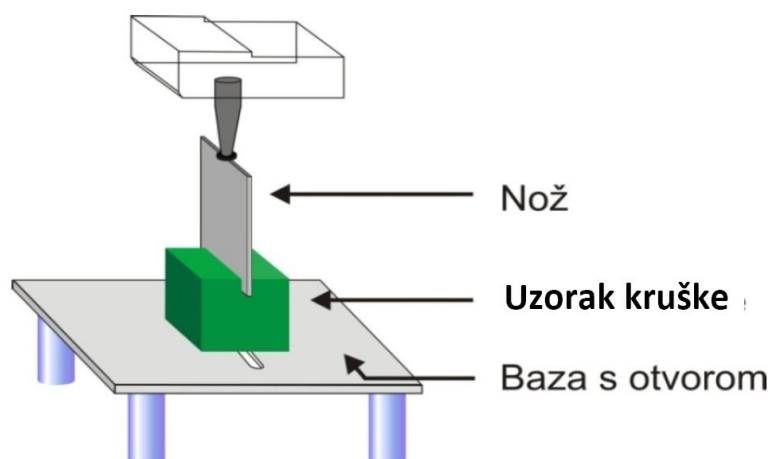
### **3.2.5 Analiza teksture**

Analiza teksture provedena je na instrumentalnom analizatoru teksture TA.HDPlus (Stable Micro Systems, Velika Britanija). Analizator teksture opremljen je utegom i predviđen za maksimalno opterećenje od 25 kg. Prije instrumentalne analize teksturnih parametara podešena je dubina rezanja na 30 mm, uz brzinu rezanja od 1 mm/s, pri čemu je analiza trajala maksimalno 10 sekundi. Analizator teksture prikazan je na slici 12.



Slika 12. Analizator teksture TA.HDPlus (Stable Micro Systems, Velika Britanija).

Uzorak je zatim postavljen na postolje i pomoću Blade set nastavka rezan na dva dijela. Blade set prikazan na slici 10, sastoji se od postolja s prorezom na koji se stavlja uzorak i nožem koji presijeca uzorak. Tvrdća je izračunata kao maksimalna sila primijenjena prilikom rezanja uzorka. Rad potreban za žvakanje računat je kao površina ispod krivulje ovisnosti sile o putu, sve do krajnje točke prodora sonde u uzorak.



Slika 13. Eksperimentalni postav za određivanje parametara teksture sušene kruške (Blade set).

Sve analize i proračuni rađeni su u programu Texture Exponent 5.0 (Stable Micro Systems, Velika Britanija). Statistička obrada podataka provedena je u programu Statistica 10 (Statsoft, SAD).

### 3.2.6 Analiza raspodjele topline

Za analizu raspodjele topline tijekom obrade uzoraka ultrazvukom i tijekom sušenja korištena je infracrvena termokamera HSI300 (Wahl, Njemačka) prikazana na slici 12. Kamera je bila fiksno postavljena na udaljenost od 1 m od uzorka, te je ručno podešen fokus. Uzorci su fotografirani nakon obrade ultrazvukom pri različitim amplitudama i nakon sušenja. Na kameri su prikazane minimalna i maksimalna temperatura površine. Rezolucija senzora bila je 100  $\mu\text{m}$ , a osjetljivost 0,1  $^{\circ}\text{C}$ .



Slika 14. Termokamera HSI 3000 (Wahl, Njemačka).

Dobivene fotografije obrađene su u programu Wahl Imager, gdje je podešena emisivnost za staklo na 0,92, a emisivnost za uzorke na 0,94 (Veraverbeke i sur., 2006).

## 4. REZULTATI

Eksperimentalno dobiveni podaci sadržaja vlage u ovisnosti o vremenu sušenja za ispitivane amplitude (0 % - odnosi se na netretirane uzorke, 25 %, 50 %, i 100 %) prebačeni su u MS Excel programski paket. Podaci su statistički obrađeni u Statistica 10,0 programu, pri čemu je obavljena t-test, ANOVA analiza.

Spektralni dijagram osušenih uzoraka prikazan je na slici 16. Na temelju dobivenih vrijednosti za boju ( $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ ) podaci su direktno u programu Spectramagic konvertirani u XLS format. Pri tomu je na temelju dobivenih podataka uz pomoć formule 1, prikazane u eksperimentalnom dijelu izračunat  $\Delta E^*$  prikazan u tablici 2. Uz pomoć programa Statistica dobiveni su dijagrami prikazani na slikama 17. i 18., koji pokazuju ovisnost razlike u boji uzorka nakon sušenja, odnosno ovisnost svjetline uzorka nakon sušenja, o amplitudi ultrazvuka.

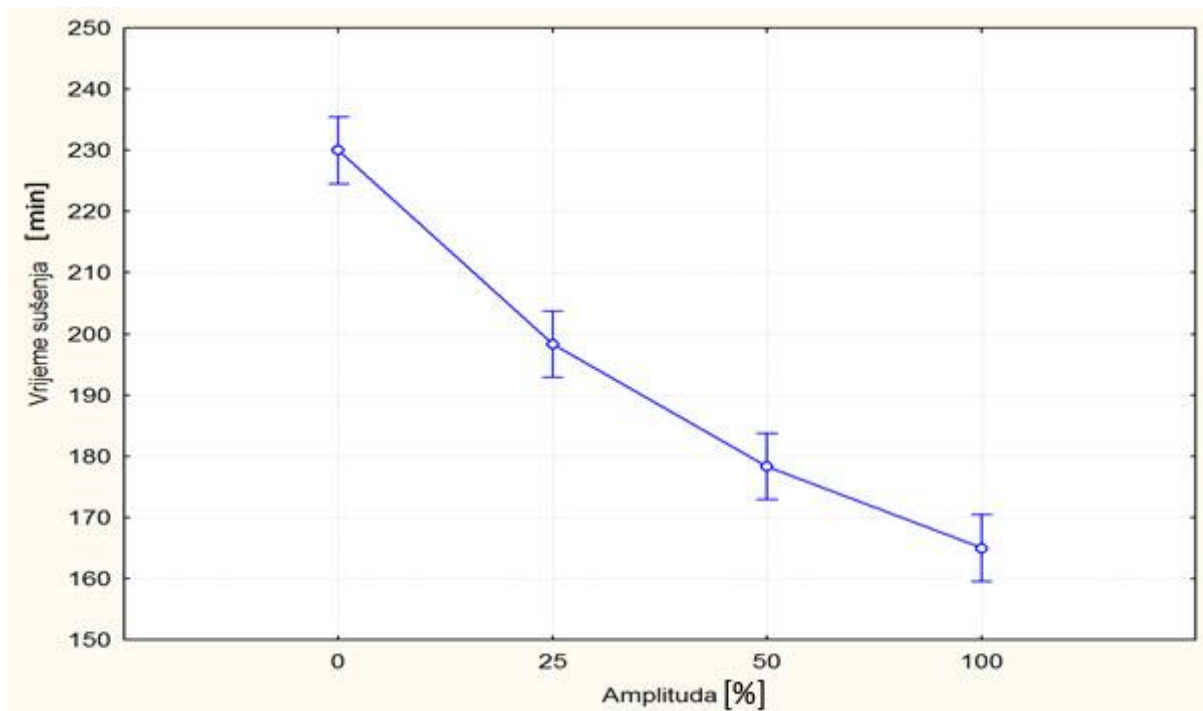
Rezultati dobiveni na analizatoru teksture obrađeni su u programskom paketu Texture Exponent, pri čemu su izmjereni najviši vrh (sila), površina ispod krivulje (rad) i udaljenost koju je sonda prešla do trenutka pucanja uzorka (elastičnost) što se može vidjeti na slici 19. Dobiveni podaci ubačeni su u program Statistica 10,0, te dalje analizirani na slikama 20.-22.

Na slici 23 prikazan je uzorak svježe kruške pripremljen za sušenje, dok su na slikama 24-26 prikazane fotografije osušenih uzoraka obrađenih ultrazvukom amplitude 25 i 50% te uzorak koji nije predobrađen ultrazvukom.

Raspodjela topline slikana termokamerom tijekom obrade ultrazvukom prikazana je na slici 27.

Dobiveni podaci o temperaturi vode tijekom tretiranja ultrazvukom su obrađeni u programu Statistica 10,0, a dobivene vrijednosti prikazane su u tablici 3 te na slici 28.

#### 4.1 Sušenje uzorka kruške

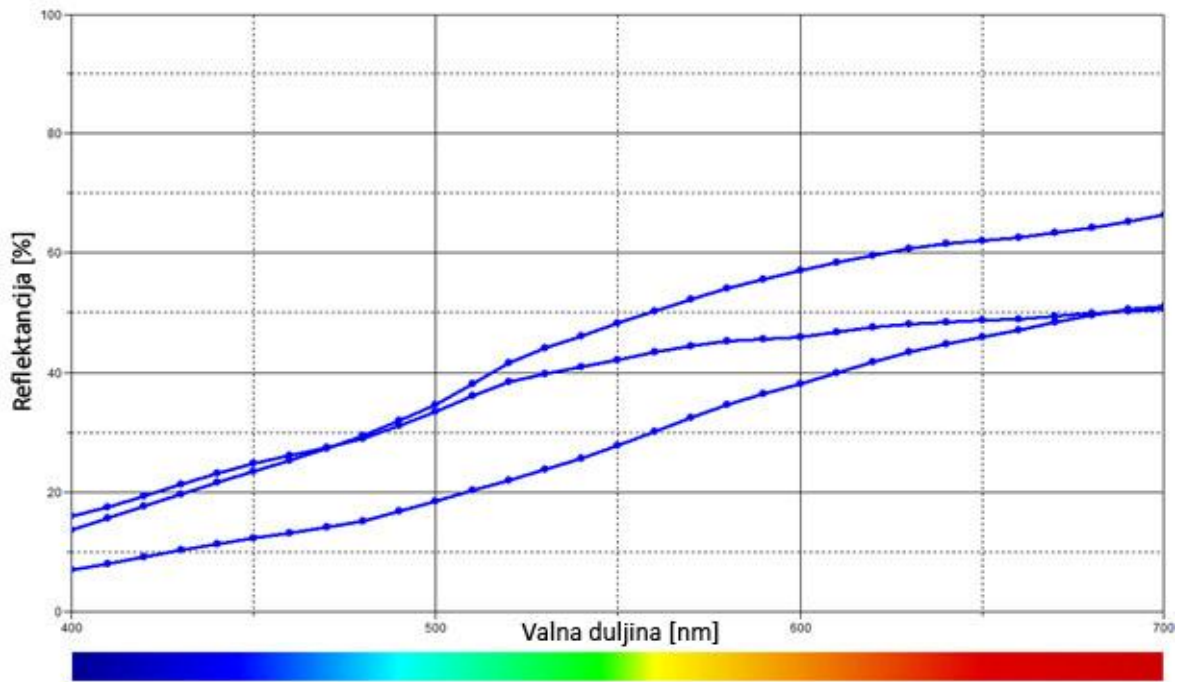


Slika 15 . Prikaz ovisnosti vremena sušenja (min) o primijenjenoj amplitudi ultrazvuka (%), metoda najmanjih kvadrata.

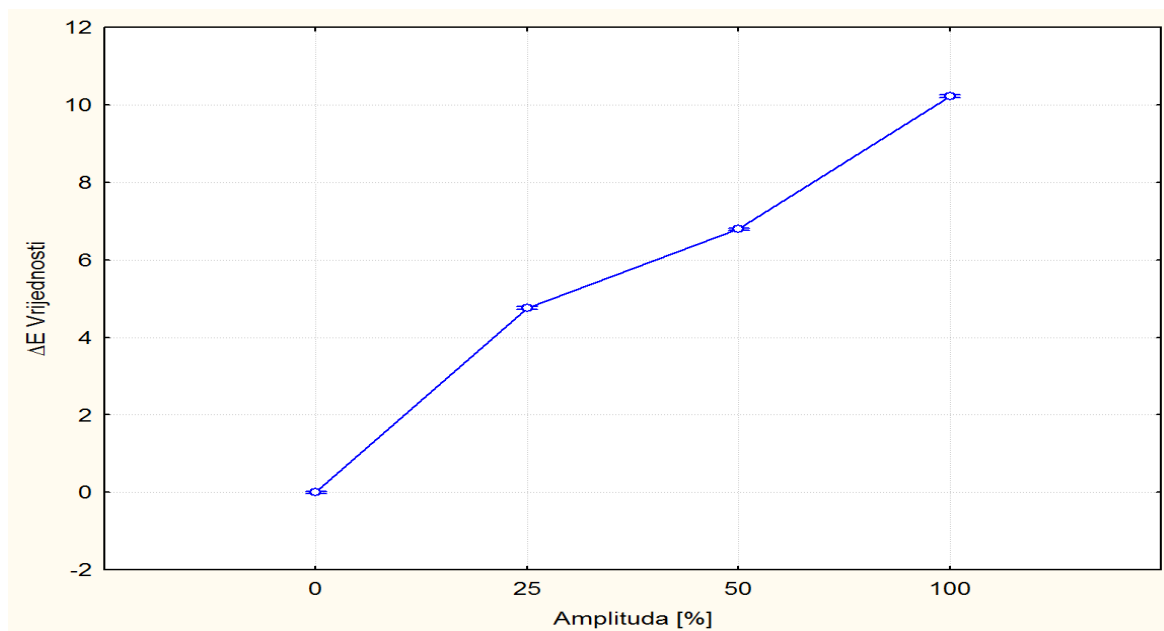
#### 4.2 Boja

Tablica 2.  $\Delta E^*$  vrijednosti izračunate s netretiranim uzorkom

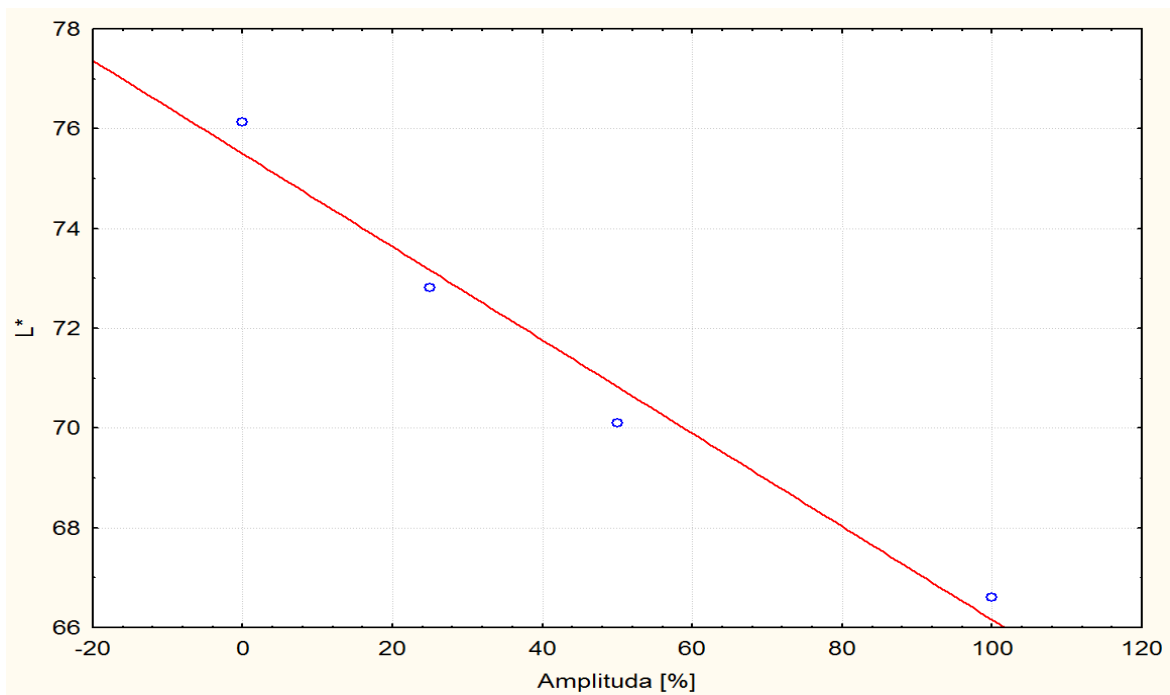
Amplitude ultrazvuka	Parametri određivanja boje			
	L*	a*	b*	$\Delta E^*$
Netretirani	76,13	1,46	25,6	–
25 %	72,81	4,63	26,84	4,75
50 %	70,1	1,06	22,55	6,77
100 %	66,61	5,61	28,72	10,23



Slika 16. Spektralni dijagram osušenih uzoraka kruške tretiranih pri 0, 50 i 100 % amplitude

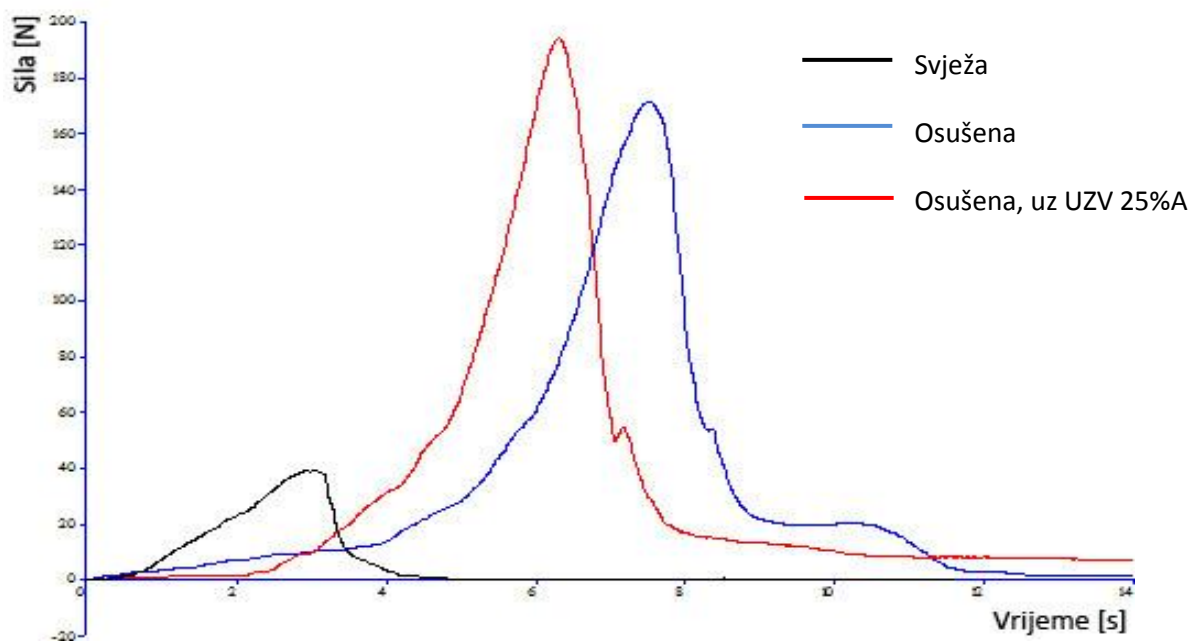


Slika 17. Ovisnost razlike u boji uzoraka nakon sušenja o amplitudi ultrazvuka



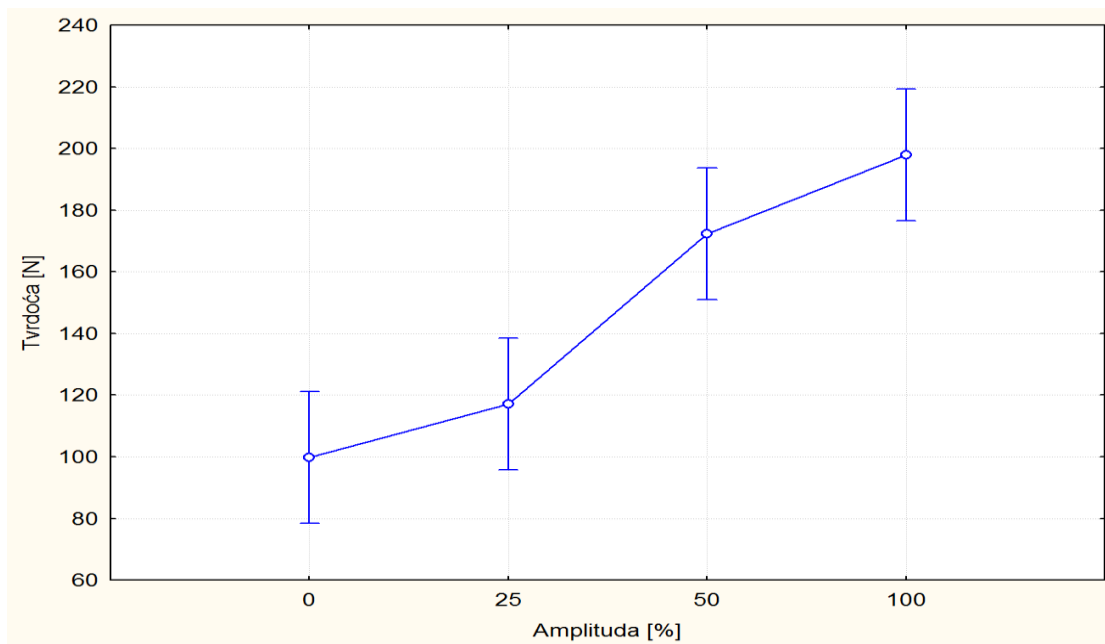
Slika 18. Ovisnost promjene svjetline uzorka nakon sušenja o amplitudi ultrazvuka

### 4.3 Instrumentalna analiza teksture uzorka

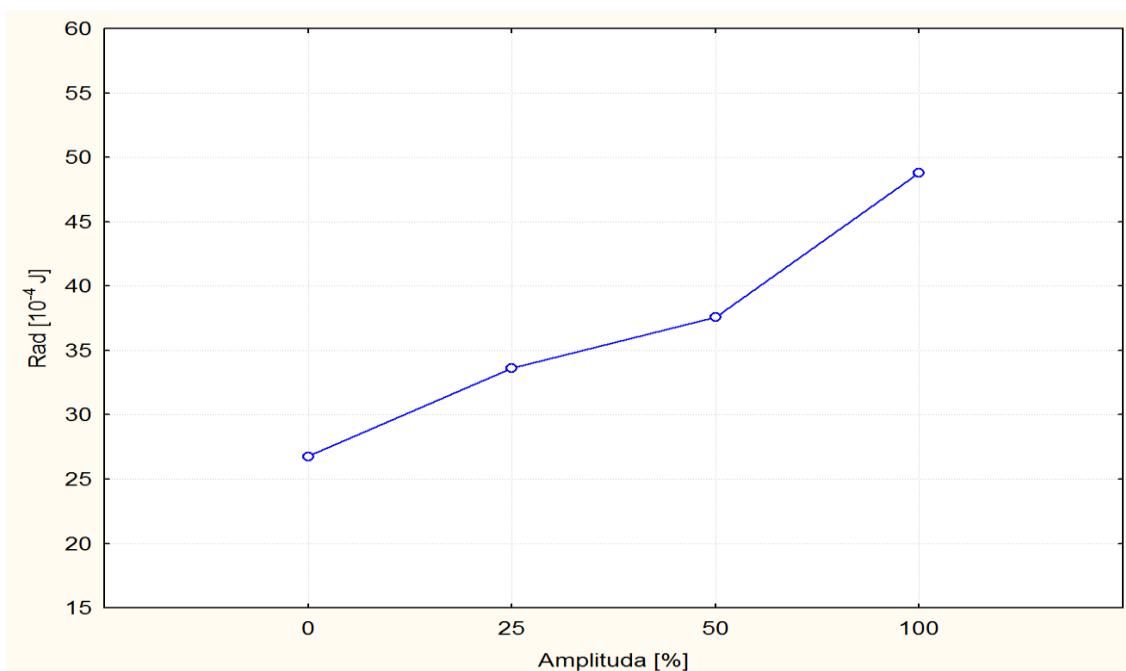


Slika 19. Analiza teksturnog profila listića kuške svježeg, osušenog i osušenog uz predobradu ultrazvukom.

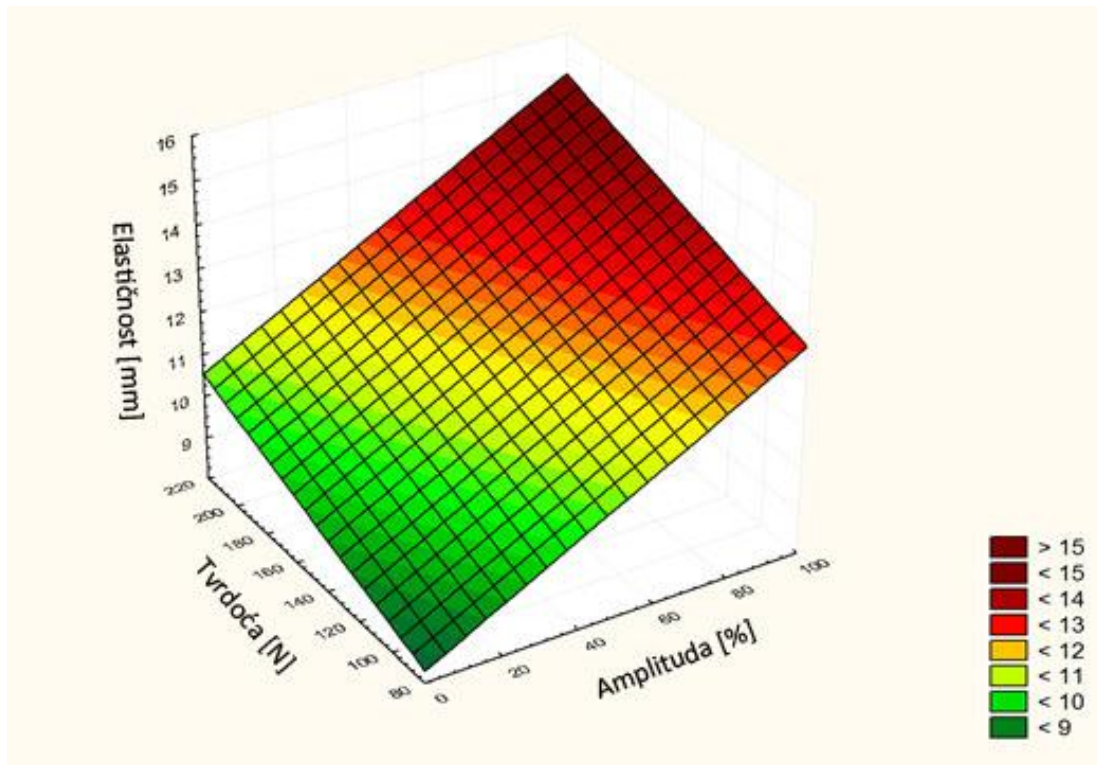




Slika 20. Ovisnost tvrdoće o amplitudi ultrazvuka.



Slika 21. Ovisnost rada o amplitudi ultrazvuka dobivena metodom najmanjih kvadrata.



Slika 22. Ovisnost elastičnosti o tvrdoći i amplitudi ultrazvuka.



Slika 23. Fotografija svježeg uzorka kruške



Slika 24. Fotografija osušenog uzorka bez obrade ultrazvukom

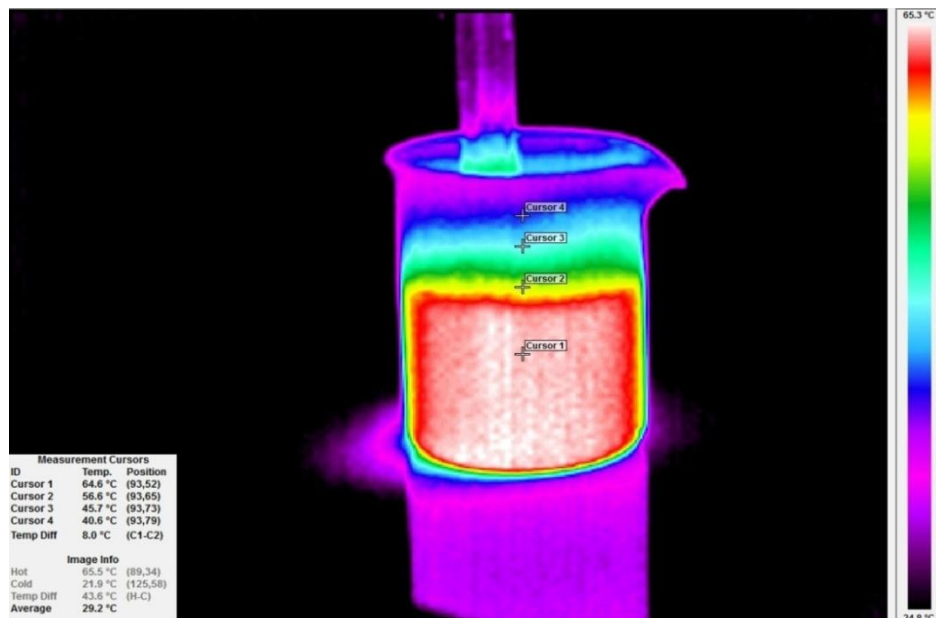


Slika 25. Fotografija osušenog uzorka s amplitudom ultrazvuka od 25%



Slika 26. Fotografija osušenog uzorka s amplitudom ultrazvuka od 50%

#### 4.4 Raspodjela topline tijekom obrade ultrazvukom

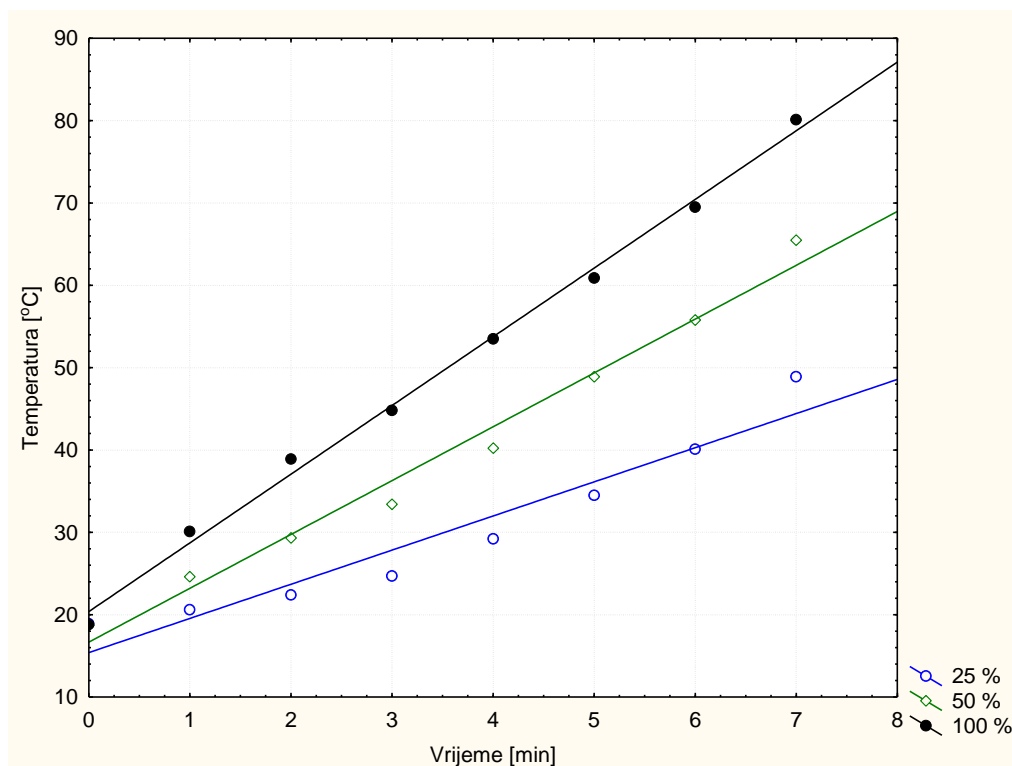


Slika 27. Prikaz minimalne i maksimalne temperature, te raspodjele topline u čaši nakon 5 min tretiranja ultrazvukom pri 50 % amplitude.

#### 4.5 mjerenje temperature vode tijekom tretiranja ultrazvukom

Tablica 3. Ovisnosti temperature vode o vremenu obrade ultrazvukom amplitude 25, 50 i 100%

Amplituda ultrazvuka (%)	Vrijeme obrade (min)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
25	20°C	20°C	22,5°C	25°C	29°C	35°C	40°C	59°C
50	20°C	22,5°C	30°C	32,5°C	40°C	49°C	55°C	65°C
100	20°C	30°C	39°C	45°C	53,5°C	61°C	70°C	80°C



Slika 28. Ovisnost temperature vode o vremenu obrade ultrazvukom, za amplitude 25 %, 50 % i 100 %, kod promjera sonde od 22 mm.

## 5. RASPRAVA

### 5.1 Vrijeme sušenja

Rezultati utjecaja amplitude na vrijeme sušenja prikazani su analizom osjetljivosti ANOVA (Tukey testom) kako bi se utvrdila značajnost pojedinih fizikalnih veličina unutar iste skupine (amplituda). Iz slike 15. vidljivo je povećanje utjecaja amplitude što se odražava intervalima pouzdanosti pri čemu se vrijeme sušenja smanjuje sa 230 minuta na 170 minuta. Do značajnog smanjenja dolazi već pri 25 % amplitudi, uz  $p = 0,000262$ , te se vrijeme sušenja dalje smanjuje povećanjem amplitude. Uz  $p(50) = 0,000231$  i  $p(100) = 0,0000875$  vidljivo je da najveći utjecaj na vrijeme sušenja ima maksimalna amplituda. Iz toga se vidi da se predobradom uzoraka ultrazvukom sušenje može provesti u kraćem vremenu te se tako štedi energija koja bi se utrošila na sušenje. Također se skraćuje vrijeme izlaganja kruške na temperaturi sušenja ( $70^{\circ}\text{C}$ ) i tako smanjuje štetan učinak temperature sušenja na biološki vrijedne tvari koje su termolabilne. Na slici 15 se vidi da na vrijeme sušenja najveći utjecaj ima maksimalna amplituda. Ipak, treba naglasiti da je maksimalna amplituda djelovanja ultrazvuka djelovala na uzorke tako da su se stvorile nepoželjne promjene u boji i teksturi.

### 5.2 Određivanje boje

Iz Tukey testa (post-hoc) analiza se vidi da primjenom veće amplitude dolazi do veće promjene u boji u odnosu na referentni uzorak. Isto tako p-vrijednost za odnos  $\Delta E$  vrijednosti i amplitude je 0 što znači da je utjecaj amplitude na boju uzorka statistički značajan.  $\Delta E$  vrijednosti za uzorke tretirane ultrazvukom s amplitudom od

25% najmanje se razlikuje od referentnog uzorka, ali ipak dolazi do značajne promjene boje. Kod obrade uzoraka ultrazvukom amplituda 50% i 100% dolazi do još većih promjena u boji, s tim da uzorci tretirani ultrazvukom najveće amplitude imaju najveću promjenu boje s tendencijom prema najvećem zatamnjenju. Ako bi se gledala samo promjena boje, najbolji predtretman ultrazvukom je na 25% amplitudi jer dolazi do najmanje promjene boje izražene na svjetlošću. No ako se u obzir uzme još i vrijeme sušenja, najoptimalnija amplituda ultrazvuka za obradu je 50% jer dolazi do zadovoljavajućeg smanjenja vremena sušenja, a promjene u boji nisu najveće. Na slici 18. vidi se ovisnost promjene u svjetlini uzoraka nakon sušenja o amplitudi ultrazvuka. Iz nje se vidi da tretiranjem uzoraka ultrazvukom s većom amplitudom dolazi od većeg zatamnjenja uzoraka. Tako je uzorak koji nije tretiran ultrazvukom najsvjetliji, a uzorak tretiran ultrazvukom s najvećom amplitudom najtamniji. Kod predtretmana ultrazvukom s amplitudama 25% i 50% L vrijednost se toliko ne smanjuje kao što se smanjuje kod predtretmana sa amplitudom 100%. To se i vizualno vidi iz fotografija uzoraka prikazanih na slikama od 24-26.

### **5.3 Tekstura**

Po Tukey HSD testu, pokazalo se da primjena amplitude ultrazvuka iznad 50% dovodi do statistički značajnog povećanja tvrdoće ispitivanih uzoraka kruške, s time da je  $p(25) > p(50) > p(100)$ . Vidljivo je da maksimalna amplituda najviše utječe na tvrdoću, uz  $p = 0,000510$ . Na slici 20. prikazana je ovisnost tvrdoće o amplitudi ultrazvuka, gdje je isto tako vidljivo da povećanje amplitude iznad 50 % statistički značajno utječe na povećanje tvrdoće ispitivanih uzoraka kruške. Kod uzoraka obrađenih ultrazvukom amplitude 25% nema statistički značajne promjene tvrdoće u

odnosu na neobrađene uzorke. Povećanje tvrdoće je posljedica smanjenja uzorka tijekom sušenja i gubitka vode, te stvaranja tvrde kore na površini nastale zbog nedovoljno brze difuzije tekućine iz unutrašnjosti kruške na površinu.

Na elastičnost uzoraka kruške utjecaj ima jedino maksimalna amplituda ultrazvuka, uz  $p = 0,001131$ . Kako je elastičnost povezana s tvrdoćom, povećanjem amplitude dolazi do blagog linearnog porasta elastičnosti. Na slici 22. vidljiv je porast elastičnosti, što je vjerojatno posljedica djelovanja ultrazvuka sa mikrostrukturu materijala, pri čemu dolazi do veće poroznosti uzoraka, uklanjanja dijela vezane vode i posljedično manjeg završnog udjela vode u uzorku. Zaustavljanjem sušenja na istom udjelu vode kao kod netretiranih uzoraka, vrijednosti za elastičnost i tvrdoću bi bile bliže onima kod netretiranih uzoraka, što bi automatski dalo bolja organoleptička svojstva.

Pri 25 % amplitudi nema statistički značajnog povećanja potrebnog rada, te se tek iznad 50% amplitudi uz  $p=0,026129$  može zaključiti na temelju  $p(25)<p(50)<p(100)$  da povećanje amplitude dovodi do povećanja rada potrebnog za žvakanje. Obrada uzorka maksimalnom amplitudom dolazi do najveće promjene u radu potrebnom za žvakanje u odnosu na neobrađeni uzorak i da obradom uzorka ultrazvukom 100% u odnosu na uzorak obrađen ultrazvukom amplitude 50% dolazi do značajnog porasta u radu potrebnom za žvakanje. Iz dobivenih podataka vidljivo je da su potrebne veće amplitude da bi došlo do značajnijeg utjecaja na teksturu.



#### **5.4 Raspodjela topline tijekom obrade ultrazvukom**

Na slici 27. vidi se raspodjela topline u vodi tijekom obrade ultrazvukom. Zagrijavanje je ravnomjerno u cijelom volumenu vode i temperatura ne prelazi 70°C. Na temelju toga se može zaključiti da je uzorak ravnomjerno zagrijan i da je temperatura niža od temperature korištene u sušenju. Važno je da temperatura tretmana ne bude previsoka kako ne bi došlo do nepoželjnog gubitka vitamina, antioksidanasa i ostalih nutritivno vrijednih spojeva koji su osjetljivi na visoku temperaturu.

## 6. ZAKLJUČCI:

- Predobrada ultrazvukom u značajnoj mjeri skraćuje vrijeme potrebno za sušenje
- Boja uzoraka se promijenila povećanjem amplitude ultrazvuka
- Tekstura osušenih uzoraka se značajno pozitivno mijenja s predobradom ultrazvukom kada se radi amplitudama od 25 i 50%
- Tvrdća uzoraka raste s porastom amplitude, što je pozitivna karakteristika, ali povećanje amplitude na 100% dovodi do prevelikog povećanja tvrdoće
- Optimalan uzorak je preobrađen amplitudom od 50% jer se vrlo malo mijenja boja osušenog uzorka, a povećava tvrdoća, što je u granicama dobivenih rezultata poželjno svojstvo.
- Predobrada kruške ultrazvukom visokog intenziteta se pokazao kao dobra metoda za očuvanje glavnih karakteristika hrane, kao i za uštedu energije uslijed smanjenja vremena potrebnog za sušenje.

## **7. ZAHVALE**

Zahvaljujemo mentoru, prof.dr.sc. Mladenu Brnčiću, na podršci i izdvojenom vremenu za ovaj rad, kao i asistentima dipl.inž. Svenu Karloviću, dipl.inž. Tomislavu Bosiljkovu i tehničarima Laboratorija za tehnološke operacije na pomoći pri radu.

## 8. LITERATURA:

Anonymous, <[http://salute.leiweb.it/alimentazione-e-diete/10\\_g\\_cibi-antieta\\_20.shtml](http://salute.leiweb.it/alimentazione-e-diete/10_g_cibi-antieta_20.shtml)>, pristupljeno 27. travnja 2011.

Araya-Farias, M., Ratti, C. (2009) *Advances in Food Dehydration*, CRC Press, 2-31.

Chen, X.D, Mujumdar, A.S. (2008) Food drying fundamentals. *Drying Technologies in Food Processing* (Chen, X.D, Mujumdar, A.S., ured.), Wiley-Blackwell, Oxford, 1-54.

Barroca, M. J., Guine, R.P.F., Pinto, A., Goncalves, Ferreira, D. M. S. (2006) Chemical and microbiological characterization of Portuguese varieties of pears. *Food and Bioproducts Processing* 84 (C2), 109-113.

Brnčić, M., Tripalo, B., Ježek, D., Semenski, D., Drvar, N., Ukrainczyk, M. (2006) Effect of twin-screw extrusion parameters on mechanical hardness of direct-expanded extrudates, *Sadhana*, **31**(5), 527-536.

Brnčić, M., Tripalo, B., Penava, A., Karlović, D., Ježek, D., Vikić Topić, D., et al. (2009). Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, **4** (1-2), 32-37.

Brnčić, M., Karlović, S., Rimac-Brnčić, S., Penava, A., 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** (41), 6907-6915.

Bruin, S., & Luyben, K. C. (1980). Drying of food materials: a review of recent developments. (A. S. Mujumdar, Ed.) **1**, 155-216.

Cañizares-Macías M. P., García-Mesa. J.A., Luque de Castro M. D. (2004) Fast ultrasound-assisted method for the determination of the oxidative stability of virgin olive oil. *Analytica Chimica Acta*, 502, 161-166.

Ferreira, D., Lopes da Silva, J.A., Pinto, G., Santos, C., Degadillo, I., Coimbra, M.A. (2008) Effect of sun-drying on microstructure and texture of S.Bartolomeu pears (*Pyrus communis* L.) *Eur Food Res Technol* (2008); **226**: 1545-1552.

Fuente-Blanco, S., Sarabia, E. R., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juarez, J. A. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* , **44**, 523-527.

Gallego-Juarez, J. A., Rodriguez-Corral, G., Galvez-Moraleda, J. C., & Yang, T. S. (1999). A new high intensity ultrasonic technology for food dehydration. *Dry Technology* , **17**, 597-608.

Genakopolis, F. (1993). Transport Processes and Unit Operations (3rd ed.). New Jersey: Prentice –Hall International Inc. , 520-521.

Guiné, R. de P.F. (2006) Influence of drying method on density and porosity of pears. *Food and Bioproducts Processing* ; 84(C3): 179-185.

Ježek, D., Tripalo, B., Brnčić, M., Karlović, D., Vikić-Topić, D., & Herceg, Z. (2006). Modelling of convective carrot drying. *Croatica Chemica Acta* , **79** (3), 385-391.

Knorr, D. (1993) Effects on high hydrostatic pressure process on food safety and quality, *Food Technology* 46, 156-161.

Konopacka, D., Plochanski, W. (2001) Effect of raw material storage time on the quality of apple chips. *Drying Technology*, **19**, 559-570.

Kyllönen, H.M., P. Pirkonen, M. Nyström (2005) Membrane filtration enhanced by ultrasound: a review. *Desalination* 181, 319-335.

Leadley, C.E., Williams, A. (2006) Pulsed electric field processing, power ultrasound and other emerging technologies. Food processing handbook, (Brennan, J.G., ured.), WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 214-232.

Li, L.T. (1998) *Food Properties*. China Agriculture Publisher, Beijing (in Chinese).

Lovrić, T. (2000). Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva. Zagreb: Hinus, 179-226.

Magaris, D. P., Ghiaus, A. G. (2008). Fruits and vegetables dehydration in tray dryers. New food engineering research trends (Urwyte, A. P., ured.), 45-101.

Maskan, M. (2001) Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, **48**, 169-175.

Mason, T.J. (1998) Power ultrasound in food processing-the way forward. Ultrasound in Food Processing, (Mason, T.J., Powey, M. J. W., ured.) Blackie Academic and Professional, London, 105-126.

Mason, T.J., Paniwnyk, L., Chemat, F. (2003) Ultrasound as a preservation technology. *Food preservation Techniques*, (Bogh-Sorgensen, L., Zeuthen, P., ured.) Woodhead Publishers, Cambridge, 303-337.

McKee, L. H., & Latner, T. A. (2000). Underutilized sources of dietary fiber: a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, **55**, 285-304.

Muthukumar, S., Kentish, S.F., Stevens, G.W., Ashokkumar, M. (2006) Application of ultrasound in membrane separation processes: A review. *Reviews in Chemical Engineering* 22, 155-194.

Park, K. J., Bin, A., & Brod, F. P. (2002). Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Jornual of Food Engineering*, **56**, 97-103.

Planinić, M. (2008) Modeliranje procesa i određivanje efektivnog koeficijenta difuzivnosti vlage tijekom sušenja mrkve i krumpira. *Doktorski rad*, Prehrambenotehnološki fakultet u Osijeku.

Saka, N., & Hanzawa, T. (1994). Application and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science and Technology*, **5**, 357-362.

Salunkhe, D. K., & Kadam, S. S. (1995). *Handbook of Fruit Science and Technology*. New York: Marcel Dekker, 183-202.

Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Harrington, M., & Burgeois, C. M. (1997). Dietary fibers: nutritional and technological interest. *Trend in Food Science Technology* , **8**, 41-48.

Veraverbeke, E.A., Verboven, P., Lammertyn, J., Cronje, P., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B.M. (2006) Thermographic surface quality evaluation of apple. *Journal of Food Engineering* ,**77**, 162-168.

Yost, M., Abu-Ali, J.M., Barringer, S.A. (2006) Kinetics of potato color and texture development during baking, frying, and microwaving with the addition of liquid smoke. *Journal of Food Science*, **71**, 364-369.

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



## 9. SAŽETAK

AUTORI: Marko Karalić, Irena Mofardin, Andrea Karačić

NAZIV RADA: Sušenje kruške potpomognuto ultrazvukom visokog intenziteta

Sušenje u prehrambenoj industriji se najčešće postiže uporabom toplinske energije, što može negativno utjecati na teksturu, senzorska i nutritivna svojstva hrane. Potrebni su novi, blaži načini obrade hrane kako bi se dobili što kvalitetniji proizvodi. Sušenje hrane uz predtretman ultrazvukom visokog intenziteta se pokazalo učinkovitim u očuvanju glavnih karakteristika i kvalitete proizvoda. Cilj ovog rada bio je proučavanje utjecaja ultrazvuka visokog intenziteta, korištenog pri različitim amplitudama, na vrijeme sušenja, teksturu i boju kriški kruške, sušenih u infracrvenoj sušari. Za predtretman ultrazvukom korišten je uređaj nominalne snage od 400 W, pri amplitudama od 25, 50 i 100%, te frekvenciji od 24 Hz. Sušenje je provedeno u infracrvenoj sušari pri temperature od 70°C. Dobiveni rezultati pokazali su da primjena ultrazvuka različitih amplituda utječe na skraćanje vremena sušenja čime se štedi energija potrebna za sušenje listića kruške. Boja uzoraka nakon obrade ultrazvukom prihvatljivo se promjenila u odnosu na neobrađeni uzorak. Teksturalna svojstva koja značajno utječu na percepciju krajnjeg potrošača promjenila su se s povećanjem amplitude. Tvrdća raste s porastom amplitude kao i rad potreban za žvakanje a elasatičnost se smanjuje.

Ključne riječi: Ultrazvuk visokog intenziteta, sušenje, kruška, tekstura, boja

## **10. SUMMARY**

**AUTHORS:** Marko Karalić, Irena Mofardin, Andrea Karačić

**TITLE:** Drying of Pear Assisted with High Intensity Ultrasound

Drying in food technology is usually based on heating, which may have negative effects on texture, sensory and nutritive characteristics of food. In order to achieve high quality of products, new and sophisticated techniques for food treatments are required. Power ultrasound aided drying is proven efficient at preserving main characteristics and quality of products. The aim of this work was to investigate the impact of high-intensity ultrasound, using different amplitudes, on the duration of drying, texture and color of pear slices, dried using infrared dryer. Ultrasound device with a power capacity of 400 W, working at a frequency of 24 Hz and amplitudes of 25, 50 and 100%, was used for pre-treatment. Drying was performed in an infrared dryer, at 70°C temperature. Obtained results showed how application of ultrasound with various amplitudes influence on shortening of treatment time during drying with significant energy savings. Colour of pears was acceptable changed compared with sample that was not pre-treated with ultrasound. Textural properties were also changed for samples treated with ultrasound. Hardness of the samples increased as amplitude rise as much as work required for chewing.

**Key words:** High Intensity Ultrasound, Drying, Pear, Texture, Colour

## 11. ŽIVOTOPISI

**Marko Karalić** rođen je 14. listopada 1987. godine u Zagrebu. U Velikoj Gorici je pohađao OŠ Jurja Habdelića. Maturirao je 2006. godine u Gimnaziji Velika Gorica. Iste godine upisuje preddiplomski studij Prehrambene tehnologije na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. 2010. godine je završio prediplomski studij Prehrambene tehnologije s prosječnom ocjenom 3,7 sa temom završnog rada "Bioaktivne komponente hladnoprėšanog ulja lana, lješnjaka I suncokreta" I upisao diplomski studij Prehrambenog inženjerstva na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Član je fakultetskog vijeća Prehrambeno-biotehnološkoš fakulteta u funkciji predstavnika studentata.

**Irena Mofardin** rođena je 08. svibnja 1987. godine u Puli. U Tinjanu je pohađala OŠ Vladimira Nazora, a u lipnju 2006. godine završila opću gimnaziju Jurja Dobrila u Pazinu s odličnim uspjehom. U srpnju 2010. godine završila je sveučilišni preddiplomski studij Prehrambene tehnologije na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu u Zagrebu s prosječnom ocjenom 3,7 na temu „Polifenolni sastav infuzije lista maline“ te stekla akademski naziv sveučilišna prvostupnica inženjerka prehrambene tehnologije. Trenutno je student diplomskog studija Prehrambenog inženjerstva na istom fakultetu.

**Andrea Karačić** je rođena 29. lipnja 1987. godine u Mostaru. Osnovnu školu, osnovnu glazbenu školu i Gimnaziju fra Dominika Mandića završila je u Širokom Brijegu, gdje je 2006. godine maturirala s odličnim uspjehom. Iste godine uspisala je Prehrambeno-biotehnološki fakultet, smjer Prehrambena tehnologija, u Zagrebu. 2010. godine postala je sveučilišna prvostupnica (baccalaurea) inženjerka prehrambene tehnologije s prosjekom ocjena 3.7 i završnim radom na temu

“Praćenje populacije kvasaca iz roda *Brettanomyces* u vinu nakon tretmana ultrazvukom” na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu u Laboratoriju za kemiju i analitiku pića, pod mentorstvom dr.sc.doc. Lea Gracina. Trenutno je na prvoj godini diplomskog studija Prehrambenog inženjerstva.