

Utjecaj vrste ultrazvučnog predtretmana na utrošak energije, vrijeme sušenja, boju i teksturalna svojstva Muškatne bundeve Cucurbita moschata

Šimić, Marko Adrian

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:159:730354>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, prosinac 2023.

Marko – Adrian
Šimić

**UTJECAJ VRSTE
ULTRAZVUČNOG
PREDTRETMANA NA UTROŠAK
ENERGIJE, VRIJEME SUŠENJA,
BOJU I TEKSTURALNA
SVOJSTVA MUŠKATNE
BUNDEVE "*CUCURBITA
MOSCHATA*"**

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za tehničku termodinamiku i Laboratoriju za tehnološke operacije na Zavodu za procesno inženjerstvo Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Filipa Dujmića.



Ovaj rad izrađen je u okviru projekta „Hibridno sušenje i valorizacija biljnog prehrambenog otpada i nusproizvoda“ (HYDRYBY, IP-2019-04-9 750), voditelja projekta prof. dr. sc. Mladena Brnčića, a financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost

ZAHVALA

Zahvaljujem se cijelom Laboratoriju za tehničku termodinamiku i Laboratoriju za tehnološke operacije, a posebno mentoru izv. prof. dr. sc. Filipu Dujmiću na strpljenju, pruženoj pomoći, znanju i savjetima koji su mi olakšali pisanje ovog rada. Također veliko hvala asistentici Mirni Tadić i asistentu Marku Marelji te tehničkim suradnicima Darjanu i Goranu na uloženom vremenu i prenesenom znanju. Neizmjereno hvala bratu, roditeljima, svim prijateljima i kolegama koji su mi pružali podršku kroz cijelo studiranje.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za procesno inženjerstvo
Laboratorij za tehničku termodinamiku

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Diplomski sveučilišni studij: Prehrambeno inženjerstvo

UTJECAJ VRSTE ULTRAZVUČNOG PREDTRETMANA NA UTROŠAK ENERGIJE, VRIJEME
SUŠENJA, BOJU I TEKSTURALNA SVOJSTVA MUŠKATNE BUNDEVE "*CUCURBITA
MOSCHATA*"

Marko-Adrian Šimić, univ. bacc. ing. techn. aliment.
0058209377

Sažetak:

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj različitih ultrazvučnih postava i predtretmana na utrošak energije, vrijeme sušenja, boju i teksturalna svojstva Muškatne bundeve *Cucurbita moschata*. Neovisno o primijenjenom ultrazvučnom predtretmanu postiže se skraćenje vremena sušenja. Primjenom indirektnog ultrazvučnog predtretmana postignuto je skraćenje vremena sušenja od 20,64 % uz uštedu u utrošku energije od 28,77%, dok primjenom direktnog ultrazvučnog predtretmana postignuto je skraćenje vremena sušenja od 22,25 % uz uštedu u ukupnom utrošku energije od 31,05 %. Ukupna promjena boje ΔE^* ovisno o predtretmanu kod optimalnog vremena sušenja i utroška energije kreće su području uočljivih promjena ΔE^* (3,0 – 6,0). Ispitivanjem teksturalnih parametara utvrđeno je da ultrazvučni predtretman nema negativnog utjecaja na ispitane osnovne teksturne parametre, a time ni na samo organoleptičko svojstvo teksture.

Ključne riječi: *ultrazvuk, sušenje, utrošak energije, boja, teksturalna svojstva*

Rad sadrži: 52 stranice, 22 slike, 13 tablica, 94 literaturna navoda, 00 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: izv. prof. dr. sc. Filip Dujmić

Komentor:

Pomoć pri izradi: mag. ing. Mirna Tadić i mag. ing. Marko Marelja

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. izv. prof. dr. sc. Sven Karlović (predsjednik)
2. izv. prof. dr. sc. Filip Dujmić (mentor)
3. prof. dr. sc. Mladen Brnčić (član)
4. prof. dr. sc. Damir Ježek (zamjenski član)

Datum obrane: 19. prosinac 2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Process Engineering
Laboratory for Thermodynamics

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

Graduate university study programme: Food Engineering

INFLUENCE OF DIFFERENT ULTRASONIC PRE-TREATMENTS ON ENERGY
CONSUMPTION, DRYING TIME, COLOR AND TEXTURE PROPERTIES OF MUSCAT
"CUCURBITA MOSCHATA"

Marko-Adrian Šimić, univ. bacc. ing. techn. aliment.
0058209377

Abstract:

The aim of this work was to investigate the influence of different ultrasonic settings and pretreatments on the energy consumption, drying time, color and structural properties of Cucurbita moschata. Regardless of the ultrasonic pretreatment applied, a reduction in drying time of 20.64 % was achieved in the indirect pretreatment, with a saving in energy consumption of 28.77 %, while a reduction in drying time of 22.25 % was achieved in the direct pretreatment, with a saving in total energy consumption of 31.05 %. The total color change ΔE^* as a function of pretreatment is in the range of perceptible changes ΔE^* (3.0 – 6.0) under optimal conditions in terms of drying time and energy consumption. It was also found that ultrasonic pretreatment has no negative effects on the basic texture parameters tested nor on the organoleptic properties of the texture itself.

Keywords: *ultrasound, drying, energy consumption, color, textural properties*

Thesis contains: 52 pages, 22 figures, 13 tables, 94 references, 00 supplements

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in: The Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: Filip Dujmić, PhD, Associate professor

Co-mentor:-

Technical support and assistance: *mag. ing.* Mirna Tadić and *mag. ing.* Marko Marelja

Reviewers:

1. Sven, Karlović, PhD, Associate professor (president)
2. Filip, Dujmić, PhD, Associate professor (mentor)
3. Mladen, Brnčić, PhD, Full professor (member)
4. Damir, Ježek, PhD, Full professor (substitute)

Thesis defended: December 19th, 2023

Sadržaj

1.UVOD	1
2.TEORIJSKI DIO	2
2.1.BUNDEVA	2
2.1.1.Cucurbita Moschata	2
2.1.2. Kemijski sastav	3
2.2.ULTRAZVUK	5
2.3. ULTRAZVUK U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI	6
2.3.1. Ultrazvučni postupci	7
2.4. TEKSTURA	9
2.5.SUŠENJE	11
2.5.1. Princip konzerviranja hrane sušenjem	12
2.5.2. Konvekcijski postupak sušenja	13
2.5.3. Kondukcijski postupak sušenja	14
2.5.4. Sušenje – elektromagnetskim zračenjem	15
2.5.5. Promjene prilikom sušenja.....	16
2.6. BOJA	17
3.EKSPERIMENTALNI DIO	18
3.1. MATERIJALI	18
3.1.1. Uzorak	18
3.2. UREĐAJI I OPREMA	18
3.3. METODE RADA	19
3.3.1. Priprema uzoraka	19
3.3.2. Predtretman ultrazvukom.....	19
3.3.3. Sušenje uzorka	20
3.3.4. Utrošak energije	21
3.3.5. Određivanje pH vrijednosti.....	21
3.3.6. Analiza teksture	22
3.3.7. Određivanje boje	23
3.3.8. Obrada podataka	25
4.REZULTATI I RASPRAVA	26
4.1. SUŠENJE	26
4.2. UTROŠAK ENERGIJE	30
4.3 TEKSTURA	32
4.4 pH VRIJEDNOST	36
4.5. KOLORIMETRIJA	36
4.6.DIGITALNA FOTOGRAFIJA	41

5. ZAKLJUČAK	44
6.LITERATURA	45

1.UVOD

Poznato je da plodovi voća i povrća sadrže veliki postotak vode, koji se kreće u intervalu od 75 % do 90 %, uslijed čega im je trajnost u svježem stanju vrlo ograničena. Sušenje hrane jedna je od najstarijih metoda konzerviranja namirnica. Od drevnih civilizacija do današnjih dana, postupak sušenja hrane (voća, povrća, mesa) vrlo je rašireno u svim zemljama zahvaljujući jednostavnosti tehnološkog procesa, mogućnosti skladištenja proizvoda kroz duže vrijeme bez kvarenja i relativno lakom transportu osušenih proizvoda. To je omogućilo da se konzumiranje osušenih namirnica osigura u periodu i području u kojem ta određena hrana nije dostupna. Osim očuvanja, sušenje hrane pružilo je jedinstvenu teksturu i okuse koje smo naučili cijeniti i koji su postali neizostavni dio naše kulinarske baštine.

Drevne civilizacije koristile su prirodne izvore topline kao što su sunce i vjetar kako bi osušile hranu. Arheološki nalazi i pisana povijest pokazuju da su stari Egipćani sušili ribu i perad na suncu, dok su narodi Srednje Amerike, poput Maja i Azteka, sušili razne vrste mesa i voća. U Aziji je sušena riba bila i ostala važna stavka prehrane, a u Africi se voće, poput smokava, tradicionalno sušilo na suncu. Kako su civilizacije rasle i razvijale se, tako su i tehnike sušenja postajale sofisticiranije. Uvođenje dimljenja, gdje se hrana suši izlaganjem dimu iz gorućeg drva, dodalo je dodatnu dimenziju okusa osušenoj hrani i pružilo dodatnu zaštitu od bakterija. Osim toga, soljenje, koje često prati sušenje, postalo je popularno u mnogim kulturama, posebno za konzerviranje ribe i mesa.

Kako je sušenje energetski zahtjevan postupak suvremeni načini sušenja imaju za cilj uklanjanje vode uz što manje narušavanje kvalitete polazne sirovine, kako bi se zadržala sva izvorna svojstva te se sačuvala hranjive tvari, boja, miris i okus uz postizanje ekonomskih ušteda. U današnje vrijeme istražuju se drugi postupci obrade koji bi u kombinaciji s klasičnim donijeli odgovarajuće energetske i ekonomske uštede. Poput primjene ne toplinskih tehnologija kao što su ultrazvuk visokog intenziteta, visokih hidrostatskih tlakova, pulsnih električnih polja u postupcima predobrade namirnica, sa ciljem skraćivanja vremena sušenja i očuvanja senzorskih, teksturalnih i nutritivnih svojstava proizvoda.

Cilj ovog rada je bio ispitati utjecaj direktnog i indirektnog ultrazvučnog predtretmana na vrijeme sušenja bundeve *Cucurbita moschata*, utrošak energije, boju i teksturalna svojstva bundeve u konvekcijskom postupka sušenja. Uzorci bundeve su prije sušenja predtretirani primjenom odgovarajućeg ultrazvučnog predtretmana te su mjereni i analizirani spomenuti parametri uz usporedbu sa uzorkom bez predtretmana.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. BUNDEVA

Porodicu *Cucurbitaceae* čini više od 100 rodova. Neki od važnijih rodova su *Citrullus* (*Citrullus lanatus*, lubenica), *Cucumis* (*Cucumis sativus*, krastavac), *Luffa* (*Luffa acutangula*, rebrasta lufa) i *Cucurbita* (tikvica, bundeva i neke druge tikve) (Jeffrey, 2005). Bundeva se obično odnosi na plod vrsta *Cucurbita pepo*, *C. maxima* i *C. moschata*. Među kojima je *C. pepo* najčešće korišteno znanstveno ime za bundevu (Babadoost i Zitter, 2009).

Bundeva je voćno povrće porijeklom sa zapadne hemisfere. Nalazimo je u Sjevernoj Americi, kontinentalnoj Europi, Australiji, Novom Zelandu, Indiji i još nekim državama. Također njeni kultivari su i u tropskoj Aziji i državama poput Indonezije, Filipina i Malezije (Tindall, 1983). Azija i Europa su glavni proizvođači (FAO, 2006). Bundeva je žućkasto voće bogato karotenoidima koji su provitamini vitamina A. Također je sadržajem bogata ugljikohidratima, pektinima, solima i vitaminima (Wang i sur., 2002). Bundeva je uzgajana često kao zamjena za usjeve duhana u regiji Kelantan u Maleziji. Najviše je korištena kao povrće u tradicionalnim jelima tako što se ukuhava sok kokosove palme. Prisutna je i pri izradi kolača te se koristi kao baza pri izradi džemova i juha.

2.1.1. *Cucurbita Moschata*

Cucurbita moschata (slika 1) je sezonska kultura koja se koristi tradicionalno kao hrana za ljude i životinje (Guine' i sur., 2012; Doymaz, 2007; Lira Saade i Montes Hernandez, 1994). Od davnina je neophodna u prehrani među seoskim i urbanim stanovništvom. Korištena je u kulinarstvu bilo kao povrće ili kao sastojak različitih pita, juha, variva i kruha (Guine' i sur., 2012; Doymaz, 2007). *Cucurbita moschata* voli rasti u toplim tropskim područjima i okolini bogatom vodom, jer nije otporna na hladnoću, ali je na visoke temperature. Međutim, može se oduprijeti suši i mrazu tijekom razdoblja cvatnje (Jacobo-Valenzuela i sur., 2011a). Kora joj je žilava i jaka, prilično otporna i trajna i teško se može oštetiti tijekom transporta. Može se čuvati više od 3 mjeseca pri sobnoj temperaturi od 25 °C, što ju čini ne samo pogodnim za dnevnu potrošnju, već i za preradu, te se zbog toga široko koristi u prehrambenoj industriji. U mnogim zemljama, poput Sjedinjenih Država, Meksika, Indiji, Kini i Brazilu *Cucurbita moschata* tradicionalno se koristi kao lijek (Jacobo-Valenzuela i sur., 2011a; Yadav i sur., 2010).



Slika 1. Butternut bundeva (Anonymous, 2023)

Bogata je vitaminom A, vitaminom B, vitaminom C, raznim mineralima, karotenom. Sadrži osam vrsta aminokiselina neophodnih ljudskom organizmu te sadrži elemente u tragovima kao što su fosfor, kalij, kalcij, magnezij, cink i silicij. Moderna znanost o prehrani i medicina je pokazala da *Cucurbita moschata* može učinkovito spriječiti hipertenziju, dijabetes, bolesti jetre te jača imunološki sustav (Priori i sur., 2017). Iako se *Cucurbita moschata* naširoko uzgaja u raznim regijama svijeta te su neka eksperimentalna istraživanja već provedena, postoji još puno toga nepoznatog o sorti *Cucurbita moschata*, što je vrijedno daljnjeg istraživanja. Nema ujednačenog oblika i postoji velika varijacija u njezinim fizičkim i kemijskim svojstvima (Jacobó-Valenzuela i sur., 2011a). Njezine veličine, oblici i boje pokazuju visok stupanj raznolikosti. Meso je relativno debelo, a stabljike biljke imaju obilnu kratku pubescenciju (Ku i sur., 2005). Duljina sjemena je između 8,00 i 22,41 mm (Yildiz i sur., 2013; Wu i sur., 2011). Boja pulpe varira od smeđe, potpuno bijele, svijetlo narančaste do zelenih nijansi. Tekstura joj je najčešće glatka, ne vlaknasta, a okus može biti vrlo sladak. Također može sadržavati puno sjemenki najčešće žućkasto bijele površine te ovalnog do eliptičnog oblika (Lira Saade i Montes Hernandez, 1994). Duljina ploda je u rasponu od 13,21 do 91,99 cm, širina od 9,46 do 55,40 cm, debljina od 0,58 do 6,95 cm, a težina je od 0,59 do 8,75 kg (Tamil selvi i sur., 2012; Jacobó-Valenzuela i sur., 2011a; Montes i sur., 2004).

2.1.2. Kemijski sastav

Jacobó-Valenzuela i sur. (2011a) i Roura i sur. (2007) procijenili su kemijski sastav (vlažnost, proteini, lipidi, sirova vlakna i sirovi pepeo) određene vrste *Cucurbita moschata*. Zaključili su da je sadržaj vlage u ljusci između 80,04 i 88,47 %, sadržaj proteina u intervalu od 2,59 do 4,45 %, sadržaj masti u intervalu od 0,31 do 0,49 %, a sadržaj pepela u intervalu od 1,06 do 1,13 % (Jacobó-Valenzuela i sur., 2011a). pH vrijednost pulpe je u intervalu od 4,27 do 7,79 (Armesto

i sur., 2020; Gliemmo i sur., 2014; Jacobo-Valenzuela i sur., 2011a; Jacobo-Valenzuela i sur., 2011b).

Jestive vrste poput *C. ficifolia*, *C. maxima*, *C. moschata* i *C. Pepo* mogu biti prirodni izvor bioaktivnih komponenti. Sjemenke i kora voća posebno su bogati tokoferolima i karotenoidima. Zbog visoke varijabilnosti (ovisno o utjecaju okoliša i faza sazrijevanja) jedinki unutar iste vrste otežana je analiza njihovih kvalitativnih i kvantitativnih razlika.. Sjemenke i kora u pravilu sadrže više ugljikohidrata od mesa bundeve, a *C.pepo* i *C.maxima* su bogatije od *C.moschata*. Mineralni sadržaj bundeva odgovara preporučenom dnevnom unosu za različite esencijalne elemente prema Food Agriculture Organisation (FAO). Kada se gleda njihov udio u odnosu na svježju tvar bundeve vrijednosti su daleko od gornjih granica preporučenog unosa prema FAO. Karotenoidi su prisutni u velikim količinama u bundevi i njenim hibridima. Ukupni sadržaj karotenoida varira od 234,21 µg/g do 404,98 µg/g u plodu *C. moschata* (De Carvalho i sur., 2012.) i 171,9 µg/g do 461,9 µg/g u plodu *C. Pepo* (Perez Gutierrez, 2016). Koncentracija karotenoida je mnogo viša (10 puta više) u kori *C. moschata* nego u mesu (Jacobo-Valenzuela i sur., 2011a).

Azizah i sur. (2009) istraživali su utjecaj različitih postupaka pečenja na sadržaj β-karotena i likopena u *C. moschata*. Uočeno je da se kuhanjem i miješanjem povećao sadržaj β-karotena od 2 do 4,2 puta te likopena 17 do 40 puta ovisno o trajanju kuhanja. Kuhanjem u trajanju dvije minute bundeva je pokazivala snažno antioksidativno djelovanje. Jestive sjemenke bundeve bogate su vitaminom E (49,49 µg/g do 92,59 µg/g), a γ-tokoferol je više prisutan od α-tokoferola što su pokazala istraživanja Mi i sur. (2012) te Younisa i sur. (2000). Prema Rebrenović i sur. (2014) količine α-, β-, γ- i δ-tokoferola iz hladno prešanog ulja iz uzoraka sjemenki bundeve (*C. pepo*) kretali su se u rasponu od 38,03 do 64,11 mg/100 g ulja. Ulje sjemenki *C. maxima* var. *Béjaoui* je pokazano kao bogat izvor tokoferola, gdje je δ-tokoferol bio dominantan s 42 % ukupnih.

Pozitivno djelovanje na ljudski organizam zabilježeno je u vidu antimikrobnog djelovanja (Adeel i sur., 2014). Antimikrobna svojstva bundeve povezana su sa visokim sadržajem vitamina (uglavnom A i C), fenolnih spojeva, minerala, dijetalnih vlakana, aminokiselina i drugih korisnih spojeva za ljude. Također osim spomenutog antimikrobnog djelovanja tu su još antioksidativne i antibakterijske karakteristike bundeve (Dinu i sur., 2016). Muruganatham i sur. 2016 tvrdili su da ekstrakt etilnog acetata cvjetova *C. maxima* ima značajno antifungalno i antibakterijsko djelovanje na mikroorganizme kao što su *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Bacillus cereus*, *Enterobacter faecalis*, *Candida albicans* i *Curvularia lunata*. Sveukupno

gledajući *Cucurbita* vrste imaju kemijske komponente sa povoljnim utjecajem na zdravlje. Nekoliko vrsta tikvica i bundeva prirodan su i bogat izvor potencijalnih bioaktivnih tvari poput karotenoida, tokoferola, fenola, terpenoida, saponina, sterola, masnih kiselina te funkcionalnih ugljikohidrata i polisaharida. Od ovih triterpenoida posebno su kukurbitacini vrijedni pažnje po svojim višestrukim obilježenim sposobnostima. Prisutnost aktivnih fitokemikalija u *Cucurbitaceae* vrstama čini ih izvrsnom sredinom za daljnju iskoristivost u preventivne i terapijske svrhe, izvan biotehnoloških primjena (Salehi i sur., 2019).

2.2. ULTRAZVUK

Ultrazvuk (UZV) je po prirodi mehanički val za čije širenje je potreban elastični medij (Kremer i Lempriere, 2006). Zvuk i ultrazvuk razlikuju se po frekvenciji: za zvučne valove karakteristične su frekvencije koje može čuti ljudsko uho (od 16 Hz do 16–20 kHz), dok za UZV karakteristične su frekvencije veće od 20 kHz (gornja granica čujnosti za ljudsko uho) pa do 10 MHz, koja zatim prelazi u tzv. hipersonično područje. Identificirane su daljnje potpodjele unutar ovog raspona (Feng i Lee, 2011), te podijele zapravo mogu imati bitno različite karakteristike, ovisno o frekvenciji na kojoj se stvaraju i količini energije koju stvara akustično polje. Konkretno, UZV snaga utječe na kemijsku reaktivnost i grupirana je u dvije podgrupe: A) visokoenergetski UZV karakteriziran niskim frekvencijama (20 kHz–100 kHz), koje se koriste u nekim prehrambenim tehnologijama, i procesi srednje snage UZV karakterizirani srednjim frekvencijama (100 kHz–1 MHz); i B) niskoenergetski dijagnostički ultrazvuk koji se koristi u fizičkim mjerenjima, uglavnom za medicinske i dijagnostičke svrhe, a karakteriziraju ga visoke frekvencije (5 MHz–10 MHz) (Gallo i sur., 2018).

Ultrazvučni val je longitudinalni val karakteriziran izmjenom ciklusa kompresije i razrjeđivanja medija u kojem se širi, što povlači za sobom varijacije u tlaku medija; energija se prenosi gibanjem čestica. Ovaj proces kompresije i razrjeđivanja čestica u mediju i njihovo kasnije urušavanje poznato je kao fenomen kavitacije, najvažnijeg učinka visokoenergetskih ultrazvučnih valova (Rose, 2014; Krautkrämer i Krautkrämer, 2013). Konkretno, kavitacija je fizički fenomen koji dovodi do stvaranja i aktivnosti mjehurića (ili šupljina) unutar tekućine kada je podvrgnuta djelovanju tlačnih i depresijskih valova velike brzine koje generiraju ultrazvučni valovi u intenzivnom ultrazvučnom polju. Tijekom faze depresije u tekućini se stvaraju brojni mjehurići. Tijekom druge faze ultrazvučne kompresije, ogroman pritisak koji se vrši na mjehurić dekomprimira se sve dok ne implodira, tj. ne kolabira unutar sebe. Mjehurići imaju promjer od nekoliko mikrometara, dok je životni vijek mjehurića reda veličine mikro sekundi. Razlikuju se dvije vrste kavitacije: u prvoj vrsti, poznatoj kao stabilna kavitacija,

mjehurić ostaje stabilan oko ravnotežne veličine tijekom mnogih ciklusa kompresije-dekompresije; u drugom tipu, poznatom kao prolazna ili nestabilna kavitacija, mjehurić raste u jednom ciklusu, udvostručuje svoju veličinu, a zatim kolabira. Mehanički učinci ultrazvuka variraju, a identificirane su tri različite faze u reakcijskom okruženju: plinovito okruženje unutar šupljine mjehurića, tekućina-mjehurić zona i zona tekućine. Tako imamo primjenu ultrazvuka kod ultrazvučnih sustava za čišćenje koji se koriste za čišćenje malih predmeta, gdje implozije mjehurića čiste i najosjetljivije i najnedohvatljivije površine.

2.3. ULTRAZVUK U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

Tijekom proteklih nekoliko godina, karakteristike UZV-a pobudile su sve veći interes za njegovu primjenu u prehrambenoj industriji, budući da interakcija fizičkih i kemijskih učinaka može dovesti do strateške prednosti u različitim fazama obrade, te da njegovo djelovanje proizvodi trajne mehaničke, kemijske i biokemijske učinke (Bates i Patist, 2010). Ultrazvuk se u prehrambenoj industriji primjenjuje u postupcima kontrole proizvodnih procesa, detekcije deformacija svojstava hrane – otkrivanje nedostataka, kontrole sazrijevanja plodova, poboljšanje prinosa i brzine ekstrakcije komponenti hrane. Ultrazvuk se koristi za unaprjeđenje konvencionalnih operacija prerade hrane sa ciljem smanjenjem energetske i kemijske zahtjeva, čime se nudi ekološki prihvatljivija opcija. U preradi hrane, primjena UZV-a podijeljene su u dvije kategorije, zamjena tradicionalnih tehnologija i pomoć tradicionalnim tehnologijama. U prvom slučaju upotreba UZV donosi poboljšanje različitih procesa hrane, kao što su homogenizacije, miješanje, ekstrakcije, filtracije, kristalizacije, sušenja / dehidracije, fermentacije i otplinjavanja putem djelovanja protiv pjenjenja, smanjenja veličine čestica, privremenih ili trajnih modifikacija viskoznosti, modulacija rasta živih stanica, destrukcija stanica i disperzija agregata, inaktivacija mikroorganizama i enzima te sterilizacija opreme (Žlabur i sur., 2019; Karlović i sur., 2023; Kiani i sur., 2011; Tao i Sun, 2015). U prehrambenoj industriji djelovanje ultrazvuka visokog intenziteta se temelji na kavitacijskom fenomenu. Koristi se za dobivanje ekstrakata fitokompleksa bez mijenjanja njihovih organoleptičkih svojstava, što omogućuje daljnje razumijevanje njihovih funkcionalnih načela. Za ekstrakciju se može koristiti bilo koje otapalo ovisno o vrsti željenog ekstrakta, a proces se odvija isključivo na sobnoj temperaturi, što rezultira značajnim smanjenjem potrebnog vremena ekstrakcije, instrumentacije, energije i ljudskih resursa. Osim toga, korištenje ultrazvuka jamči smanjenje udjela bakterija u konačnom proizvodu zbog antibakterijskog učinka ultrazvuka. Konačno proces ekstrakcije dobio je biološki certifikat za upotrebu u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji (Shirsath i sur., 2012).

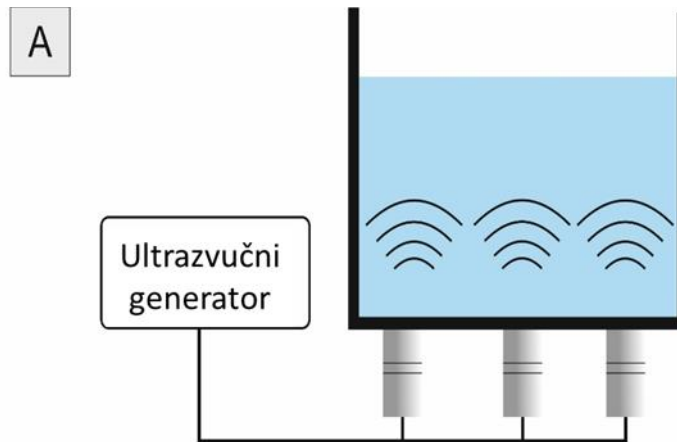
Upravo iz tih razloga učinci ultrazvuka smatraju se zanimljivima u prehrambenoj industriji, ponajviše zbog novih trendova okretanja potrošača prema funkcionalnoj hrani. Ne destruktivna priroda ove tehnologije nudi nekoliko mogućnosti za analizu sastava hrane (Arvanitoyannis i sur., 2017). Interakcija akustične energije s hranom uglavnom se događa kroz tekući medij budući da kavitacija te fizikalna i kemijska djelovanja inducirana ultrazvukom igraju važnu ulogu u promjenama kvalitete hrane tijekom njezine transformacije. Doista, implozija mjehurića stvara neobičan supstrat za kemijske reakcije mehaničkim razbijanjem stanične ovojnice i poboljšavanjem prijenosa unutar staničnog materijala (Feng i Lee, 2011). Na granici čvrste i tekuće tvari, čak i vodeni mlaz formiran prolaznom kavitacijom može doprinijeti nekim promjenama u općim svojstvima prehrambenog proizvoda. Svi kemijski i fizički učinci ultrazvuka su mikroskopski; međutim, interakcije ovih kemijskih i fizičkih reakcija izazvanih kavitacijom s hranom očituju se kroz makroskopske promjene koje potrošač percipira u smislu konzistencije, boje i okusa (Feng i Lee, 2011). Primjena visokoenergetskog/intenzivnog ultrazvuka poboljšava kvalitetu prerađene hrane i rezultira karakteristikama sličnim svježim proizvodima (boja, konzistencija, okus i hranjivi sastojci).

2.3.1. Ultrazvučni postupci

Ovisno o ultrazvučnom postavu uređaja mogu se omogućiti visoki intenziteti emitiranja ultrazvučnih valova. U postupcima gdje je potrebno osigurati niži intenzitet od 5 do 10 W/cm² primjenjuju se indirektni ultrazvučni postavi dok s druge strane, kada postoji potreba za velikim intenzitetima, osigurava se primjena postava s direktno uronjenom sondom (izravni tretman) (Andaluz- Mejía i sur., 2022; Theerthagiria i sur., 2020).

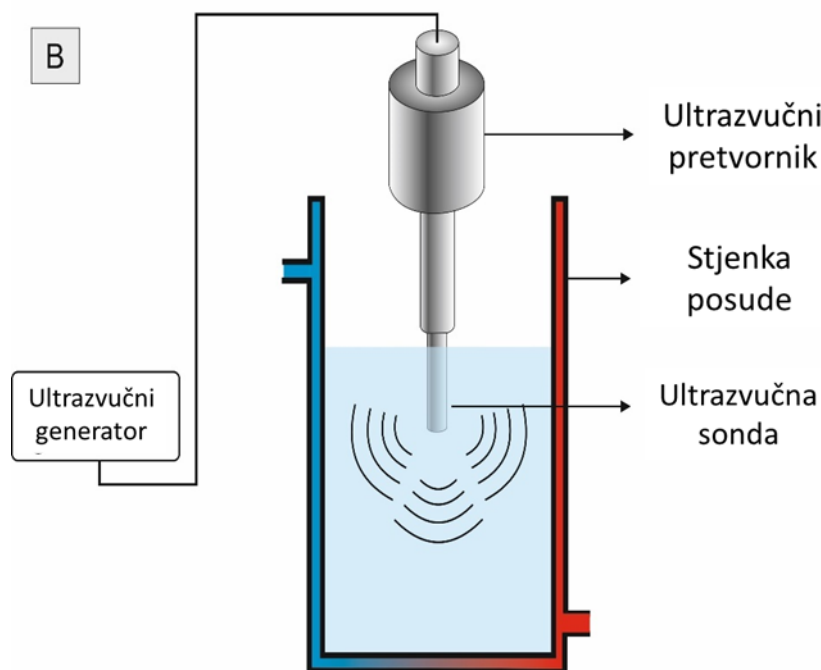
Indirektni ultrazvučni postav i njegov shematski prikaz vidljiv je na slici 2. Indirektni postav široko je korišten u metodama čišćenja i sanitacije te u procesima obrade hrane i pića. Ne toliko značajna primjena indirektnog ultrazvučnog postava je u kemijskoj industriji sa ciljem ubrzanja kemijskih reakcija zbog slabe ponovljivost same reakcije unatoč tome što je postav lak za rukovanje i ekonomski povoljan. Isporučeni intenzitet je relativno nizak i dodatno prigušen vodom koja se nalazi u spremniku postava. Također koristi se pri obradi tekućih uzoraka u posudama koje su uronjene u ultrazvučnu kupelj. (Mason i sur., 2005) Proizvodi intenzitete od oko 5 do 10 W/cm² i radi najčešće na frekvencijama od 20-40 kHz (Brnčić i sur., 2009). Kako bi se izbjeglo oštećenje stijenki spremnika kavitacijom često se koristi niži intenzitet i manja akustična snaga samog uređaja (Brnčić i sur., 2009). Neke od prednosti indirektnog ultrazvučnog postava su što se električnim mjeračem može podesiti trajanje

tretmana, amplituda te se može pratiti temperatura kao i još neki procesni parametri. Međutim nedostatak bi bio potreba za pronalaskom optimalnog mjesta za uzorak unutar kupelji da se time osigura ujednačen tretman.



Slika 2. Prikaz indirektnog ultrazvučnog postava (Brnčić i sur., 2009)

Sustav sa direktno uronjenom sondom omogućava primjenu značajno većih intenziteta, snaga ultrazvučnog procesora se isporučuje na malu površinu ispod vrha sonde u odnosu na sonde primijenjene u ultrazvučnoj kupelji gdje se dodatno stvara niz prepreka ultrazvučnim valovima prilikom tretmana. Ovaj sustav se naširoko koristi za tretiranje malih volumena uzoraka pri čemu treba biti oprezan zbog brzog porasta temperature u uzorku (Chemat i sur., 2011). Kao što možemo vidjeti na slici 3 takav sustav koristi metalni rog ili klin spojen na pretvornik. Metalni rog rezonira kao i pretvornik te širi akustične vibracije stvorene u pretvorniku. Postoje različitih oblika poput cilindrične, stepene i suženih sondi. Obično su izgrađene od kemijski inertnih materijala koji su otporni na kavitaciju i eroziju poput legura titana (Santos i Capelo, 2007).



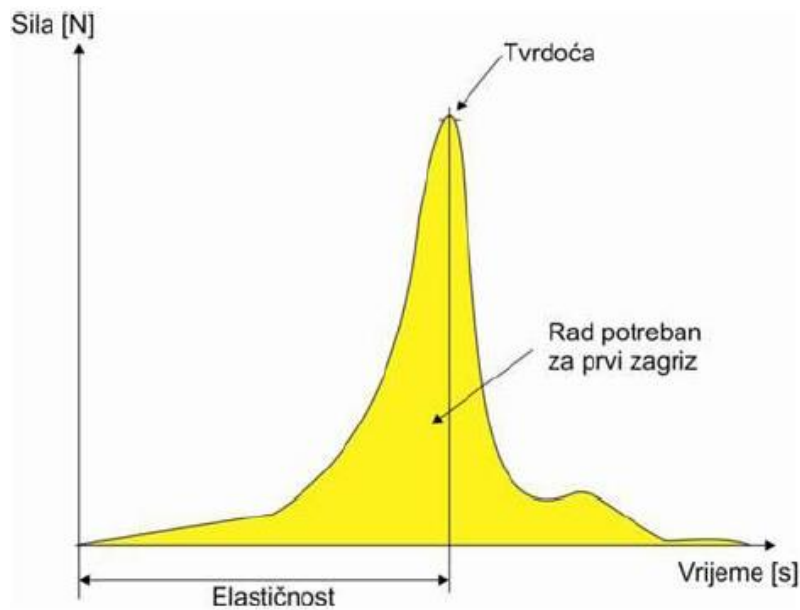
Slika 3. Prikaz direktnog ultrazvučnog postava (Karlović i sur., 2023)

Ideja korištenja ultrazvuka za sušenje nije nova. Prema Muralidhara i sur. (1985), prve studije o korištenju ultrazvuka u procesu sušenja provedene su 1950-ih Greguss (1963) i Boucher (1959) u zvučnom i ultrazvučnom području. U to vrijeme tehnika zvučnog i ultrazvučnog sušenja dalje se razvijala uglavnom u Sovjetskom Savezu (Kudra i Mujumdar, 2009). Ove studije su pokazale da je primjena ultrazvuka ubrzala proces sušenja bez drastičnog povećanja temperature. Iz tog razloga se smatralo da ultrazvuk poboljšava sušenje materijala osjetljivih na temperaturu, poput hrane. Razvoj modernih ultrazvučnih generatora velike snage u narednim godinama rezultiralo je obnovljenim interesom za sušenje ultrazvukom (Carcel i sur., 2014), Utvrđeno je da ultrazvuk može djelovati sinergistički s drugim tehnikama sušenja kako bi se u konačnici ubrzao rad samog procesa sušenja.

2.4. TEKSTURA

Tekstura je ključni atribut kvalitete koji se koristi u industriji svježe i prerađene hrane za procjenu kvalitete i prihvatljivosti proizvoda. Među karakteristikama teksture, tvrdoća (čvrstoća) je jedna od najvažnijih parametara voća i povrća, koji se često koristi za određivanje svježine hrane (Konopacka i Plocharski, 2004). Hrskavost je ključna osobina lomljive i hrskave hrane (Taniwaki i Kohyama, 2012). S obzirom na gelirane proizvode kao što su hrana za mišiće, elastičnost, kohezivnost, adhezivnost i gumastost značajna su svojstva za procjenu teksture (Akwetey i Knipe, 2012; Stejskal i sur., 2011). Tekstura hrane je uz okus i izgled jedna od

ključnih karakteristika za prihvaćenost kod potrošača. U slučaju odstupanja teksturalnih svojstava hrane od onih očekivanih potrošači dobivaju negativan dojam te je stoga bitan zadatak proizvođača hrane da proizvod ima dobre teksturalne karakteristike. Bilo kakvi procesi i obrada hrane mogu često izazvati i posljedično trajno promijeniti njenu teksturu. Teksturalna svojstva kvalitete hrane mogu se ocijeniti deskriptivnim, senzorskim ili instrumentalnim analizama. Kombinacija utroška vremena i visokih troškova senzorskih procjena dovela je do razvoja i široke upotrebe empirijskih mehaničkih testova koji su u korelaciji sa osjetilnom percepcijom hrane (Costa i sur., 2011; Kim i sur., 2012; Wang i sur., 2007). Tijekom godina uloženo je mnogo truda za poboljšanje instrumenata i mjernih tehnika te je korišten širok raspon instrumentalnih testova za smislenu procjenu teksture hrane i njenih teksturalnih svojstava. Instrumentalne metode ispitivanja teksture se dijele na empirijske, imitacijske i fundamentalne metode. Kod empirijskih metoda parametri teksture utvrđuju se prodiranjem u proizvod pomoću sonde ili noževa, rezanjem proizvoda, silom kompresije na proizvod ili miješanjem u slučaju tekućeg uzorka. Cilj imitacijskih metoda je da sustav za analizu teksture oponaša uvjete kojima je proizvod podvrgnut tijekom konzumacije (Kilcast, 2004). Mehanička mjerenja teksture hrane mogu se kategorizirati kao destruktivne i ne destruktivne metode. Na primjer, destruktivne uključuju ispitivanje savijanja u tri točke, savijanje s jednom oštricom (SENB) test, testove probijanja i penetracije i metoda „rezanje zuba“ koja koristi oštricu sjekutića (Jiang i sur., 2008). Te metode nalikuju mikro strukturnim i molekularnim mehanizmima i oponašaju proces žvakanja, no ne pružaju jasnu vezu sa osjećajem hrane u ustima. Nerazorne metode ne uzrokuju vidljiva oštećenja i tu pripadaju metode kvazi statičke sile-deformacije, metode odgovora na udar i sl. (prema Chen i Opara, 2013). I kod destruktivnih i ne destruktivnih mjerenja ključni parametar je sila. Stoga su tipični profili teksture sila u odnosu na vrijeme/udaljenost (pomak)/deformaciju. Način očitavanja interpretacije krivulja dobivenih prilikom ispitivanja svojstava tvrdoće, rada i elastičnosti ispitivanog materijala prikazan je na slici 4.



Slika 4. Karakteristična krivulja očitavanja teksturalnih svojstava (Brnčić i sur., 2010)

2.5.SUŠENJE

Sušenje je jedan od najstarijih načina očuvanja hrane kroz duži vremenski period. Sušenje je proces koji uključuje uklanjanje vlage s ciljem očuvanja namirnice tj. sprječavanje njenog mikrobiološkog kvarenja i produljenje roka trajanja u odnosu na svježi materijal, bez potrebe za hlađenim transportom i skladištenjem. U samim počecima sušenja tj. drevnim vremenima ljudi su otkrili da hrana ostavljena na suncu postaje osušena, lakša i duže traje. Na primjer, riba i meso bi se rasprostirali na stijenama ili visećim konstrukcijama kako bi se osušili pod direktnim sunčevim zračenjem. U regijama s jakim vjetrovima, hrana bi se sušila na visećim konstrukcijama gdje bi vjetar cirkulirao oko nje osiguravajući bolji prijenos mase, energije time ubrzavajući proces sušenja. Osim spomenutih tehnika drevnog sušenja tu je sušenje dimom, osim što suši hranu, dim daje specifičan okus i pomaže u očuvanju hrane od insekata i drugih štetnika. Riba i meso često su sušeni iznad vatre, gdje bi dim prodirao kroz hranu.

Posljedično prilikom uklanjanja vode iz namirnice dolazi do smanjenja mase i volumena te prevođenja hrane u oblik koji je prikladniji za njeno čuvanje, pakiranje, transport i primjenu.

2.5.1. Princip konzerviranja hrane sušenjem

Uspoređujući tradicionalne postupke sušenja (na suncu) s modernim tehnikama sušenja princip se nije značajno promijenio. Uslijed zagrijavanja neovisno o kojoj vrsti prijenosa topline se radi kondukcija, konvekcija ili elektromagnetsko zračenje, dolazi do odvijanja procesa prijenosa mase (vode), količine gibanja i topline, dok sama brzina sušenja ovisi o brzini tih prijenosa. Prvu fazu ili početak sušenja označava najveći gubitak slobodne vode iz ploda te rast brzine isparavanja sve dok se ne uravnoteži vlažnost između ploda i zagrijanog zraka. Drugu fazu označava površina ploda koja je zasićena vlagom te je brzina isparavanja jednaka brzini izviranja vode iz unutarnjih slojeva ka površini ploda ili je nešto manja od nje. Treću fazu karakterizira opadanje brzine sušenja koja nastaje uslijed smanjenja površine isparavanja te je u najvećoj mjeri isparavanje vode vezano za difuziju vode iz unutarnjih slojeva ploda (Lovrić, 2003). Pri čemu su temperatura, vlažnost zraka i brzina strujanja zraka glavni parametri koji utječu na brzinu sušenja (Karlović, 2013).

Voda koja se izdvaja u postupku sušenja u hrani može biti prisutna kao slobodna i vezana voda. Slobodna voda ustvari je voda koja se nalazi u površinskim slojevima, vezana je slabim vezama za samu namirnicu, voda u gelovima te voda prisutna kao kontinuirana faza u kojoj su suspendirane otopljene druge tvari. Vezana voda je u hrani je vezana vodikovim vezama prisutna kao voda u kapilarnom prostoru i kao voda vezana na soli (Marelja i sur., 2020).

Brzina sušenja i svojstva osušenog proizvoda ovise o vanjskim uvjetima procesa kao što su temperatura zraka, vlažnost, brzina i smjer strujanja zraka. Također brzina sušenja ovisi o unutarnjim uvjetima kao što su geometrija proizvoda, debljina, oblik i struktura.

Sam postupak sušenja uobičajeno se prikazuje pomoću dijagrama baziranog na jednadžbi u kojoj se u određenom vremenskom periodu sušenja utvrđuje gubitak vode iz uzorka:

$$w = a_2 \cdot t^2 + a_1 \cdot t + a_0 \quad [1]$$

w – udio vode u uzorku (%)

a_2, a_1, a_0 – koeficijenti jednadžbe

t – vrijeme sušenja (h).

Koeficijent nagiba pravca koje se računa prema formuli:

$$dw/dt = C + k \cdot t \quad [2]$$

gdje je: dw – količina vode u uzorku; dt – vrijeme sušenja; C – odsječak na osi y ; k – koeficijent nagiba; t - vrijeme sušenja omogućava nam usporedbu jednadžbi pravca sušenja. Što je sami koeficijent nagiba veći, to je vrijeme sušenja kraće.

2.5.2. Konvekcijski postupak sušenja

Konvekcijski postupak sušenja temelji se na sušenju uzorka u struji zagrijanog zraka pri definiranim parametrima kao što su: protok, temperatura, i ukoliko postoji mogućnost određena vlažnost zraka ili nekog drugog plina. U osnovi, toplina se prenosi s fluida na materijal, što uzrokuje isparavanje vlage iz materijala. Ova metoda sušenja često se koristi u prehrambenoj industriji, poljoprivredi, farmaciji i mnogim drugim sektorima. Prednosti konvekcijskog sušenja su njegova veća brzina u odnosu na druge metode sušenja, ujednačenije sušenje materijala, lakša kontrola i praćenje temperature i vlažnosti zraka te manje zauzimanje prostora samih uređaja za konvekcijsko sušenje.

Primjena konvekcijskog sušenja

1. **Prehrambena industrija:** Konvekcijsko sušenje se koristi za sušenje voća, povrća, mesa, ribe i mnogih drugih proizvoda kako bi se produžio njihov rok trajanja.
2. **Poljoprivreda:** Konvekcijske peći koriste se za sušenje žitarica i sjemena kako bi se spriječilo kvarenje.
3. **Farmacija:** U farmaceutskoj industriji, konvekcijsko sušenje koristi se za pripremu praškastih materijala i tableta.
4. **Keramika i građevinski materijali:** Ova metoda se često koristi za sušenje keramičkih materijala i opeke.

Konvekcijsko sušenje je iznimno važna metoda koja se široko koristi u mnogim industrijama zbog svoje učinkovitosti i sposobnosti pružanja kvalitetnih rezultata. Bilo da je riječ o očuvanju hrane, pripremi farmaceutskih proizvoda ili proizvodnji građevinskih materijala, konvekcijsko sušenje je ključna tehnologija koja pomaže u postizanju željenih rezultata. Iako konvekcijsko sušenje nudi brojne prednosti koje smo spomenuli primjena konvekcijskog postupka sušenja nosi s sobom niz izazova i nedostataka koji mogu imati značajan utjecaj na kvalitetu konačnog proizvoda i na ukupnu ekonomsku isplativost postupka sušenja.

Neki od parametara na koje treba posebno obratiti pažnju prilikom provođenja konvekcijskog postupka sušenja su:

Energetska potrošnja Konvekcijsko sušenje često zahtijeva značajne količine energije kako bi se osigurao kontinuirani protok toplog zraka potreban za sušenje. Ovo može rezultirati visokim troškovima, osobito u postrojenjima koja sušenje provode na velikoj skali.

Mogućnost degradacije proizvoda Kontinuirana izloženost visokim temperaturama tijekom sušenja može dovesti do degradacije određenih proizvoda. Na primjer, prehrambeni proizvodi mogu izgubiti nutricionističku vrijednost, aromu ili boju, dok određeni kemijski proizvodi mogu promijeniti svoju molekularnu strukturu.

Neujednačeno sušenje Iako se konvekcijsko sušenje često hvali zbog svoje ujednačenosti, postoji rizik od neujednačenog sušenja ako protok zraka nije ravnomjerno raspodijeljen. To može rezultirati dijelovima materijala koji ostaju vlažni, dok su drugi predugo izloženi toplini i postaju presuhi.

Rizik od kontaminacije Kod konvekcijskog sušenja postoji rizik da zrak koji se koristi za sušenje nosi sa sobom neželjene čestice ili mikroorganizme. Ako se zrak ne filtrira ispravno, postoji mogućnost kontaminacije konačnog proizvoda.

Infrastrukturni zahtjevi Uređaji za konvekcijsko sušenje mogu biti skupi za instalaciju i održavanje. Također, potrebno je osigurati odgovarajuće prostore kako bi se osigurala optimalna ventilacija i protok zraka, što može povećati početne troškove postavljanja.

Iako konvekcijsko sušenje donosi brojne prednosti, važno je razmotriti i njegove nedostatke prilikom odabira metode sušenja. U nekim primjenama, alternativne metode sušenja, poput sušenja pri sniženom tlaku, primjenom infracrvenih zraka, korištenje ne toplinskih tehnologija poput ultrazvuka visokog intenziteta kao jedne od tehnika predtretmana uzorka mogu pružiti bolje rezultate uz manje izražene nedostatke.

2.5.3. Kondukcijski postupak sušenja

Prijenos topline u kondukcijskim sušarama odvija se kontaktno između zagrijane površine i namirnice koja se suši i sam prijenos topline, mase i energije odvija se isključivo u području kontakta, metalne površine istovremeno služe kao nosači materijala prilikom sušenja. Postupak sušenja u kondukcijskom načinu prijenosa topline se može provoditi pri atmosferskom tlaku tj. klasični kondukcijski postupak sušenja ili sušenje pri sniženom tlaku tj. vakuumu (Lovrić, 2003). Prednosti kondukcijskog sušenja su eficientnost odnosno manji gubitak energije tokom procesa, preciznija kontrola temperature i smanjeni rizik od kontaminacije.

Primjena Kondukcijskog Sušenja

1. **Farmaceutska industrija:** Kondukcijsko sušenje često se koristi za sušenje osjetljivih farmaceutskih proizvoda koji zahtijevaju preciznu kontrolu temperature.
2. **Prehrambena industrija:** Za proizvode koji mogu biti oštećeni izravnim protokom toplog zraka, kondukcijsko sušenje može biti idealno rješenje.
3. **Kemijska industrija:** Za precizno sušenje kemijskih spojeva koji su osjetljivi na oksidaciju ili druge promjene kada su izloženi zraku.

Neki od uobičajenih parametara na koje treba posebno obratiti pažnju prilikom provođenja konvekcijskog postupka sušenja.

Neujednačeno sušenje koje se javlja u slučaju kad se toplina ne prenosi ravnomjerno, neki dijelovi materijala mogu biti prekomjerno sušeni dok drugi ostaju vlažni.

Energetska potrošnja: Iako je kondukcijsko sušenje često energetske efikasno, može zahtijevati visoke početne energetske troškove zbog potrebe za zagrijavanjem kondukcijskih površina.

2.5.4. Sušenje – elektromagnetskim zračenjem

Infracrvena sušara za sušenje se bazira na primjeni elektromagnetske energije infracrvenih zraka. Spektar infracrvenih zraka nalazi se između vidljive svjetlosti i mikrovalova. Izlaganjem uzorka infracrvenim zrakama dolazi do njihovog apsorpiranja, što uzrokuje vibracije i rotacije molekula, što rezultira povećanjem unutarnje energije i temperature materijala. Na taj način, vlaga unutar materijala isparava, sušeci materijal iznutra prema van. Sušenjem bioloških materijala važno je izbjegavati temperature infracrvenog grijača koje su veće od 830 °C, uz maksimalnu temperaturu zraka do 80 °C, jer može doći do oštećenja površine proizvoda i pojave čađavosti (Kahveci i Cihan, 2007). Prednosti infracrvene sušare su veća brzina sušenja, ušteda energije, ujednačeno sušenje materijala te manji rizik od kontaminacije materijala tokom procesa sušenja.

Primjena infracrvene sušare

1. **Prehrambena industrija:** Sušenje voća, povrća i mesa koristeći infracrvenu sušaru kako bi se sačuvala njihova nutritivna vrijednost.
2. **Farmaceutska industrija:** Za sušenje tableta i drugih oblika lijekova.
3. **Polimeri i plastika:** Infracrveno sušenje često se koristi za sušenje premaza i plastika.
4. **Tiskarska industrija:** Brzo sušenje tinte na papiru ili drugim medijima.
5. **Keramika:** Sušenje keramičkih premaza ili glazura.

Infracrvene sušare pružaju snažnu alternativu tradicionalnim metodama sušenja, koristeći tehnologiju koja je energetske učinkovita i pruža visoku kvalitetu sušenja. U specifičnim industrijama i aplikacijama, one mogu nuditi prednosti koje druge sušare ne mogu dostići. Međutim, važno je razumjeti i ograničenja primjene ove tehnologije koja je uglavnom takav način sušenja posebno je pogodan za sušenje tankih materijala s velikom površinom izloženom zračenju. Infracrveno zračenje se pri manjim valnim duljinama prenosi kroz vodu, dok se pri većim valnim duljinama apsorbira na površini, stoga je sušenje tankih slojeva materijala učinkovitije pri većim valnim duljinama (25-100 μm), a sušenje debljih slojeva pokazuje bolje rezultate u blizini infracrvenog zračenja (NIR, 0,75-3 μm). Učinkovitost uređaja je 80 do 90 %, uređaji su malih dimenzija, a vrijeme postupka je kratko te je nizak utrošak energije (Nowak i Lewicki, 2004).

2.5.5. Promjene prilikom sušenja

Uspoređujući prve postupke sušenja na suncu sa današnjim postupcima sušenja u kontroliranim uvjetima sušenje je energetske zahtjevan postupak s udjelom od čak 15 % ukupne potrošnje energije u industriji.

Usljed neadekvatnog vođenja postupka sušenja može doći do povećanog utroška energije i neželjenih negativnih učinaka na kvalitetu osušenog proizvoda. Cilj svakog postupka sušenja namirnica nije samo uklanjanje vlage dovođenjem topline nego i očuvanje kvalitativnih karakteristika namirnice (okus, boja i teksturalna svojstva) (Kumar i sur., 2014).

Zbog gubitka značajnog volumena tekućine tijekom sušenja dolazi do fenomena skupljanja, promjene poroznosti sušenog materijala, također djelovanjem topline dolazi do promjena svojstva staničnih stijenki pa postaju propusnije za vodu i veće molekule koje su u njoj otopljene. To uzrokuje postupno koncentriranje otopljenih tvari u perifernim dijelovima namirnice te se posljedično pojačavaju razni degenerativni procesi, kao što su reakcije neenzimskog posmeđivanja, otvrdnjavanje i kvrčenje površinskog sloja namirnice (Lovrić, 2003).

Kako bi se spriječilo stvaranje stvrdnutog sloja na površini materijala i začepeljivanje pora, čime je onemogućen daljnji izlazak vode tijekom sušenja uslijed čega dolazi do nedovoljne osušenosti proizvoda, lako pucaju te su narušena njegova senzorska i fizikalno-kemijska svojstva potrebno je osigurati kontinuiranu (optimalnu) difuziju vode iz samog proizvoda prema površini (Marelja i sur., 2020; Karlović, 2013).

U posljednjim desetljećima zahtjevi potrošača vezano za kvalitetu i sigurnost hrane znatno su se promijenili. Potrošači su sve bolje educirani i svjesni su da način prehrane znatno utječe na njihovo zdravlje što postaje sve važniji kriterij pri izboru prehrambenih proizvoda. S druge strane, navedeno predstavlja veliki izazov proizvođačima hrane da kreiraju proizvode koji će, pored osiguranja hranjivih tvari, poboljšati fizičko i mentalno stanje potrošača (Obradović i sur., 2016).

2.6. BOJA

Boja je dio elektromagnetskog spektra koji je vidljiv ljudskom oku te obuhvaća valne duljine od 400 do 780 nm. Ima veliku ulogu u prihvatljivosti proizvoda i povezana je sa percepcijom okusa potrošača kao i sa kvalitetom proizvoda. Kako je već navedeno, obrada hrane ima utjecaj na fizikalna svojstva namirnica, te je prilikom sušenja hrane potrebno obratiti pažnju kako bi konačni proizvod bio vizualno prihvatljiv. Boja materijala može se određivati senzorskim i instrumentalnim metodama. Senzorske metode određivanja boje moraju biti precizne, a često se opažanje boje razlikuje ovisno o osjetljivosti oka promatrača, veličine predmeta, izvora svjetlosti (Šumić, 2014). Prilikom instrumentalnog određivanja boje namirnica, koristi se kolorimetar visoke osjetljivosti. CIE – L* a* b* sustav (trodimenzionalni prostor) je temeljen na percepciji boje stranog promatrača. Koordinate CIE – L* a* b* sustava odgovaraju teoriji suprotnih boja tj. parova.

3.EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Uzorak

- U ovome eksperimentu korištena je bundeva vrste *Cucurbita moschata*, točnije njen kultivar poznatiji pod nazivom Muškatna tikva („butternut“) koji se skladištio u mračnoj i hladnoj prostoriji.

3.2. UREĐAJI I OPREMA

- Laboratorijska vaga GP4102 Sartorius, Libra elektronik, Hrvatska
- Laboratorijsko posuđe (epruvete, laboratorijske čaše, laboratorijske boce, menzure, odmjerne tikvice, kivete, nastavci za pipete, plastične posude)
- Ultrazvučna kupelj - indirektni ultrazvučni postav Elmasonic P 300 H, Elma – Hans Schmidbauer GmbH & Co., Njemačka
- Ultrazvučni uređaj direktni postav UP400S Hielscher Ultrasonics GmbH, Njemačka
- Infracrvena sušara LJ16, Mettler-Toledo, Leicester, UK
- Konvekcijska sušara UOP8 MKII ARMFIELD, Ringwood, Velika Britanija
- Instrument za mjerenje potrošnje energije EMOS SI d.o.o., Slovenija
- Analizator teksture Texture Analyser TA HDPlus, Stable Micro System, Velika Britanija
- Kolorimetar LC 100 Spectrocolorimeter
- Uređaj za vakuumiranje LAVEZZINI START GAS, Italija
- pH metar (SevenEasy, Mettler-Toledo)
- Ručni podesivi rezač za povrće
- Ručna drobilica
- Kuhinjski nož
- Aluminijska folija

3.3. METODE RADA

3.3.1. Priprema uzoraka

Bundevi je ručno oguljena kora, odstranjene su sjemenke te je narezana na kriške debljine 3-4 mm. Uz pomoć laboratorijske vage Sartorius GP 4102 (Sartorius, Libra elektronik, Hrvatska) izvagano je oko 360 g uzorka.

3.3.2. Predtretman ultrazvukom

3.3.2.1. Indirektni ultrazvučni predtretman

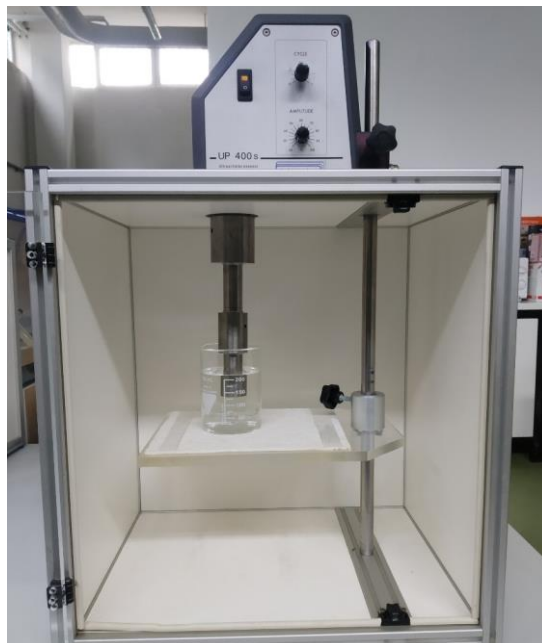
Predtretman je proveden pomoću djelovanja ultrazvučnih valova primjenom indirektnog ultrazvučnog predtretmana prikazanog na slici 5 Elmasonic P 300 H (Elma – Hans Schmidbauer GmbH & Co., Njemačka) maksimalne snage 300 W i frekvencije 37 kHz. Sustav je prije svakog tretmana napunjen sa 7 L destilirane vode. Prethodno pripremljeni uzorci su raspoređeni u jednom sloju između dviju mrežica od nehrđajućeg čelika kako bi se spriječilo njihovo pomicanje tijekom trajanja predtretmana. Svi predtretmani su izvođeni pri frekvenciji od 37 kHz, pri tri različite amplitude (30, 60 i 90 %) te pri različitim vremenskim intervalima (30, 45 i 60 min). Nakon završene ultrazvučne obrade uzorci su obrisani kuhinjskim papirom kako bi se uklonila suvišna voda s površine uzoraka.



Slika 5. Indirektni ultrazvučni postav Elmasonic P 300 H (vlastita fotografija)

3.3.2.2. Direktni ultrazvučni tretman

Ultrazvučni tretman proveden je pomoću direktnog ultrazvučnog uređaja visokog intenziteta Hielscher Ultrasonics (UP400S) prikazanog na slici 6. Uzorci narezane bundeve uronjeni su u 450 mL hladne vode i tretirani uranjanjem ultrazvučne sonde 1,5 cm ispod površine vode primjenom amplituda od 30 %, 60 % i 90 % pri stalnoj frekvenciji od 24 kHz, u vremenu od 3, 6 i 9 minuta. Prilikom tretmana je korištena je ultrazvučna sonda promjera 22 cm. Laboratorijska čaša volumena 600 mL s 50 g bundeve u 400 ml destilirane vode uronjena je u plastičnu posudu s hladnom vodom radi održavanja temperature. Po završetku tretmana određena je tekstura i boja predtretiranih uzoraka. Neiskorišteni i predtretirani uzorci se čuvaju u hladnjaku na +4 °C do provođenja postupka sušenja.



Slika 6. Direktni ultrazvučni postav Hielscher Ultrasonics (UP400S) (vlastita fotografija)

3.3.3. Sušenje uzorka

Svi uzorci bundeve sušeni su u konvekcijskoj sušari (ARMFIELD UOP8-. MKII, Ringwood, England) prikazanoj na slici 7 pri temperaturi od 60 °C i protoku zraka 0,5 m/s neovisno o odrađenom predtretmanu. Sušenje se provodilo sve dok udio vlage u uzorcima nije pao na 18 %, gubitak mase tj. vlage praćen je preko programa sušare koji se njen sastavni dio i preko kojeg se vodi cijeli proces. Gubitak mase tj. masa uzorka u postupku sušenja bilježena je svake dvije minute.

Ukupni udio vlage u uzorku prethodno određen sušenjem oko 10 g uzorka koji je sušen u infracrvenoj sušari do konstantne mase.



Slika 7. Konvekcijska sušara (ARMFIELD UOP8- MKII, Ringwood, England) vlastita fotografija)

3.3.4. Utrošak energije

Pomoću instrumenta za mjerenje potrošnje energije (EMOS SI d.o.o., Slovenija) mjeren je utrošak energije tokom svakog predtretmana neovisno o njegovoj vrsti. Također je mjeren utrošak tokom sušenja uzoraka u konvekcijskoj sušari. Ukupan utrošak energije je preračunat i prikazan u rezultatima kao kWh na 100 g svježeg uzorka.

3.3.5. Određivanje pH vrijednosti

Princip metode:

Metoda se zasniva na mjerenju koncentracije vodikovih iona u uzorku. Očitavanje pH vrijednosti na ekranu uređaja provodi se kada se pH vrijednost stabilizira.

Postupak:

Tijekom ispitivanja je korišten uređaj SevenEasy Mettler Toledo s kojeg se očitavala pH vrijednost uzoraka. Nakon pripreme homogeniziranog uzorka u laboratorijskoj čaši, uronjena je elektroda pH-metra. Prije i nakon svakog mjerenja bilo je potrebno isprati elektrodu destiliranom vodom kako bi se uklonili ostaci uzorka na zakrivljenim mjestima elektrode te je zatim posušiti. Svakoj skupinu uzoraka određena je pH vrijednost prije i nakon predtretmana ultrazvukom. pH osušenih uzoraka nije određivan.

3.3.6. Analiza teksture

Princip metode:

Tekstura se mjeri metodom tlačenja odnosno rastezanju uzorka, ovisno o vrsti ispitivanja koje se provodi. Parametri koji se očitavaju u svrhu određivanja teksture kriški bundeve su sila probijanja površine uzorka, progib površine uzorka prije probijanja i rad probijanja površine uzorka. Uređaj je povezan sa računalom a parametri su se očitali iz pripadajućeg programa iz kojeg se vrše očitavanja.

Postupak:

Za analizu teksture upotrijebljen je instrumentalni analizator teksture Texture Analyser TA HDPlus (Stable Micro System, Velika Britanija) prikazan na slici 8 opremljen sondom promjera 4 mm, s masom mjerne ćelije od 5 kg. Dubina prodiranja sonde podešena je na 5 mm uz brzinu sonde prije probijanja uzorka od 1 mm/s, a 0,5 mm/s u postupku penetracije uzorka. Računalo je postavljeno tako da počinje zapisivati vrijednosti kada sonda dođe u kontakt s uzorkom.

Program Exponent Stable Micro Systems ver. 6.1.18.0. koji dolazi od strane proizvođača korišten je za potrebe interpretacije rezultata analize. Rezultati su interpretirani preko tri faktora: tvrdoća (N), elastičnost (mm) i rad (Nmm). Sila u trenutku probijanja površine 25 uzorka interpretira se kao tvrdoća uzorka i očitava se direktno, a predstavlja najveći pik na generiranom dijagramu. Udaljenost od početka krivulje do vrijednosti maksimalne sile na apscisi predstavlja elastičnost, dok se rad potreban za zagriz određuje obradom podataka u službenom softveru. Analiza teksture provedena je na kontrolnim netretiranim uzorcima bundeve, svim uzorcima predtretiranim ultrazvukom visokog intenziteta (direktni i indirektni ultrazvučni postav) te svim osušenim uzorcima, a iz svake skupine uzete su tri paralele.

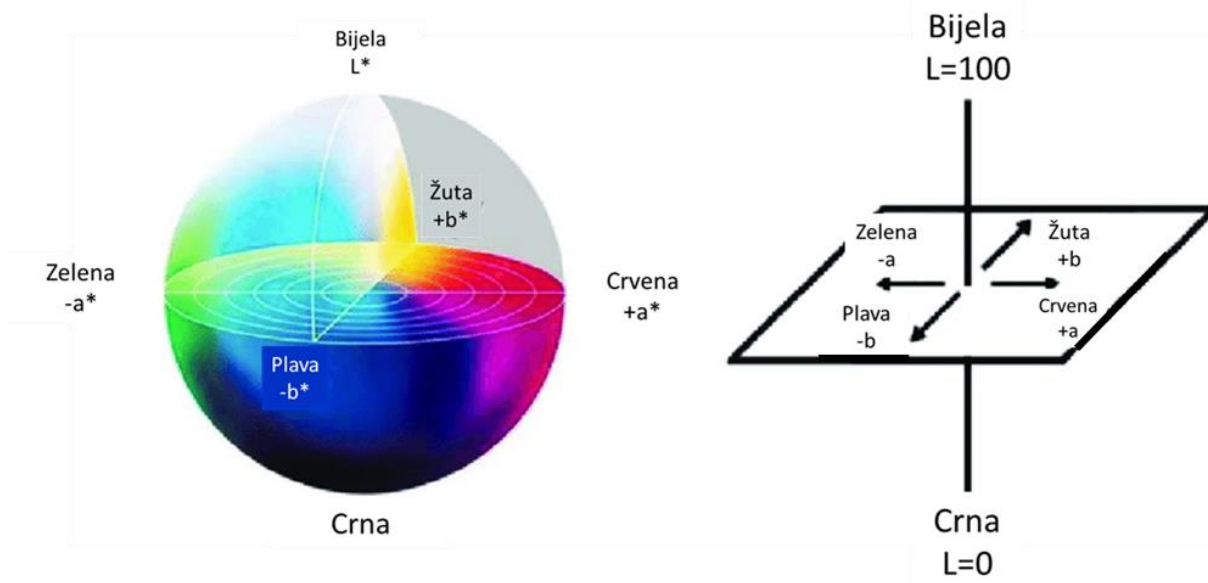


Slika 8. Uređaj za analizu teksture Texture Analyser TA HDPlus (vlastita fotografija)

3.3.7. Određivanje boje

Princip metode:

Za određivanje parametara boje primijenjena je objektivna CIE LAB metoda koja je ujedno najbliža vizualnoj percepciji. Iako takva metoda ne daje u potpunosti točnu definiciju boje, vrlo je efikasna u određivanju razlike boja i praćenju promjene boje tijekom obrade i skladištenja hrane. Boja je definirana parametrima L^* , a^* i b^* koji opisuju koordinate boje u 3D prostoru što je vidljivo na slici 9. Vrijednost L^* označava svjetlost određene boje u rasponu od 0 (potpuno crna boja) do 100 (bijela boja). a^* je u rasponu vrijednosti od -100 do +100, pri čemu su negativne vrijednosti ekvivalentne zelenoj dok su pozitivne vrijednosti ekvivalentne crvenoj. b^* vrijednosti su u istom rasponu, tako da negativne vrijednosti predstavljaju približavanje plavoj boji, dok pozitivne vrijednosti predstavljaju približavanje žutoj boji (Konica-Minolta, 2003).



Slika 9. CIELAB trodimenzionalni sustav boja (prema Kuru, 2014)

Udaljenost od središnje osi predstavlja intenzitet boje (C^*) koji se opisuje jednadžbom 3:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [3]$$

C^* - metrička kroma

a^* - numerička vrijednost boje u $L^*a^*b^*$ sustavu

b^* - numerička vrijednost boje u $L^*a^*b^*$ sustavu

Boja iz voća najviše dolazi iz 3 pigmenta: klorofil (zelena boja), karotenoidi (crvena/žuta boja) i antocijanini (plava/ljubičasta). Zbog praćenja kvalitete proizvodnje određenog proizvoda, bitno je da su osušeni uzorci materijala ujednačeni bojom te da se sušenje ispravno provelo do kraja. ΔE^* parametar prikazuje koliko određeni proizvod odstupa od referentne boje i može se prikazati jednadžbom 4 (Xiao, 2008) pri čemu se iz tablice 1 mogu očitati intervali ΔE^* parametra boje povezanih sa vizualnim zapažanjem.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L^*_{ref})^2 + (a^* - a^*_{ref})^2 + (b^* - b^*_{ref})^2} \quad [4]$$

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.

Tablica 1. Intervali usporedbe vrijednosti ukupne promjene boje (ΔE^*) s referentnim uzorkom (Candan i sur., 2021)

ΔE^* vrijednost	Značenje (razlika u boji)
0-0,2	Nema vidljive razlike
0,2-2,0	Vrlo slabo uočljiva
2,0-3,0	Primjetna (slabo uočljiva)
3,0-6,0	Uočljiva (značajna)
6,0-12,0	Vrlo uočljiva (velika)
>12	Vrlo velika

Postupak:

Za određivanje parametara boje korišten je kolorimetar LC 100 koji kao svjetlosni senzor upotrebljava foto diode na bazi silicija. Ispitivani uzorci postavljeni su tako da prekriju cijeli otvor promjera 20 mm. Mjerenje je provedeno u tri paralele za svaku skupinu uzoraka.

3.3.8. Obrada podataka

Ekperimentalno dobiveni podatci analiza uzoraka obrađeni su pomoću programa MS Excel, GraphPad Prism 9.1.2. u kojima su određene srednje vrijednosti i standardne devijacije te provedena statistička analiza rezultata varijance “ANOVA” koja izražava signifikantnost varijabli $p < 0,05$.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je pratiti i odrediti utjecaj različitih intenziteta i trajanja predtretmana ultrazvuka visokog intenziteta primjenom direktnog i indirektnog ultrazvučnog postava na definirane karakteristike *butternut* bundeve boja, teksture, pH, te na utrošak energije i vrijeme sušenja primjenom konveksijske sušare. Rezultati su interpretirani i prikazani u obliku tablica uz prikaz srednjih vrijednosti, standardnih devijacija, grafikona i slika. Uz statistički obrađene podatke navede su p i R^2 vrijednosti.

4.1. SUŠENJE

Svi uzorci bundeve neovisno o predtretmanu sušeni su pri temperaturi od 60 °C uz konstantan protok zraka od 0,5 m/s do konstantne mase odnosno do konstante vlažnosti od 18 %.

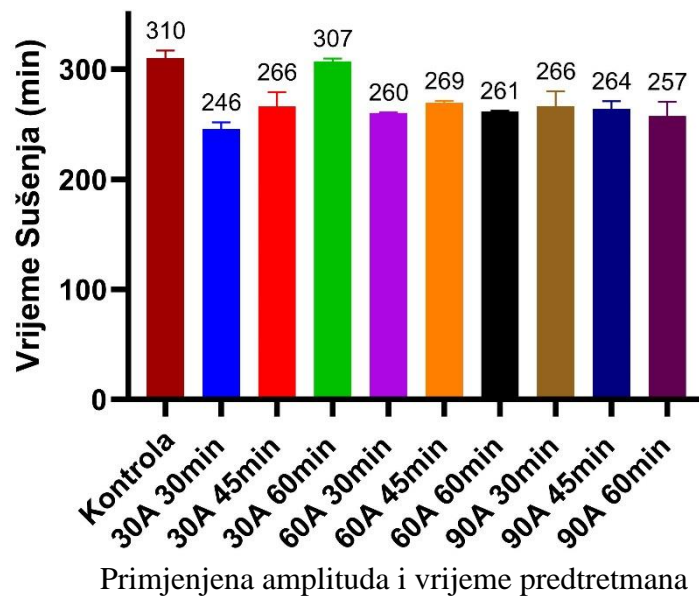
Utvrđena je statistički značajna razlika između kontrolnog sušenja i predtretiranih neovisno o primijenjenom ultrazvučnom postavu. Pojedinačno iz prikazanih rezultata u tablici 2 vidljiv je statistički značajan utjecaj indirektnog ultrazvučnog postava uz repetitivnost od $R^2 = 0,9215$, također iz tablice 2 možemo očitati i statistički značajan utjecaj direktnog ultrazvučnog predtretmana uz repetitivnost od $R^2=0,9598$.

Tablica 2. Rezultati analize varijanci vremena sušenja netretiranih i predtretiranih uzorka primjenom direktnog i indirektnog ultrazvučnog predtretmana.

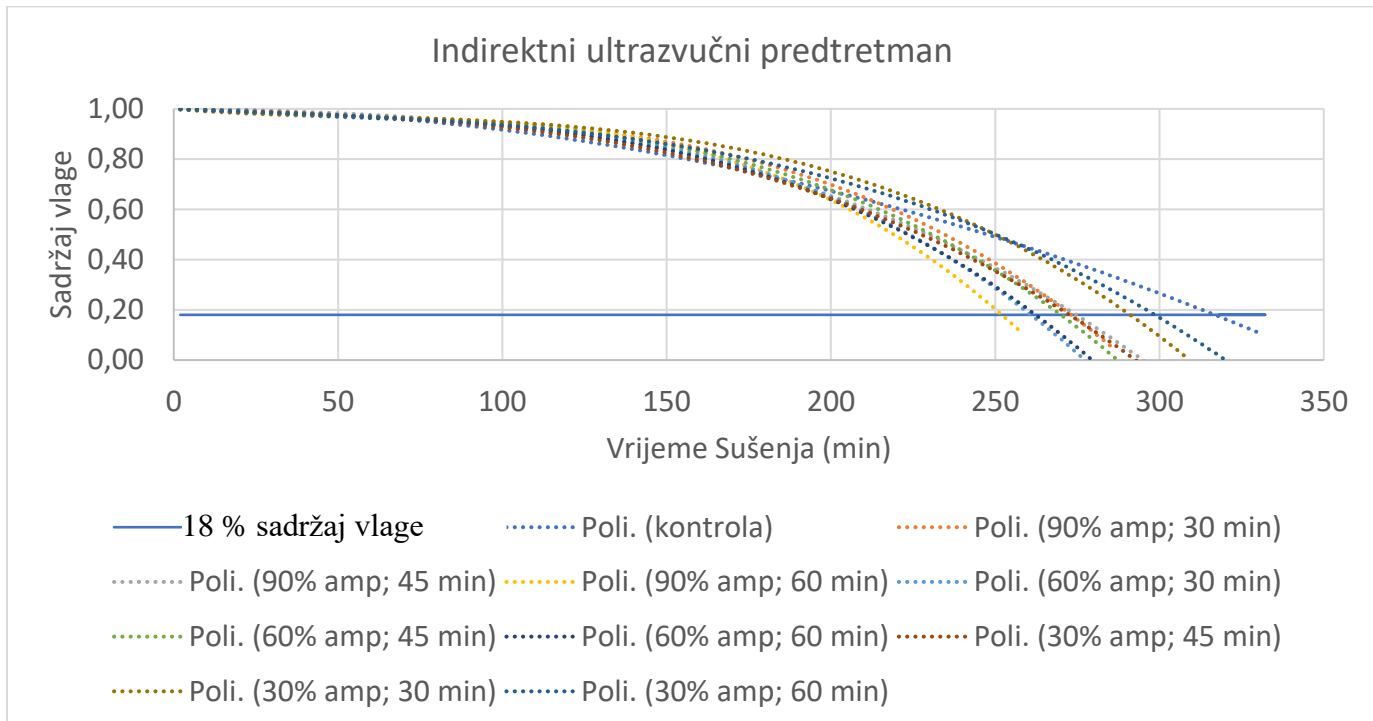
Vrijeme sušenja	Indirektni ultrazvučni postav	Direktni ultrazvučni postav
p	<0,0002	<0,0001
R^2	0,9215	0,9598

Promatrajući pojedinačno vremena sušenja uzorka predtretiranih primjenom indirektnog ultrazvučnog predtretmana prikazanih na slici 10 i 11 vidljiv je pozitivan utjecaj svih primijenjenih predtretmana u vidu skraćanja vremena sušenja. Najkraće vrijeme sušenja utvrđeno je kod uzorka podvrgnutog predtretmanu primjenom amplitude od 30 % u trajanju 30 minuta što je potvrđeno Brown-Forsythe-ovim testom i Welch ANOVA testom kojim je kod spomenutog uzorka utvrđena statistički značajna razlika u skraćanju vremenu sušenja uspoređujući sa kontrolnim ($p=0,0366$). Primijenjenim predtretmanom postignuto je skraćenje

vremena sušenja od 20,64 %. Uspoređujući same predtretmane također je utvrđeno postojanje značajnih razlika u varijancama unutar grupa što je i očekivano.



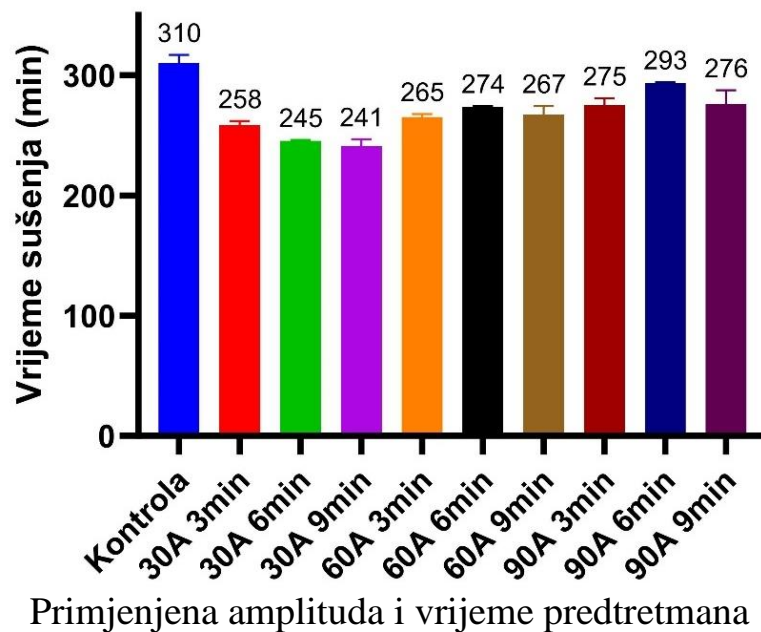
Slika 10. Dijagram ovisnosti vremena sušenja o primijenjenoj amplitudi i vremenu predtretmana primjenom indirektnog ultrazvučnog postava.



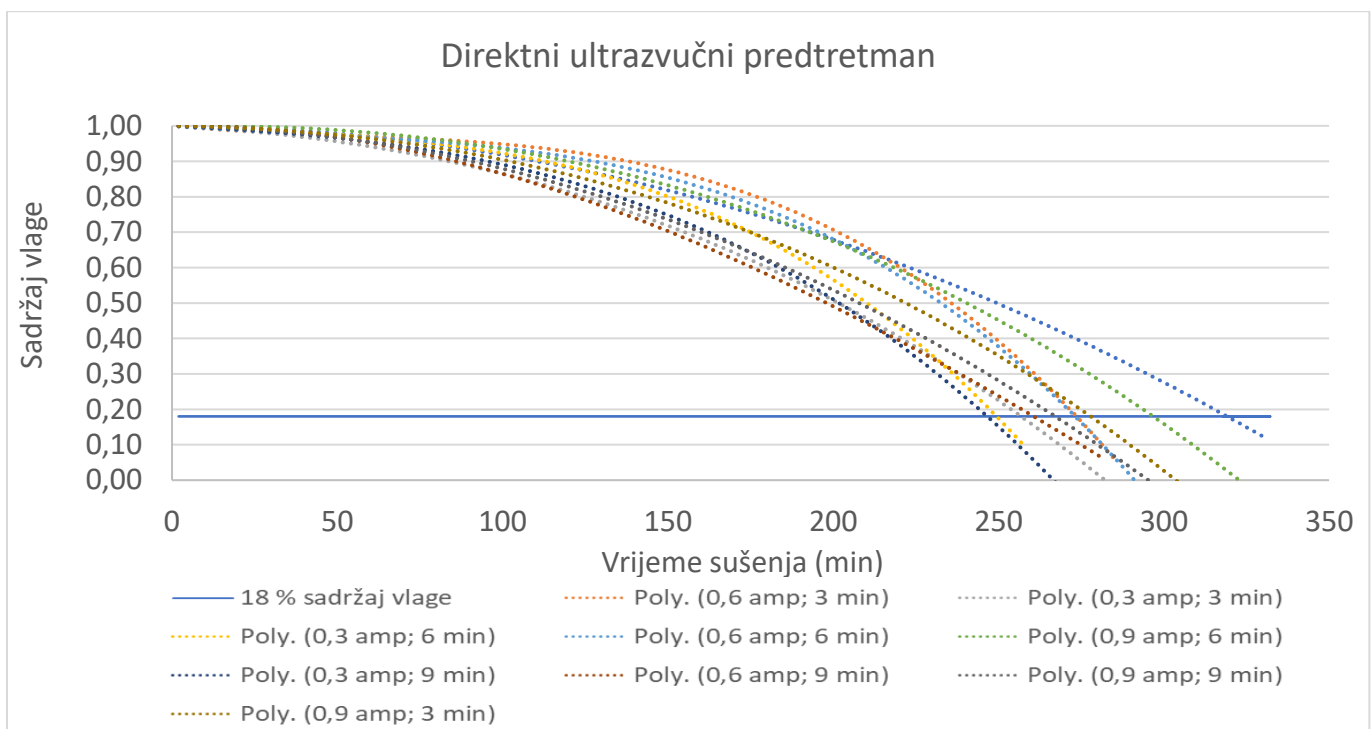
Slika 11. Dijagram ovisnosti vremena sušenja o udjelu vlažnosti uzoraka predtretiranih indirektnim ultrazvučnim predtretmanom

Iz rezultata prikazanih na slici 12 i 13 na kojoj je prikazan utjecaj direktnog ultrazvučnog predtretmana na vrijeme sušenja vidljiv je pozitivan utjecaj primijenjenih amplituda i vremena tretmana kod svih uzoraka u vidu skraćanja vremena sušenja. Najkraće vrijeme sušenja postignuto je primjenom ultrazvučnog predtretmana amplitude od 30 % i vremena od 9 minuta čime je postignuto skraćanja vremena sušenja od 22,25 %, što je potvrđeno Brown-Forsythe-ovim testom i Welch ANOVA testom kojim je kod spomenutog uzorka utvrđena statistički značajna razlika u skraćanju vremenu sušenja uspoređujući sa kontrolnim ($p=0,0307$). Također kao i kod indirektnog predtretmana utvrđeno je da postoje značajne razlike u varijancama unutar grupa odnosno uzoraka tretiranih pri različitim frekvencijama i amplitudama.

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da se primjenom ultrazvuka visokog intenziteta neovisno o primijenjenom ultrazvučnom predtretmanu postiže pozitivan učinak u vidu smanjenja vremena potrebnog za sušenje što je posljedica pozitivnog učinka tj. povećane efikasnosti difuzije vode i učinkovitijeg prijenosa mase, što je izravna posljedica povećavanja postojećih i stvaranja novih pora u strukturi. Dobiveni rezultati su u skladu sa istraživanjima autora Szadzińska i sur. (2019) koji su utvrdili skraćanje vremena sušenja jabuka od čak 58 % uz povećanje efikasnosti difuzije vode od 93 % i povećanje prijenosa mase od 30 %. Autori Dehsheikh i sur. (2019) primjenom ultrazvučnog predtretmana i konvekcijskog postupka sušenja banana uz primjenu temperature od 60 °C i protok zraka od 3 m/s utvrdili su skraćanje vremena sušenja od 21,6 %. U sklopu istraživanja Dias da Silva i sur. 2016. primjenom konvekcijskog postupka sušenja dinje pri temperaturi od 60 °C uz protok od 2 m/s utvrdili su skraćanje vremena sušenja od 12,8 %.



Slika 12. Dijagram ovisnosti vremena sušenja o primijenjenoj amplitudi i vremenu predtretmana primjenom direktnog ultrazvučnog postava.



Slika 13. Dijagram ovisnosti vremena sušenja o udjelu vlažnosti uzoraka predtretiranih direktnim ultrazvučnim predtretmanom

4.2. UTROŠAK ENERGIJE

Usljed sve veće cijene energenata uz skraćenje vremena potrebno je obratiti pozornost da li se uz skraćenje vremena sušenja postiže i ušteda u utrošku energije. Iz tog razloga uz vrijeme sušenja analiziran je ukupan utrošak energije u postupku sušenja i provedenog postupka ultrazvučnog predtretmana.

Utvrđena je statistički značajna razlika u utrošku energije između kontrolnog sušenja i predtretiranih neovisno o primijenjenom ultrazvučnom predtretmanu i postavu. Iz pojedinačno prikazanih rezultata u tablici 3 vidljiv je statistički značajan utjecaj indirektnog ultrazvučnog postava uz repetitivnost od $R^2 = 0,9605$, također iz tablice 3 možemo očitati i statistički značajan utjecaj direktnog ultrazvučnog predtretmana uz repetitivnost od $R^2 = 0,9927$.

Tablica 3. Rezultati analize varijanci ukupnog utroška energije sušenja netretiranih i predtretiranih uzorka primjenom direktnog i indirektnog ultrazvučnog predtretmana.

Utrošak energije	Indirektni ultrazvučni postav	Direktni ultrazvučni postav
p	<0,0001	<0,0001
R ²	0,9605	0,9927

Promatrajući pojedinačno ukupni utrošak energije potreban za sušenje 100 svježeg uzorka predtretiranih primjenom indirektnog ultrazvučnog predtretmana prikazanih u tablici 4 vidljiv je pozitivan utjecaj svih primijenjenih predtretmana neovisno o primijenjenoj amplitudi i vremenu u vidu smanjenja ukupnog utroška energije uspoređujući sa kontrolnim uzorkom. Najmanji ukupni utrošak energije u postupku sušenja uzoraka primjenom indirektnog ultrazvučnog predtretmana postignut je pri amplitudi od 30 % u trajanju 30 minuta što je u skladu sa postignutim najkraćim vremenom sušenja primjenom identičnih parametara. Također primjenom Brown-Forsythe-ovog testa i Welch ANOVA testa pri navedenim parametrima je utvrđena statistički značajna razlika u utrošku energije uspoređujući sa kontrolnim uzorkom ($p=0,0151$). Primijenjenim predtretmanom postignuta je ušteda u ukupnom utrošku energije potrebne za sušenje 100 g svježeg proizvoda u iznosu od 28,77 % Uspoređujući same predtretmane također je utvrđeno postojanje značajnih razlika u varijancama unutar pojedinih predtretmana što je i očekivano.

Tablica 4. Rezultati ukupnog utroška energije potrebnog za sušenje 100 g svježeg uzorka do 18 % vlažnosti ovisno o primijenjenoj amplitudi i vremenu tretmana indirektnog ultrazvučnog postava.

Amplituda (%)	Vrijeme tretmana (min)	Ukupni utrošak energije (kWh/100g svježeg uzorka)	
Kontrolni uzorak 0	0	2,185 ± 0,049	
	30	1,547 ± 0,039	
	30	45	1,660 ± 0,078
	60	1,701 ± 0,015	
60	30	1,629 ± 0,002	
	45	1,858 ± 0,012	
	60	1,662 ± 0,006	
90	30	1,874 ± 0,091	
	45	1,904 ± 0,047	
	60	1,927 ± 0,089	

Iz rezultata prikazanih u tablici 5 vidljiv je pozitivan utjecaj direktnog ultrazvučnog predtretmana kod svih uzoraka u vidu smanjenja ukupnog utroška energije. Najmanji ukupan utrošak energije postignut je kod uzorka pred tretiranog primijenjenom amplitudom od 30 % i vremenu od 6 minuta što je također potvrđeno primjenom Brown-Forsythe-ovog testa i Welch ANOVA testa gdje je pri navedenim parametrima utvrđena statistički značajna razlika u utrošku energije uspoređujući sa kontrolnim uzorkom čime je postignuta ušteda u ukupnom utrošku energije od 31,05 %. Iako pri navedenim parametrima nije postignuto najkraće vrijeme sušenja uslijed statistički neznačajne razlike u vremenu skraćanja potrebnog vremena sušenja uspoređujući sa parametrima pri kojima je postignuto najkraće vrijeme sušenja a to su 30% amplitude i vrijeme tretmana od 9 minuta što predstavlja 3 minute duži predtretman i veći ukupni utrošak energije koji je neophodan za sušenje 100 g svježeg proizvoda. Također kao i kod indirektnog predtretmana utvrđeno je da postoje značajne razlike u varijancama unutar grupa odnosno uzoraka tretiranih pri različitim frekvencijama i amplitudama.

Tablica 5. Rezultati ukupnog utroška energije potrebnog za sušenje 100 g svježeg uzorka do 18 % vlažnosti ovisno o primijenjenoj amplitudi i vremenu tretmana direktnim ultrazvučnim postavom.

Amplituda (%)	Vrijeme tretmana (min)	Ukupni utrošak energije (kWh/100g svježeg uzorka)
Kontrolni uzorak 0	0	2,185 ± 0,049
	3	1,645 ± 0,023
	6	1,512 ± 0,006
30	9	1,585 ± 0,037
	3	1,573 ± 0,016
60	6	1,626 ± 0,005
	9	1,879 ± 0,054
90	3	1,618 ± 0,032
	6	1,726 ± 0,006
	9	1,642 ± 0,064

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da primjenom ultrazvuka visokog intenziteta neovisno o primijenjenom ultrazvučnom predtretmanu postiže se pozitivan učinak u vidu ušteda u potrošnji energije uspoređujući sa kontrolnim uzorkom bez ultrazvučnog predtretmana. Dobiveni rezultati su u skladu sa istraživanjima autora Dehsheikh i sur. (2019) primjene ultrazvučnog predtretmana i konveksijskog postupka sušenja banana uz primjenu temperature od 60 °C i protok zraka od 3 m/s utvrdili su skraćenje vremena sušenja od 21,6 % i smanjenje u potrošnji energije od 22 %.

4.3 TEKSTURA

Kao jednoj od senzorskih karakteristika, praćena su teksturalna svojstva bundeve: tvrdoća, elastičnost i rad potreban za zagriz. Vrijednosti parametara uspoređivani su između netretiranog (kontrolnog) i ultrazvukom predtretiranih uzoraka neovisno o vrsti predtretmana nakon sušenja.

Rezultati prikazani u tablici 6 prikazuju postojanje statistički značajne razlike između svih parametara teksture kontrolnog i ultrazvukom predtretiranih uzoraka neovisno o vrsti

primijenjenog predtretmana osim kod parametra elastičnosti i to za uzorke predtretirane indirektnim ultrazvučnim postavom.

Tablica 6. Rezultati analize varijanci parametara teksture između netretiranih i ultrazvukom predtretiranih uzoraka bundeve

	Tvrdoća		Elastičnost		Rad	
	Indirektni ultrazvučni postav	Direktni ultrazvučni postav	Indirektni ultrazvučni postav	Direktni ultrazvučni postav	Indirektni ultrazvučni postav	Direktni ultrazvučni postav
p	<0,0001	<0,0001	0,1859	<0,0001	<0,0001	<0,0001
R²	0,9354	0,8208	0,5905	0,8693	0,9269	0,9681

Prema rezultatima prikazanim u tablici 7, što je potvrđeno primjenom Brown-Forsythe-ovog testa i Welch ANOVA testom uzorci obrađeni pri parametrima amplitude 30 % imaju najniže vrijednosti parametra tvrdoće u odnosu na kontrolne uzorke. Uzorci predtretirani amplitudama 60 % i 90 % također imaju niže prosječne vrijednosti parametra tvrdoće od kontrolnog uzorka, ali više od uzoraka tretiranih pri amplitudi 30 %. Shamaei i sur. (2011) svojim radom također utvrđuju smanjenje tvrdoće u uzorcima tretiranih ultrazvukom. Primjenom Tukeyovog testa uspoređujući prosječne vrijednosti parametra tvrdoće sa onom kontrolnog uzorka postoji statistički značajna razlika kod sljedećih predtretiranih uzoraka: uzorak amplitude 30 % u trajanju od 60 minuta, uzorak amplitude 60 % u trajanju 30 minuta, te uzorci amplitude 90 % u trajanju 45 i 60 minuta. Na temelju provedene analize najveći utjecaj na tvrdoću uzoraka imao je tretman od 30 % amplitude tijekom 30 min. S obzirom da je to najmanje invazivan indirektni tretman od ispitivanih, to se može objasniti intenzivnim djelovanjem kavitacije u prvih 30 minuta, koje dovodi do povećanja starih i otvaranja novih pora u ispitivanim uzorcima. Daljnje produženje obrade potencijalno može dovesti do kompresivnog utjecaja na staničnu matricu, te do povećanja tvrdoće kao posljedice smanjenja volumena stanične tvari i vode. Promatrajući uzorke predtretirane indirektnim ultrazvučnim postavom parametar rada se povećava sa povećanjem vrijednosti amplitude u tretmanu, pa tako najviše vrijednosti imaju uzorci amplitude 90%. Međutim svi predtretirani uzorci su imali niže vrijednosti rada od netretiranog (kontrolnog) uzorka.

Uzorci predtretirani indirektnim ultrazvučnim postavom ne pokazuju postojanje statistički značajne razlike za parametar elastičnosti.

Tablica 7. Rezultati analize teksture indirektnim ultrazvučnim postavom predtretiranih i osušenih uzoraka bundeve

Amplituda (%)	Vrijeme (min)	Tvrdoća (N)	Elastičnost (mm)	Rad (N mm)	
Kontrolni uzorak (0)	0	24,36 ± 1,51	6,042 ± 2,613	32,52 ± 1,81	
	30	30	16,13 ± 0,89	4,277 ± 0,202	23,03 ± 4,23
		45	17,40 ± 0,72	3,618 ± 0,553	15,11 ± 1,00
60	60	18,81 ± 0,30	5,213 ± 0,967	21,48 ± 6,68	
	90	30	26,87 ± 2,72	6,158 ± 1,027	37,70 ± 1,67
		45	17,47 ± 1,66	4,026 ± 0,801	21,05 ± 2,65
90	60	12,58 ± 0,43	3,668 ± 0,030	18,99 ± 0,53	
	30	30	17,34 ± 0,85	5,188 ± 0,31	20,46 ± 5,27
		45	20,81 ± 1,37	5,243 ± 0,642	34,75 ± 4,89
	60	19,25 ± 2,55	6,172 ± 1,488	40,51 ± 3,18	

Rezultati prikazani u tablici 8 prikazuju postojanje statistički značajne razlike između svih parametara teksture kontrolnog i direktnim ultrazvučnim postavom predtretiranih uzoraka.

Vrijednosti parametra tvrdoće kod predtretiranih u odnosu na kontrolni uzorak najviše statistički odstupaju kod uzoraka tretiranih 30 % i 60 % u trajanju od 6 minuta. Uspoređujući međusobno prosječne vrijednosti parametra tvrdoće kod svih predtretiranih uzoraka možemo primijetiti da uzorak obrađen parametrima amplitude 30 % i vremena 6 minuta se statistički značajno razlikuje od uzoraka obrađenih parametrima amplitude 60 % i vremena 3 minute te uzoraka obrađenih amplitudama 90 % u trajanju 3 i 6 minuta.

Uspoređujući utvrđene vrijednosti parametra elastičnosti uzorci obrađeni parametrima amplitude 90 % u trajanju 3 i 6 minuta najviše statistički značajno odstupaju u odnosu na netretirani (kontrolni) uzorak. Uzorak predtretiran amplitudom 30 % u trajanju od 3 minute u usporedbi sa svim drugim uzorcima najviše odstupaju u odnosu na uzorak predtretiran amplitudom 30 % u trajanju 9 minuta.

Promatrajući parametar rada sva tri uzorka pri obrađena parametrima amplitude 90% najviše statistički značajno odstupaju od prosječne vrijednosti parametra rada netretiranog (kontrolnog)

uzorka. Vrijednost parametra rada uzorka predtretiranog amplitudom 30 % u trajanju od 6 minuta statistički značajno odstupa u odnosu na sve ostale predtretirane uzorke.

Tablica 8. Rezultati analize teksture direktnim ultrazvučnim postavom predtretiranih i osušenih uzoraka bundeve

Amplituda (%)	Vrijeme (min)	Tvrdoća (N)	Elastičnost (mm)	Rad (N mm)
Kontrolni uzorak (0)	0	18,72 ± 2,24	6,436 ± 0,465	27,97 ± 1,21
	3	21,24 ± 3,34	4,728 ± 2,752	25,50 ± 4,52
	6	27,58 ± 1,46	6,648 ± 0,581	53,36 ± 2,68
30	9	24,20 ± 1,06	7,813 ± 0,925	40,98 ± 3,96
	3	17,06 ± 0,29	4,530 ± 0,315	31,55 ± 2,79
	6	24,90 ± 0,61	5,201 ± 0,514	30,79 ± 1,67
60	9	21,72 ± 1,38	7,166 ± 0,030	21,19 ± 3,63
	3	15,49 ± 1,08	2,122 ± 0,746	10,42 ± 2,25
	6	17,62 ± 2,14	2,834 ± 0,154	15,08 ± 1,97
90	9	20,97 ± 4,68	5,049 ± 0,212	17,40 ± 0,79

Porast tvrdoće uzoraka bundeve koji su prethodno tretirani ultrazvukom je u skladu sa osušenim kriškama jabuke u radu Brnčić i sur. (2010). Porast tvrdoće predtretiranih uzoraka posljedica je uklanjanja veće količine vode i ne predstavlja negativnu promjenu. Veća tvrdoća znači i veću hrskavost proizvoda, što pozitivno utječe na potrošačevu odluku o kupnji proizvoda (Brnčić i sur., 2010). Djelovanjem na staničnu strukturu ultrazvuk uzrokuje male promjene u elastičnosti. Manji udio vode može biti također jedan od razloga veće tvrdoće i elastičnosti.

Porastom tvrdoće i održavanjem konstantne (ili minimalne promjene) elastičnosti uzoraka koji su predtretirani indirektnim ultrazvučnim postavom dolazi do porasta rada potrebnog za zagriz. Kako je rad funkcija tvrdoće i elastičnosti, rezultati su očekivani za uzorke predtretirane indirektnim ultrazvučnim postavom.

S obzirom na dobivene rezultate, vidljivo je da obrada ultrazvukom prije sušenja nema negativnog utjecaja na ispitane osnovne teksturne parametre, a time ni na samo organoleptičko svojstvo teksture. Značajno narušavanje teksture je prisutno jedino kod uzorka obrađenom pri 30 % amplitude tijekom 30 min, ali svi ostali tretmani su doveli do zadovoljavajućih minimalnih promjena u karakteristikama. Najbolji tretman, koji je doveo do najmanjih

promjena u teksturi, dobiven je obradom pri 90 % tijekom 45 min (UZV kupelj), te obradom 30 % tijekom 3 min (direktna obrada). S obzirom na utrošenu energiju i vrijeme obrade, optimalni procesni parametri predobrade sušenja u funkciji teksture su amplituda od 90 % tijekom vremena od 3 min koristeći direktno uronjenu UZV sondu.

4.4 pH VRIJEDNOST

Iz rezultata prikazanih u tablici 9 analize varijance između kontrolnih i ultrazvukom predtretiranih uzoraka neovisno o primijenjenom predtretmanu vidljivo je da između njih ne postoji statistički značajna razlika. Dobiveni rezultati su u skladu sa istraživanjima Çakmak i sur. (2016) i Zou i Jiang (2016) su također utvrdili da ne postoji statistički značajna razlika između uzoraka tretiranih ultrazvukom i kontrolnih.

Tablica 9. Rezultati analize varijanci pH vrijednosti netretiranih i predtretiranih neosušenih uzorka primjenom direktnog i indirektnog ultrazvučnog predtretmana.

pH	Indirektni ultrazvučni postav	Direktni ultrazvučni postav
p	<0,0621	<0,0587
R ²	0,9352	0,9537

4.5. KOLORIMETRIJA

Vrijednosti parametra boje kao jedne od osnovnih senzorskih karakteristika praćene su i uspoređivani između netretiranog (kontrolnog) i ultrazvukom predtretiranih uzoraka neovisno o vrsti primijenjenog predtretmana nakon sušenja.

Rezultati prikazani u tablici 10 i 11 prikazuju postojanje statistički značajna razlika između svih parametara boje L*, a*, b*, C* i h* kontrolnog i ultrazvukom predtretiranih uzoraka neovisno o vrsti primijenjenog predtretmana.

Tablica 10. Rezultati analize varijanci parametara boje osušenih uzoraka predtretiranih indirektnim ultrazvučnim postavom

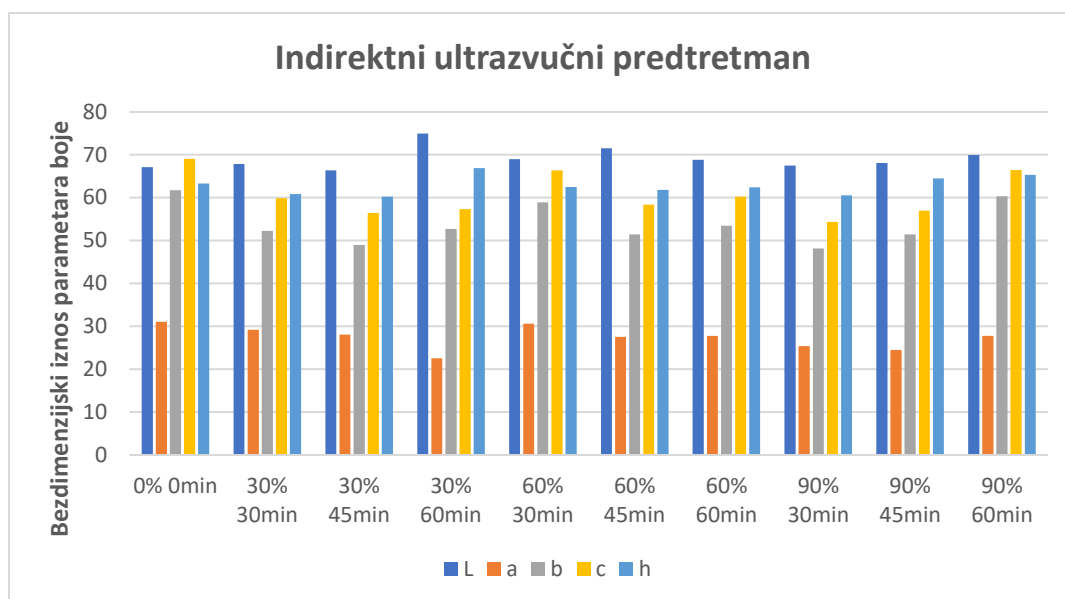
	L*	a*	b*	C*	h*
p	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
R²	0,5997	0,6404	0,6547	0,6502	0,4850

Tablica 11. Rezultati analize varijanci parametara boje osušenih uzoraka predtretiranih direktnim ultrazvučnim postavom

	L*	a*	b*	C*	h*
p	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
R²	0,4784	0,5004	0,6605	0,6008	0,7699

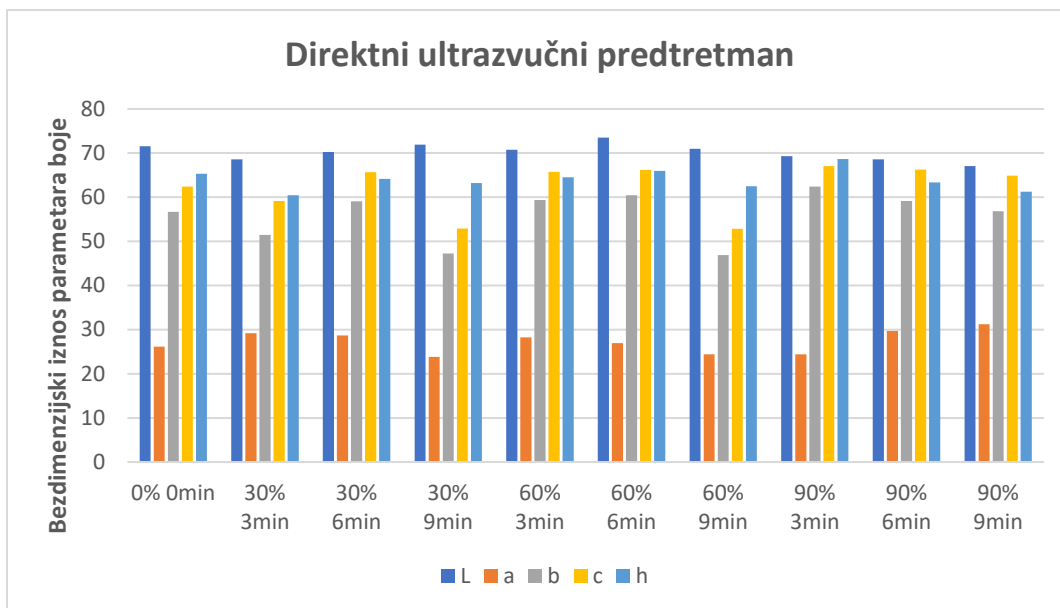
Pokazatelj svjetline L* kao glavni indikator posmeđivanja prema Heringtovoj teoriji suprotnih parova boja sa rasponom crna (0 %) - bijelo (100 %) je dobar pokazatelj posmeđivanja uzoraka, što predstavlja izrazito veliki problem s kojim se susreću proizvođači tijekom postupka proizvodnje i skladištenja iz razloga što direktno uz ukupnu promjenu boje ΔE utječe na prvi dojam potrošača i njegov odabir.

Promatrajući pojedinačno, prema rezultatima prikazanim na slici 14 što je također potvrđeno primjenom Brown-Forsythe-ovog testa i Welch ANOVA testa kod uzoraka predtretiranih indirektnim ultrazvučnim postavom jedino kod uzorka obrađenih pri parametrima amplitude 30 % i vremena 60 minuta i amplitude od 60 % i vremena od 45 minuta utvrđena je statistički značajna razliku u svjetlini L* u odnosu na kontrolne uzorke, što znači da su navedeni predtretirani osušeni uzorci značajno svjetliji od kontrolnih netretiranih osušenih uzoraka. Kod uzorka sa najkraćim vremenom sušenja uočena je neznačajna promjena u pokazatelju svjetline L* uspoređujući sa kontrolnim uzorkom u vidu posvjetljenja. Što je u skladu sa rezultatima istraživanja Önal i sur. (2021) koji su utvrdili da primjena ultrazvučnog predtretmana u postupku sušenja pri 60 °C pozitivno utječe na očuvanje svjetline L*. Također Huang i sur. 2020 utvrdili su da primjena ultrazvuka visokog intenziteta može očuvati izvornu boju svježeg proizvoda odnosno unaprijediti ju i učiniti prihvatljivijom.



Slika 14. Grafički prikaz varijacija boje osušenih uzoraka predtretiranih indirektnim ultrazvučnim postavom

Promatrajući pojedinačno parametar svjetline prema rezultatima prikazanim na slici 15 što je također potvrđeno primjenom Brown-Forsythe-ovog testa i Welch ANOVA testa kod uzoraka predtretiranih direktnim ultrazvučnim postavom uspoređujući sa kontrolnim uzorkom nije utvrđena statistički značajna razlika u svjetlini L^* u odnosu na kontrolne uzorke. Kod uzorka sa najkraćim vremenom sušenja uočena je statistički neznačajna promjena u pokazatelj svjetline L^* u vidu posvjetljenja uspoređujući sa kontrolnim uzorkom, također i kod uzorka sa najmanjim utroškom energije nije uočena značajna promjena u parametru svjetline te je došlo do laganog potamnjenja.



Slika 15. Grafički prikaz varijacije boje osušenih uzoraka predtretiranih direktnim ultrazvučnim postavom

Rezultati ukupnog promjena boje izraženi su preko ΔE^* vrijednosti i prikazani su u tablici 12. Vidljivo je da vrijednosti ukupne promjene boje kod uzorka predtretiranih indirektnim ultrazvučnim predtretmanom uglavnom kreću u području uočljivih promjena (ΔE^* 3,0 - 6,0) osim kod uzoraka kod kojih je uočena statistički značajna razlika s obzirom na izmjerenu L^* vrijednost svjetline kod kojih se ukupna promjena boje kreće u intervalu vrlo uočljive (ΔE^* iznosi 6,0 - 12,0). Ukupna promjena boje kod uzorka sa najkraćim vremenom sušenja kreće se u intervalu slabo uočljive promjene boje.

Tablica 12. Rezultati analize promjene boje(ΔE^* vrijednosti) osušenih uzoraka predtretiranih indirektnim ultrazvučnim postavom

Amplituda	Vrijeme tretmana	Promjena boje (ΔE^*) u predtretiranih uzoraka
30%	30 min	$2,85 \pm 2,173$
	45 min	$3,21 \pm 1,627$
	60 min	$11,92 \pm 2,283$
60%	30 min	$3,75 \pm 1,160$
	45 min	$10,76 \pm 2,157$
	60 min	$4,21 \pm 3,721$
90%	30 min	$4,40 \pm 2,987$
	45 min	$5,17 \pm 1,472$
	60 min	$5,91 \pm 1,667$

Kod uzoraka predtretiranih direktnim ultrazvučnim postavom iz prikazanih rezultata ukupne promjene boje u tablici 13 vidljivo je da se ukupna promjena kreće u području uočljivih promjena (ΔE^* 3,0 - 6,0). Također i ukupna promjena boje kod uzorka sa najkraćim vremenom sušenja i uzorka najmanjim utroškom energije se kreće u području uočljivih promjena (ΔE^* 3,0 - 6,0). Općenito je prihvaćeno da prosječni promatrač nije u stanju primijetiti razliku između boja ako je ΔE^* vrijednost manja od 4 (Mierzwa i Kowalski, 2016).

Tablica 13. Rezultati analize promjene boje (ΔE^* vrijednosti) osušenih uzoraka predtretiranih direktnim ultrazvučnim postavom

Amplituda	Vrijeme tretmana	Promjena boje (ΔE^*) u predtretiranih uzoraka
30%	3 min	$3,69 \pm 3,632$
	6 min	$4,93 \pm 0,4666$
	9 min	$3,63 \pm 1,079$
60%	3 min	$6,03 \pm 1,734$
	6 min	$7,26 \pm 1,398$
	9 min	$6,13 \pm 1,195$
90%	3 min	$5,65 \pm 1,019$
	6 min	$5,58 \pm 0,5605$
	9 min	$3,17 \pm 4,893$

4.6.DIGITALNA FOTOGRAFIJA

Iz prikazane slike 16 koja prikazuje netretirani osušeni uzorak bundeve osušene u konvencijskoj sušari pri definiranim parametrima vizualno je uočljiva intenzivnija boja uzoraka bundeve, čime se potvrđuje prednost korištenja ultrazvučnog predtretmana kojim se postiže pozitivan utjecaj na očuvanje svjetline L^* i izvorne boje svježeg proizvoda.



Slika 16. Prikaz netretiranog (kontrolnog) osušenog uzorka bundeve

Također se vizualnim zapažanjem iz slika od 17 do 19 mogu potvrditi dobivene vrijednosti promjene boje (ΔE^*). Vidljivo je da se vrijednosti ukupne promjene boje kod uzorka predtretiranih indirektnim ultrazvučnim predtretmanom uglavnom kreću u području uočljivih promjena (ΔE^* 3,0 - 6,0) osim kod uzorka slika 17 c) i 18 b) kod kojih je uočena statistički značajna razlika s obzirom na izmjerenu L^* , a ukupna promjena boje kreće se u intervalu vrlo uočljive (ΔE^* iznosi 6,0 - 12,0).



Slika 17. Uzorci bundeve predtretirani indirektnim ultrazvučnim postavom pri amplitudi od 30 % u vremenu trajanja: a) 30 min; b) 45 min i c) 60 min



Slika 18. Uzorci bundeve predtretirani indirektnim ultrazvučnim postavom pri amplitudi od 60 % u vremenu trajanja: a) 30 min; b) 45 min i c) 60 min

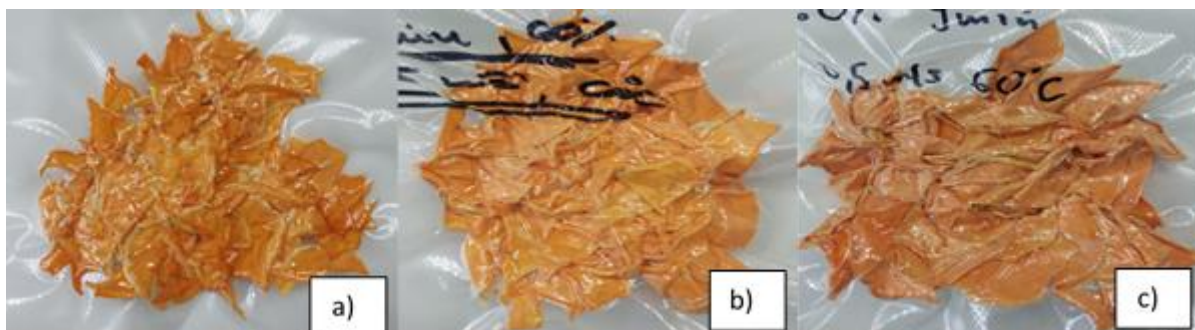


Slika 19. Uzorci bundeve predtretirani indirektnim ultrazvučnim postavom pri amplitudi od 90 % u vremenu trajanja: a) 30 min; b) 45 min i c) 60 min

Vizualnim zapažanjem iz slika od 20 do 22 mogu se potvrditi dobivene vrijednosti promjene boje (ΔE^*). Vizualno je vidljivo da se vrijednosti ukupne promjene boje kod uzorka predtretiranih direktnim ultrazvučnim predtretmanom uglavnom kreću u području uočljivih promjena (ΔE^* 3,0 - 6,0).



Slika 20. Uzorci bundeve predtretirani direktnim ultrazvučnim postavom pri amplitudi od 30 % u vremenu trajanja: a) 3 min; b) 6 min i c) 9 min



Slika 21. Uzorci bundeve predtretirani direktnim ultrazvučnim postavom pri amplitudi od 60 % u vremenu trajanja: a) 3 min; b) 6 min i c) 9 min



Slika 22. Uzorci bundeve predtretirani direktnim ultrazvučnim postavom pri amplitudi od 90 % u vremenu trajanja: a) 3 min; b) 6 min i c) 9 min

5. ZAKLJUČAK

1. Neovisno o primijenjenom ultrazvučnom predtretmanu postiže se skraćenje vremena potrebnog za sušenje do 18 % vlažnosti
2. Primjenom indirektnog ultrazvučnog predtretmana najkraće vrijeme sušenja utvrđeno je kod uzorka obrađenog pri amplitudi od 30 % u trajanju 30 minuta čime je postignuto skraćenje vremena sušenja od 20,64 %.
3. Najmanji ukupni utrošak energije u postupku sušenja uzoraka primjenom indirektnog ultrazvučnog predtretmana postignut je pri amplitudi od 30 % u trajanju 30 minuta čime je uspoređujući sa kontrolnim uzorkom postignuta ušteda od 28,77 % što je u skladu sa postignutim najkraćim vremenom sušenja primjenom identičnih parametara.
4. Primjenom direktnog ultrazvučnog predtretmana najkraće vrijeme sušenja postignuto je primjenom predtretmana od 30 % amplitude i vremena od 9 minuta čime je postignuto skraćnja vremena sušenja od 22,25 %.
5. Primjenom direktnog ultrazvučnog predtretmana najmanji ukupan utrošak energije postignut je kod uzorka predtretiranog amplitudom od 30 % i vremenu od 6 minuta čime je postignuta ušteda u ukupnom utrošku energije od 31,05 % iako je najkraće vrijeme sušenja postignuto primjenom amplitude od 30 % i vremena od 9 minuta.
6. S obzirom na dobivene rezultate, vidljivo je da obrada ultrazvukom prije sušenja nema negativnog utjecaja na ispitane osnovne teksturne parametre, a time ni na samo organoleptičko svojstvo teksture.
7. Iako ΔE^* vrijednosti boje nakon ultrazvučnog predtretmana variraju od uočljivih (3,0 – 6,0) do vrlo uočljivih (6,0 – 12,0) uspoređujući s referentnim, vizualnom analizom utvrđeno je da je boja takvih uzoraka prihvatljiva.

6.LITERATURA

- Adeel R, Sohail A, Masud T (2014) Characterization and antibacterial study of pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo*). *Life Sci Leafl* **49**, 53–64. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:36405229>
- Aizawa K, Inakuma T (2007) Quantitation of Carotenoids in Commonly consumed Vegetables in Japan. *Food Sci Technol Res* **13**, 247–252. <https://doi.org/10.3136/fstr.13.247>
- Akwetey WY, Knipe CL (2012) Sensory attributes and texture profile of beef burgers with gari. *Meat Sci* **92**, 745-748. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.032>
- Andaluz-Mejía L, Ruiz-De Anda D, Ozuna C (2022) Non-Thermal Technologies Combined with Antimicrobial Peptides as Methods for Microbial Inactivation: A Review. *Processes* **10**, 995. <https://doi.org/10.3390/pr10050995>.
- Anonymous (2023) Pumpkin Butternut Whole Each | Woolworths <<https://www.woolworths.com.au/shop/productdetails/147195/pumpkin-butternut-whole>> Pristupljeno 15. kolovoza 2023.
- Armesto J, Rocchetti G, Senizza B, Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, i sur. (2020) Nutritional characterization of Butternut squash (*Cucurbita moschata* D.): Effect of variety (Ariel vs. Pluto) and farming type (conventional vs. organic). *Food Res Int* **132**, 109052. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109052>
- Arvanitoyannis IS, Kotsanopoulos KV, Savva AG (2017) Use of ultrasounds in the food industry—Methods and effects on quality, safety, and organoleptic characteristics of foods: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* **57**, 109–128. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.860514>
- Azizah A, Wee K, Azizah O, Azizah M (2009) Effect of boiling and stir frying on total phenolics, carotenoids, and radical scavenging activity of pumpkins (*Cucurbita maschato*). *Int Food Res J* **16**, 45–51. <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/14207>
- Babadoost M, Zitter TA (2009) Fruit rots of pumpkin: a serious threat to the pumpkin industry. *Plant Dis* **93**, 772-782. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-8-0772>
- Bates D, Patist A (2010) Industrial applications of high power ultrasonics in the food, beverage and wine industry. U: Doona CJ, Kustin K, Feeherry FE (ured.) Case Studies in Novel Food Processing Technologies, Technology and Nutrition, San Diego, str. 119–138.
- Brnčić M, Tripalo B, Penava A, Karlović D, Ježek D, Vikić Topić D, i sur. (2009) Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane. *Food Technol Biotechnol* **4**, 32-37.
- 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. *Afr. J. Biotechnol.* **9** (41), 6907-6915.

- Çakmak RS, Tekeoğlu O, Bozkır H, Ergün AR, Baysal T (2016) Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. *LWT - Food Sci Technol* **69**, 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.032>
- Candan Z, Gonultas O, Gorgun HV, Unsal O (2021) Examining Parameters of Surface Quality Performance of Paulownia Wood Materials Modified by Thermal Compression Technique. *Drvna ind* **72** (3), 231-236. <https://doi.org/10.5552/drvidn.2021.1973>
- Cárcel JA, García-Pérez JV, Riera E, Roselló C, Mulet A (2014) Drying assisted by power ultrasound. U: Tsotsas E, Mujumdar AS (ured.) *Modern Drying Technology*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, str. 237–277. <https://doi.org/10.1002/9783527631728.ch36>
- Chandrika UG, Basnayake BMLB, Athukorala I Colombagama PWNM.; Goonetilleke A (2010) Carotenoid Content and In Vitro Bioaccessibility of Lutein in Some Leafy Vegetables Popular in Sri Lanka. *J Nutr Sci Vitaminol* **56**, 203–207. <https://doi.org/10.3177/jnsv.56.203>
- Chemat F, Zil-e-Huma, Khan MK (2011) Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason Sonochem* **18**, 813-835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Chen L, Opara UL (2013) Texture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. *Food Res Int* **51**, 823-835. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.046>
- Costa F, Cappellin L, Longhi S, Guerra W, Magnago P, Porro D, i sur. (2011) Assessment of apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biol Technol* **61**, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.02.006>
- da Silva GD, Barros ZMP, de Medeiros RAB, de Carvalho CBO, Brandão SCR, Azoubel PM (2016) Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. *Lwt*, **74**, 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.039>
- De Carvalho LMJ, Gomes PB, Godoy RLDO, Pacheco S, Monte PHFD, De Carvalho JLV, i sur. (2012) Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study. *Food Res Int* **47**, 337–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.040>
- Dehsheikh FN, Dinani ST (2019) Coating pretreatment of banana slices using carboxymethyl cellulose in an ultrasonic system before convective drying. *Ultrasonics sonochemistry* **52**, 401-413. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.018>
- Dinu M, Soare R, Hoza G, Becherescu AD (2016) Biochemical Composition of Some Local Pumpkin Population. *Agric Agric Sci Procedia* **10**, 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.09.051>
- Doymaz I (2007) The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *J Food Eng* **79**, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.049>

- FAO (2006) The State of Food and Agriculture 2006 FAO-Food and Agriculture organization of the United Nations, [Food aid for food security? | United Nations iLibrary \(un-ilibrary.org\)](https://www.un-ilibrary.org) Pristupljeno 15. kolovoza 2023.
- Feng H, Lee H (2011) Effect of Power Ultrasound on Food Quality. U: Feng H, Barbosa-Canovas GV, Weiss J (ured.) *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, Springer, New York, str. 559-582.
- Gallo M, Ferrara L, Naviglio D (2018) Application of Ultrasound in Food Science and Technology: A Perspective. *Foods* **7**(10), 164. [https://doi: 10.3390/foods7100164](https://doi.org/10.3390/foods7100164)
- Gliemmo MF, Latorre ME, Narvaiz P, Campos CA, Gerschenson LN (2014) Effect of gamma irradiation and storage time on microbial growth and physicochemical characteristics of pumpkin (*Cucurbita Moschata* Duchesne ex Poiret) puree. *Food Sci Technol Int* **20**, 71-80. <https://doi.org/10.1177/1082013212472350>
- Guine' RPF, Henriques F, Barroca MJ (2012) Mass transfer coefficients for the drying of pumpkin (*Cucurbita moschata*) and dried product quality. *Food Bioproc Tech* **5**, 176-183. <http://doi.org/10.1007/s11947-009-0275-y>
- Huang D, Men K, Li D, Wen T, Gong Z, Sunden B, Wu Z (2020) Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrason Sonochem* **63**, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104950>
- Ikeda T, Yoshizawa S, Koizumi N, Mitsuishi M, Matsumoto Y (2016) U: Escoffre JM, Bouakaz A (ured.) *Therapeutic Ultrasound*, Springer, Cham, str. 113–129.
- Ite RA, Kabelka EA (2009) Correlation between lab color space values and carotenoid content in pumpkins and squash (*Cucurbita* spp.). *Hort Science* **44**, 633–637. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.3.633>
- Jacobo-Valenzuela N, de Jesu's Zazueta-Morales J, Gallegos-Infante JA, Aguilar-Gutierrez F, Camacho-Herna'ndez IL, Rocha-Guzman NE, i sur. (2011 a) Chemical and physicochemical characterization of winter squash (*Cucurbita moschata* D.). *Not Bot Horti Agrobo* **39**, 34-40. <https://doi.org/10.15835/nbha3915848>
- Jacobo-Valenzuela N, Maro'stica-Junior MR, de Jesu's Zazueta-Morales J, Gallegos-Infante JA (2011 b) Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata* Duchense vs Cehualca: A Review. *Food Res Int* **44**, 2587-2593. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.039>
- Jeffrey C (2005) A new system of Cucurbitaceae. *Bot Zhurn* **90**, 332–335.
- Jiang M, Wang Y, van Santen E, Chappell JA (2008) Evaluation of textural properties of channel catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) fillet with the natural contour method. *Lwt Food Sci Technol* **41**, 1548-1554. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.022>.
- Kahveci K, Cihan A (2007) Transport phenomena during drying of food materials. U: Pletney VN (ured.) *Focus on Food Engineering Research and Developments*, Nova Science Publishers, Inc., New York, str. 13-200.

- Kapoor R, Shome D, Ranjan A (2017) Use of a novel combined radiofrequency and ultrasound device for lipolysis, skin tightening and cellulite treatment. *J Cosmet Laser Ther*; **19**, 266–274. doi: 10.1080/14764172.2017.1303169.
- Karlović S (2013) Određivanje teksturnih svojstava i matematičko modeliranje sušenja voća prethodno obrađenoga ultrazvukom visokog intenziteta (doktorska disertacija), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Karlović S, Dujmić F, Rimac Brnčić S, Badanjak Sabolović M, Ninčević Grassino A, Škegro M, i sur. (2023) Mathematical Modeling and Optimization of Ultrasonic Pre-Treatment for Drying of Pumpkin (*Cucurbita moschata*). *Processes* **11**, 469. <https://doi.org/10.3390/pr11020469>
- Kiani H, Zhang Z, Delgado A, Sun DW (2011) Ultrasound assisted nucleation of some liquid and solid model foods during freezing. *Food Res Int* **44**, 2915–2921. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.051>
- Kilcast D (2004) Texture in food. U: Lu R, Abbot JA (ured.) Force/deformation techniques for measuring texture, 2izd., Woodhead publishing, Boca Raton, str. 109-145.
- Kim SM, Kang SW, Kwon ON, Chung D, Pan CH (2012) Fucoxanthin as a major carotenoid in *Isochrysis* aff. *galbana*: Characterization of extraction for commercial application. *J Korean Soc Appl Biol Chem* **55**, 477–483. <https://doi.org/10.1007/s13765-012-2108-3>
- Konopacka D, Plochanski WJ (2004) Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. *Postharvest Biol Technol* **32**, 205-211. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.012>
- Ku JC, Vallejo PR, González FC, Servia JLC (2005) Diversidad morfológica de calabaza cultivada en el centro-oriente de Yucatán, Mexico. *Rev Fitotec Mex* **28**, 339-349. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.4.339>
- Kudra T, Mujumdar AS (2009) Advanced Drying Technologies, CRC Press, Boca Raton, str. 1-8.
- Kumar C, Karim MA, Joardder MUH (2014) Intermittent drying of food products: A critical review. *J Food Eng* **121**, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.014>
- Kuru K (2014) Optimization and enhancement of H&E stained microscopical images by applying bilinear interpolation method on lab color mode. *Theor Biol Medical Model* **11**, 9. <https://doi.org/10.1186/1742-4682-11-9>
- Kremer F, Lempriere BM (2006) Ultrasound and Elastic Waves: Frequently asked questions. *Colloid and Polymer Science - COLLOID POLYM SCI*, 284, 821-821. <https://doi.org/10.1007/s00396-005-1425-z>
- Lira Saade R, Montes Hernandez S (1994) Cucurbits (*Cucurbita* spp.). U: Hernando Bermejo JE, León J (ured.) Neglected crops: 1492 from a different perspective. FAO Plant Production and Protection Series No.26, FAO, Rim, str. 63-77.
- Lovrić T (2003) Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, Hinus, Zagreb, str. 179-196.

- Marelja M, Dujmić F, Ježek D, Škegro M, Bosiljkov T, Karlović S i sur. (2020) Vakuum sušenje u prehrambenoj industriji. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam* **15**, 94-101.
- Mason TJ, Riera E, Vercet A, Lopez-Buesa P (2005) Application of ultrasound. U: Sun DW (ured.) *Emerging Technologies for Food Processing*, Academic Press, Cambridge, str. 323-351.
- Men X, Choi S I, Han X, Kwon H-Y, Jang G-W, Choi Y-E, Park S-M, Lee, O-H (2020) Physicochemical, nutritional and functional properties of *Cucurbita moschata*. *Food Sci Biotechnol* **30**, 171-183. doi:10.1007/s10068-020-00835-2
- Mi YK, Eun JK, Young-Nam K, Changsun C, Bo-Hieu L (2012) Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts. *Nutr Res Pract* **6**, 21–27. <https://doi.org/10.4162%2Fnrp.2012.6.1.21>
- Mierzwa D, Kowalski SJ (2016) Ultrasound-assisted osmotic dehydration and convective drying of apples: Process kinetics and quality issues. *Chem Process Eng* **37** (3), 383-391. <https://doi.org/10.1515/cpe-2016-0031>
- Montes C, Vallejo FA, Baena D (2004) Diversidad genética de germoplasma colombiano de zapallo (*Cucurbita moschata* Duchesne Exp. Prior). *Acta Agron* **53**, 43-50.
- Muralidhara HS, Ensminger D, Putnam AA (1985) Acoustic dewatering and drying (low and high frequency): state of the art review. *Drying Technology* **3**, 529-566. <https://doi.org/10.1080/07373938508916296>
- Muruganatham N, Solomon S, Senthamilselvi MM (2016) Antimicrobial activity of *Cucurbita maxima* flowers (Pumpkin). *J Pharmacogn Phytochem* **5**, 15-18.
- Nakić SN, Rade D, Škevin D, Štruelj D, Mokrovčak Ž, Bartolić M (2006) Chemical characteristics of oils from naked and husk seeds of *Cucurbita pepo* L. *Eur J Lipid Sci Technol* **108**, 936–943. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600161>
- Nowak D, Lewicki PP (2004) Infrared drying of apple slices. *Innov Food Sci Emerg Technol* **5**, 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.03.003>
- Obradović V, Đokić K, Ergović Ravančić M, Škrabal S, Kovačić S (2016). Izrada konvekcijske sušnice i njena primjena za sušenje nekih vrsta povrća i gljiva. U: Proceedings of 5th International Conference "Vallis Aurea" focus on reseach and innovation Veleučilište u Požegi; DAAAM International Vienna. str. 361-367.
- Önal B, Adiletta G, Di Matteo M, Russo P, Ramos IN, Silva CL (2021) Microwave and ultrasound pre-treatments for drying of the “Rocha” pear: Impact on phytochemical parameters, color changes and drying kinetics. *Foods* **10** (4), 853. <https://doi.org/10.3390/foods10040853>
- Paliwal S, Mitragotri S (2006) Ultrasound-induced cavitation: Applications in drug and gene delivery. *Expert Opin Drug Deliv* 2006;3:713–726. doi: 10.1517/17425247.3.6.713.
- Perez Gutierrez RM (2016) Review of *Cucurbita pepo* (Pumpkin) its phytochemistry and pharmacology. *Med Chem* **6**, 12–21. <http://doi.org/10.4172/2161-0444.1000316>

Petrović V, Milković M, Valdec D (2013) Komparacija karakteristika ink-jet otisaka dobivenih vodenim, solventnim i UV bojilima. *Tehnički glasnik* **7**, 191-197.

Priori D, Valduga E, Villela JCB, Mistura CC, Vizzotto M, Valgas RA, i sur. (2017) Characterization of bioactive compounds, antioxidant activity and minerals in landraces of pumpkin (*Cucurbita moschata*) cultivated in Southern Brazil. *Food Sci Technol* **37**, 33-40. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.05016>

Rabrenović BB, Dimić EB, Novaković MM, Tešević VV, Basić ZN (2014) The most important bioactive components of cold pressed oil from different pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds. *LWT-Food Sci Technol* **55**, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.019>

Rose JL (2014) *Ultrasonic Guided Waves in Solid Media*. Cambridge University Press, Cambridge, str. 512

Roura SI, Del Valle CE, Aguero L, Davidovich LA (2007) Changes in apparent viscosity and vitamin C retention during thermal treatment of Butternut Squash (*Cucurbita moschata* Duch) pulp: effect of ripening stage. *J Food Quality* **30**, 538-551. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00141.x>

Rumack CM, Levine D (2017) *Diagnostic Ultrasound E-Book*, 6.izd., Elsevier Health Sciences; Philadelphia, PA.

Salehi B, Capanoglu E, Adrar N, Catalkaya G, Shaheen S, Jaffer M, i sur. (2019) Cucurbits Plants: A Key Emphasis to Its Pharmacological Potential. *Molecules* **24**, 1854. <https://doi.org/10.3390%2Fmolecules24101854>

Santos HM, Capelo JL (2007) Trends in ultrasonic-based equipment for analytical sample treatment. *Talanta* **73**, 795–802. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.05.039>

São José, J.F.B., and Vanetti, M.C.D. (2012). Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and *Salmonella enterica* Typhimurium on cherry tomatoes. *Food Control*. **24**, 95-99. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.09.008>

Shamaei S, Emam-Djomeh Z, Moini S (2012) Ultrasound-assisted osmotic dehydration of cranberries: Effect of finish drying methods and ultrasonic frequency on textural properties. *J Texture Stud* **43**, 133-141. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00323.x>

Shirsath SR, Sonawane SH, Gogate PR (2012) Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. *Chem Eng Process Process Intensif* **53**, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.01.003>

Stejskal V, Vejsada P, Cepak M, Špička J, Vacha F, Kouril J, i sur. (2011) Sensory and textural attributes and fatty acid profiles of fillets of extensively and intensively farmed Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.). *Food Chem* **129**, 1054-1059. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.073>

Szadzińska J, Łechtańska J, Pashminehazar R, Kharaghani A, Tsotsas E (2019) Microwave- and ultrasound-assisted convective drying of raspberries: Drying kinetics and microstructural changes. *Drying Technology* **37**(1), 1-12. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1433199>

Šumić Z (2014) Optimizacija sušenja voća u vakuumu (doktorska disertacija), Tehnološki fakultet, Sveučilište u Novom Sadu, Novi Sad.

Tamil selvi NA, Jansirani P, Nirmalakumari A (2012) Per se performance of genotypes and correlation analysis in Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.ex Poir) *Electron J Plant Breed* **3**, 787–994.

Taniwaki M, Kohyama K (2012) Fast Fourier transform analysis of sounds made while swallowing various foods. *J Acoust Soc Am* **132**, 2478-2482. <https://doi.org/10.1121/1.4750491>

Tao Y, Sun DW (2015) Enhancement of food processes by ultrasound: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* **55**, 570–594. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.667849>

Theerthagiria J, Madhavanb J, Leea SJ, Choi MY, Ashokkumarc M, Polletd BG (2020) Sonoelectrochemistry for energy and environmental applications. *Ultrason Sonochem* **63**, 104960. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104960>.

Tindall H (1983) *Vegetables in the Tropics*, 1.izd., Macmillan Press Limited, London, str. 10.

Wang P, Liu J, Zhao Q, Hao L (2002) Studies on Nutrient Composition and Utilization of Pumpkin Fruit. *J Inner Mongolia Agric Univ (Natural Sci Edition)* **23**, 52–54. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89274>

Wang R, Zhou W, Isabelle M (2007) Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by instrumental analysis and sensory evaluation. *Food Res. Int.* **40**, 470-479. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.07.007>

Wu J, Chang Z, Wu Q, Zhan H, Xie S (2011) Molecular diversity of Chinese *Cucurbita moschata* germplasm collections detected by AFLP markers. *Sci Hortic Amsterdam* **128**, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.006>

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

Yadav M, Jain S, Tomar R, Prasad GBKS, Yadav H (2010) Medicinal and biological potential of pumpkin: an updated review. *Nutr Res Rev* **23**, 184-190. <https://doi.org/10.1017/s0954422410000107>

Yıldız T, Yurtlu YB, Yesiloglu, E (2013) Determination of some physical properties of some pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) and winter squash (*Cucurbita maxima* Duch.) genotype seeds. *Eur J Plant Sci Biotech* **7**, 47-51.

Younis Y, Ghirmay S, Al-Shihry S (2000) African *Cucurbita pepo* L.: Properties of seed and variability in fatty acid composition of seed oil. *Phytochem* **54**, 71–75. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(99\)00610-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(99)00610-X)

Zhou C-L, Liu W, Zhao J, Yuan C, Song Y, Chen D, Ni Y-Y, Li Q-H (2014) The effect of high hydrostatic pressure on the microbiological quality and physical–chemical

characteristics of Pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) during refrigerated storage. *Innov Food Sci Emerg Technol* **21**, 24–34. [https://doi.org/ 10.1016/j.ifset.2013.11.002](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.11.002)

Zou Y, Jiang A (2016) Effect of ultrasound treatment on quality and microbial load of carrot juice. *Food Sci Technol* **36**, 111-115. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0061>

Žlabur JŠ, Colnar D, Voća S, Lorenzo JM, Munekata PES, Barba FJ, i sur. (2019) Effect of ultrasound pre-treatment and drying method on specialized metabolites of honeyberry fruits (*Lonicera caerulea* var. *kamtschatica*), *Ultrasonics sonochemistry*, **56** 372-377. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.034>

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja Marko-Adrian Šimić izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Vlastoručni potpis