

# Utjecaj tretmana ultrazvukom visokog intenziteta na kvalitetu i stabilnost minimalno procesiranog krumpira

---

**Bebek, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:230748>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-09**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

# **DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, rujan 2018.

Josip Bebek

915/PI

**UTJECAJ TRETMANA  
ULTRAZVUKOM VISOKOG  
INTENZITETA NA KVALITETU I  
STABILNOST MINIMALNO  
PROCESIRANOG KRUMPIRA**

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za procese konzerviranja i preradu voća i povrća na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof.dr.sc. Branke Levaj, Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

**Ovaj rad izrađen je u okviru projekta „Inovativne tehnike u minimalnoj preradi krumpira (*Solanum tuberosum*) i njegova zdravstvena ispravnost nakon pripreme“ (IMPROvePOTATO, IP-06-2016) financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost.**

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo  
Laboratorij za procese konzerviranja i preradu voća i povrća

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

## UTJECAJ TRETMANA ULTRAZVUKOM VISOKOG INTENZITETA NA KVALITETU I STABILNOST MINIMALNO PROCESIRANOG KRUMPIRA

Josip Bebek, 915/PI

**Sažetak:** *Cilj ovog rada bio je istražiti utjecaj vremena tretmana ultrazvukom visokog intenziteta na kvalitetu i stabilnost minimalno procesiranog krumpira (MPK) tijekom 8 dana skladištenja. Krumpir je oguljen i narezan na ploške, tretiran u kupelji u otopini natrijeva askorbata te je pakiran u vakuumu i skladišten na 10 °C. Krumpir je tretiran ultrazvukom frekvencije 40 kHz i amplitude 100% tijekom 3, 10, 20, 30 i 40 minuta. Tijekom skladištenja MPK, 1., 3., 5., i 8. dan pratila se ukupna suha tvar, topljiva suha tvar, pH vrijednost, boja, tekstura, udio plinova u pakovanju i senzorska ocjena. Na ukupnu suhu tvar i topljivu suhu tvar najveći utjecaj je imalo vrijeme skladištenja i toplinska obrada. Tretman ultrazvukom utjecao je na sniženje pH tijekom skladištenja. Udio plinova u pakovanju najviše ovisi o duljini skladištenja. Svi tretirani uzorci tijekom cijelog skladištenja imaju višu vrijednost svjetline L\*. Tretiranim uzorcima se vrijednost elastičnosti povećava tijekom skladištenja, dok su ostali parametri teksture nepromijenjeni pod utjecajem tretmana i skladištenja. Tretman od 20, 30 i 40 min je imao utjecaj na pojavu nekarakterističnih i stranih okusa i mirisa tijekom skladištenja, a za sprečavanje posmeđivanja efikasnim su se pokazali svi tretmani neovisno o vremenu trajanja. Najefikasnijim za održavanje ukupne kvalitete MPK se pokazao tretman od 3 minute.*

**Ključne riječi:** krumpir, minimalno procesiranje, enzimsko posmeđivanje, ultrazvuk, boja, senzorska ocjena

**Rad sadrži:** 53 stranica, 4 slike, 18 tablica, 58 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** prof.dr.sc. Branka Levaj

**Pomoć pri izradi:** dr.sc. Maja Repajić i Sanja Lončarić, mag. agr.

**Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:**

1. doc.dr.sc. Filip Dujmić
2. prof.dr.sc. Branka Levaj
3. prof.dr.sc. Suzana Rimac Brnčić
4. prof.dr.sc. Nada Vahčić

**Datum obrane:** 20. rujna 2018.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate thesis

University of Zagreb  
Faculty of Food Technology and Biotechnology  
Department of Food Engineering  
Laboratory for Technology of Fruits and Vegetables Preservation and Processing

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food Technology

### EFFECT OF HIGH INTENSITY ULTRASOUND TREATMENT ON THE QUALITY OF MINIMALLY PROCESSED POTATOES

Josip Bebek, 915/PI

**Abstract:** *The aim of this study was to evaluate the effect of high intensity ultrasound treatment duration on the quality of minimally processed potatoes (MPP) during 8 days of storage. The potatoes were peeled, sliced to chips, treated in a bath with sodium ascorbate, vacuum packaged and stored at 10 °C. Potatoes were treated with 40 kHz frequency and 100 % amplitude ultrasound for 3, 10, 20, 30 and 40 minutes. During the storage of MPP, quality was monitored on the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup>, 5<sup>th</sup>, and 8<sup>th</sup> day. Dry matter content, total soluble solids, pH, colour, texture, sensory analysis and gas composition of the packaging were monitored. On the dry matter and total soluble solids content, length of storage and cooking had the biggest effect. Ultrasound treatment caused a reduction in pH levels during storage. Gas composition of the packaging mostly depended on the length of storage. All of the treated samples showed higher values of brightness, L\*. The elasticity of treated samples increases during storage while other texture parameters remain unchanged. All of the treated samples had good sensory evaluation scores on the prevention of browning but treatment time of 20, 30 and 40 minutes had an effect on the appearance of uncharacteristic and unknown tastes and smells during storage. Treatment time of 3 minutes was the most efficient in preserving the overall quality of MPP.*

**Keywords:** potato, minimally processing, enzymatic browning, ultrasound, color, sensory evaluation

**Thesis contains:** 53 pages, 4 figures, 18 tables, 58 references

**Original in:** Croatian

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

**Mentor:** PhD. Branka Levaj, Full Professor

**Technical support and assistance:** PhD Maja Repajić, MSc Sanja Lončarić

**Reviewers:**

1. PhD. Filip Dujmić, Assistant Professor
2. PhD. Branka Levaj, Full Professor
3. PhD. Suzana Rimac Brnčić, Full Professor
4. PhD. Nada Vahčić, Full Professor

**Thesis defended:** September 20, 2018.

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	<b>2</b>
2.1. Krumpir .....	2
2.1.1. Uvod .....	2
2.1.2. Kemijski sastav i nutritivna vrijednost gomolja krumpira .....	3
2.2. Minimalno procesirano voće i povrće .....	6
2.2.1. Minimalno procesirani krumpir .....	7
2.2.1.1. Odabir kultivara za MPK .....	8
2.2.1.2. Enzimsko posmeđivanje MPK .....	10
2.2.1.3. Pakiranje MPK .....	13
2.2.1.4. Tretman ultrazvukom .....	15
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	<b>20</b>
3.1. Materijali .....	20
3.2. Aparatura i pribor .....	20
3.3. Kemikalije .....	21
3.4. Metode rada .....	21
3.4.1. Priprema uzoraka MPK .....	21
3.4.2. Tretman ultrazvukom i skladištenje uzoraka MPK .....	21
3.4.2. Određivanje udjela O <sub>2</sub> i CO <sub>2</sub> u pakovanju .....	22
3.4.3. Određivanje boje kolorimetrijski .....	23
3.4.4. Određivanje teksture MPK .....	23
3.4.5. Određivanje topljive suhe tvari .....	24
3.4.6. Određivanje ukupne suhe tvari .....	25
3.4.7. Određivanje pH vrijednosti .....	26
3.4.8. Senzorska ocjena .....	26
3.4.9. Statistička obrada podataka .....	27
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	<b>28</b>
4.1. Ukupna suha tvar, topljiva suha tvar i pH vrijednost .....	28
4.2. Udio CO <sub>2</sub> i O <sub>2</sub> u pakovanju MPK .....	35
4.3. Parametri boje MPK .....	37
4.4. Tekstura MPK .....	40
4.5. Senzorska ocjena MPK .....	42
<b>5. ZAKLJUČCI</b> .....	<b>47</b>
<b>6. LITERATURA</b> .....	<b>48</b>

# 1. UVOD

Minimalno procesirano voće i povrće (MPVP) proizvod je dobiven obradom netoplinskim metodama pri čemu se nastoje zadržati svojstva svježine sirovog voća ili povrća. Najveća prepreka široj primjeni MPVP izrazita je osjetljivost i kvarljivost proizvoda uz kratak rok trajanja od 4-7 dana uz obavezno čuvanje pri temperaturama hladnjaka. Proteklih nekoliko desetljeća potiče se veća konzumacija svježeg voća i povrća što je uzrokovalo ubrzan rast tržišta MPVP.

Krumpir je jedan od prikladnih izbora povrća za minimalno procesiranje. Tome pridonosi mogućnost skladištenja gomolja tijekom cijele godine i dobra nutritivna vrijednost krumpira. MPK proizvodi se u obliku sirovog oguljenog i narezanog krumpira, a u usporedbi s ostalim MPVP je specifičan po potrebi za toplinskom obradom prije konzumacije. Prije proizvodnje MPK potrebno je razumjeti i voditi računa o više faktora koji direktno utječu na kvalitetu i stabilnost proizvoda. Neki od njih su odabir kultivara, način i vrijeme skladištenja i vrsta pakiranja, a najveći uzročnik kvarenja MPK je enzimsko posmeđivanje. Odabir kultivara prvi je i bitan korak koji utječe na brojna svojstva krumpira poput veličine, boje, okusa, nutritivne vrijednosti i osjetljivosti na posmeđivanje. Do enzimskog posmeđivanja krumpira dolazi veoma brzo nakon izlaganja tkiva zraku zbog čega su istraživanja na MPK najviše usredotočena na sprečavanje posmeđivanja. U enzimskom posmeđivanju sudjeluje nekoliko enzima, a sprečavanje posmeđivanja najčešće se temelji na inaktivaciji enzima polifenoloksidaze ili na sprečavanju kontakta između supstrata i enzima. Za MPK najviše se koriste kemijske metode sprečavanja posmeđivanja uranjanjem u otopinu odgovarajuće tvari poput askorbinske ili limunske kiseline.

Ultrazvuk je primjer alternativne netoplinske metode koja se koristi za održavanje kvalitete i stabilnosti MPK. Primjena ultrazvuka je jednostavna, tretman je brz i niska je potrošnja energije. U prehrambenoj industriji, a posebice za MPVP koristi se tretman ultrazvukom visokog intenziteta koji može uzrokovati promjene fizikalnih, kemijskih ili biokemijskih svojstava hrane koje nisu degradativne, a doprinose održavanju kvalitete.

Cilj ovog rada bio je odrediti utjecaj vremena tretmana ultrazvukom visokog intenziteta na kvalitetu i stabilnost MPK tijekom skladištenja. MPK se skladištio 8 dana na 10 °C, a pratili su se fizikalno kemijski parametri (ukupna suha tvar, topljiva suha tvar, pH), boja, tekstura, udio plinova u pakovanju i senzorska ocjena.



## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Krumpir

#### 2.1.1. Uvod

Kultivirani krumpir (*Solanum tuberosum L.*) pripada porodici *Solanaceae* (Pomoćnice), a porijeklom je iz planinske regije Anda u Sjevernoj Americi gdje se kao hrana koristi više od deset tisuća godina. U Europu je prenesen krajem 16-og stoljeća te je ubrzo postao neophodna namirnica u svakodnevnom životu zbog čega su se počeli koristiti pojmovi „Europskog“ ili „Irskog“ krumpira. Do danas je poznato oko pet tisuća sorti kultiviranog ili divljeg krumpira koji se uzgaja u 160 zemalja diljem svijeta. (Camire i sur., 2009)

Krumpir je višegodišnja biljka (Slika 1) s cvjetovima bijele do ljubičaste boje i žutim prašnicima, a jestivi gomolj zadebljali je dio podzemnog rizoma. Razmnožava se pomoću sjemenki ili vegetativno prokljalim gomoljem. Gomolj će u povoljnim uvjetima prokljati iz pupoljaka s površine što je poželjno za razmnožavanje, ali neprikladno za procesiranje i konzumaciju. Ovisno o genomu kultivara postoje razne varijacije u veličini, obliku, boji i u sastavu nutrijenata. (Jaspreet, 2009)

Podjela krumpira vrši se na temelju raznih kriterija od kojih je uobičajen broj dana do zrelosti od trenutka sađenja. Ovim kriterijem sorte krumpira dijele se na:

- Vrlo rane: 65-70 dana
- Rane: 70-90 dana
- Srednje: 90-100 dana
- Kasne: 110-130 dana
- Vrlo kasne: >130 dana

Česta je podjela na temelju svojstava prikladnih za specifične operacije (pečenje, prženje, sušenje, smržavanje) i podjela na temelju prikladnosti za skladištenje (kultivari za konzumaciju ubrzo nakon berbe, kultivari koji zadržavaju poželjna svojstva tijekom skladištenja) (Camire i sur. 2009).



**Slika 1.** Biljka krumpira (Anonymous 1, 2018)

Zbog visokog prinosa i nutritivne vrijednosti po jedinici površine, krumpir je danas uz pšenicu, rižu i kukuruz jedan od najvažnijih usjeva. U razvijenim zemljama već dulje je vrijeme jedna od osnovnih prehrambenih namirnica, a u zadnjih 50 godina konzumacija krumpira drastično se povećala u zemljama u razvoju. Tome je pridonio ubrzan razvoj znanosti i prikupljanje znanja potrebnog za učinkovitiju kultivaciju krumpira u toplim, vlažnim i tropskim dijelovima Afrike i Azije (Zaheer i sur., 2014).

### **2.1.2. Kemijski sastav i nutritivna vrijednost gomolja krumpira**

U nastavku su prikazane tablice sa službenim podacima USDA-e o kemijskom, mineralnom i sastavu vitamina krumpira (Tablica 1, Tablica 2). Uspoređujući podatke o kemijskom sastavu krumpira moguće je da postoje određena odstupanja, jer na kemijski sastav utječe odabrani kultivar, uvjeti tla, klimatski uvjeti te starost gomolja.

**Tablica 1.** Prosječni kemijski sastav u 100 g svježeg sirovog gomolja krumpira (USDA, 2018)

<b>Voda</b>	79,25 g
<b>Energetska vrijednost</b>	32 kcal
<b>Proteini</b>	2,05 g
<b>Lipidi</b>	0,09 g
<b>Ugljikohidrati</b>	17,49 g
<b>Prehrambena vlakna</b>	2,10 g
<b>Ukupni šećeri</b>	0,82 g
<b>Saharoza</b>	0,17 g
<b>Glukoza</b>	0,31 g
<b>Fruktoza</b>	0,26 g

Kuhani krumpir prije svega veoma je dobar izvor ugljikohidrata koji čine oko 75 % ukupne suhe tvari gomolja. Najzastupljeniji ugljikohidrat u krumpiru je škrob koji je rezerva energije za biljku i u svojem nativnom obliku teško probavljiv što uzrokuje potrebu toplinske obrade prije konzumacije pri čemu polimeri škroba postaju topiviji i dostupniji za probavu. Udio škroba u kultiviranom krumpiru kreće se od 11,0 do 30,4 % gdje je zrelost krumpira od ključne važnosti za udio škroba (Jansen i sur., 2001).

**Tablica 2.** Sastav minerala i vitamina u 100 g svježeg sirovog gomolja krumpira (USDA, 2018)

<b>Kalij</b>	425 mg
<b>Fosfor</b>	57 mg
<b>Magnezij</b>	23 mg
<b>Kalcij</b>	12 mg
<b>Natrij</b>	6 mg
<b>Vitamin C</b>	19,70 mg
<b>Folat</b>	0,015 mg
<b>Vitamin A</b>	2 IU
<b>Niacin</b>	1,06 mg

Zbog niskog ukupnog udjela u usporedbi s ostalim sirovim povrćem krumpir se ne smatra dobrim izvorom proteina, ali protein koji je prisutan ima visoku vrijednost biodostupnosti. Lipidi se nalaze u zanemarivom udjelu, a prehrambenih vlakana najviše ima u odebljaloj staničnoj membrani periderma te mogu imati ulogu u reduciranju kolesterola. Krumpir je dobar izvor esencijalnog kalija potrebnog za održavanje ravnoteže unutarstanične tekućine, a nije zanemariva ni prisutnost fosfora, magnezija i kalcija. Od vitamina najzastupljeniji je vitamin C koji često nedostaje u prehrani te u mnogim krajevima svijeta krumpir predstavlja bitan izvor vitamina C u prehrani (Buckenhuskes, 2005).

Krumpir u svom sastavu sadrži i niz biološki aktivnih fitonutrijenata. Njihovo prisustvo u krumpiru poželjno je u što većoj količini zbog utjecaja antioksidacijske aktivnosti pojedinih fitonutrijenata. Antioksidacijska aktivnost fitonutrijenata povezuje se s pozitivnim učincima na zdravlje poput protuupalnih, antialergijskih i antikancerogenih djelovanja. Najbrojniji fitonutrijenti u krumpiru su fenolni spojevi. Oni čine jednu od najbrojnijih i široko rasprostranjenih skupina u biljnom svijetu s više od 8000 do danas poznatih spojeva. Imaju snažan antioksidacijski potencijal koji uvelike doprinosi povoljnim svojstvima krumpira. Antioksidacijski potencijal fenola povezan je s prisutnošću hidroksilnih skupina unutar strukture koje mogu sudjelovati kao donor elektrona ili vodika čime sprečavaju oksidaciju drugih tvari te prisutnošću konjugiranih veza koje doprinose rezonancijskoj stabilizaciji. Sudjeluju u biokemijskim promjenama koje se odvijaju tijekom rasta i razvoja krumpira te su uključeni u mehanizme formiranja boje, okusa i arome, no isto tako su uključeni i u razne nepoželjne procese koji se javljaju tijekom prerade i uzrokuju degradativne promjene (Bravo, 1998). Udio fenolnih spojeva u krumpiru kreće se od 530 do 1770  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Prisutni su u kori i mesu krumpira, no koncentracija im je znatno viša u kori. Na stabilnost i koncentraciju fitonutrijenata krumpira utječu faktori poput genotipa, agronomski faktori, skladištenje nakon berbe, kuhanje, procesiranje, kopigmentacija (Ezekiel, 2013).

## 2.2. Minimalno procesirano voće i povrće

U prijašnjih nekoliko desetljeća potrošači su počeli zahtijevati hranu koja je čim manje procesirana ili tretirana kemikalijama, a u isto vrijeme je svježija, zdrava i spremna za konzumaciju. Također, potiče se češća konzumacija svježeg voća i povrća tijekom dana. Rast proizvodnje i asortimana minimalno procesiranog voća i povrća (MPVP) odgovor je prehrambene industrije na navedene zahtjeve. Minimalno procesiranje voća i povrća podrazumijeva obradu netoplinskim operacijama i mora garantirati sigurnost proizvoda unutar ograničenog roka trajanja. Osim toga se nastoje zadržati svojstva svježine proizvoda u istoj mjeri kao sirovog voća ili povrća. MPVP dobar je izbor brzog, jednostavnog i zdravog obroka, iznimno cijenjenog u današnjem načinu života jer je općenito spremno za konzumaciju a sadrži i razne nutrijente povezane s pozitivnim učincima na zdravlje (Ramos i sur., 2013).

Izražena osjetljivost i kvarljivost te ograničen rok trajanja i obaveza čuvanja na temperaturi hladnjaka najveće su prepreke široj primjeni MPVP. Tijekom obrade, na sirovini se mogu vršiti sljedeće operacije: probiranje, čišćenje, pranje, guljenje, rezanje, usitnjavanje, itd. pri čemu sve one imaju negativan utjecaj na stabilnost sirovine. Svojstva MPVP tijekom obrade mogu se usporediti s fiziologijom oštećenog tkiva pri čemu intenzitet promjene tkiva ovisi o primijenjenoj operaciji, vrsti i kultivaru voća ili povrća, koncentraciji O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u pakovanju, prisustvu tvari ili primijenjenoj metodi za usporavanje kvarenja te temperature čuvanja. Oštećenja tijekom obrade MPVP izravno utječu na smanjen rok trajanja proizvoda do čega dolazi najviše zbog ubrzanog omekšavanja tkiva i posmeđivanja oštećene površine (Soliva-Fortuny i Martín-Belloso, 2003) i porasta broja mikroorganizama.

Mikroorganizmi prirodno prisutni na površini svježeg voća i povrća većinom nisu patogeni za čovjeka, ali problem nastaje uslijed povećanja njihovog broja, a posebno ako je proizvod kontaminiran štetnim mikroorganizmima podrijetla iz okoliša, životinja ili čovjeka. Kontaminacija može nastupiti tijekom rasta, berbe, transporta, procesiranja i daljnjeg rukovanja sirovinom. Guljenje, rezanje i usitnjavanje najviše povećavaju rizik kontaminacije jer oštećenu površinu tkiva izlažu zraku što ubrzava ulazak neželjenih mikroorganizama. Takvim mehaničkim oštećenjima probija se zaštitna epidermalna barijera voća ili povrća, povećava se dodirna površina oštećenog tkiva i uzrokuje veća pristupnost nutrijenata štetnim vanjskim utjecajima (Conte i sur., 2009).

Mehanička oštećenja osim toga uzrokuju i ubrzano starenje tkiva čime se dodatno smanjuje otpornost MPVP. Navedene činjenice jasno pokazuju potrebu za boljim i potpunim razumijevanjem ovih procesa kako bi se uvijek prisutan rizik od bolesti uzrokovanih štetnim mikroorganizama znatno smanjio ili uklonio. Službeni podaci organizacija Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Food and Drug Administration (FDA) i World Health Organization (WHO) potvrdili su veći broj slučajeva trovanja uzrokovanog svježim voćem ili povrćem u prethodnih desetak godina pri čemu zelena salata predstavlja najveći rizik (Goodburn i Wallace, 2013).

Svježe sirovo voće i povrće jedne su od najkvarljivijih namirnica čemu pridonosi visok udio ugljikohidrata, nizak udio proteina, pH vrijednost od 7,0 do blago kisele te visok aktivitet vode. Ovi uvjeti povoljna su podloga za rast mnogih patogenih mikroorganizama. MPVP još je kvarljivije od sirovog zbog već navedenih mehaničkih operacija koje bitno utječu na rok trajanja; sirovo svježe voće i povrće ima rok trajanja od nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci, a minimalno procesirano tek 4 do 7 dana. Razumijevanje degradativnih procesa MPVP neophodno je za razvijanje novih tehnologija kojima bi se održala što bolja kvaliteta MPVP (Ramos, 2013).

### **2.2.1. Minimalno procesirani krumpir**

Sirovi krumpir sadrži visok udio rezistentnog škroba. Rezistentni škrob sadrži kombinaciju škroba i produkata degradacije škroba koji se ne apsorbiraju u tankom crijevu. Struktura rezistentnog škroba onemogućuje razgradnju pod utjecajem amilolitičkih enzima i zbog toga je prije konzumacije krumpira potrebna toplinska obrada u obliku kuhanja, pečenja, prženja, itd. pomoću kojih škrob želira i gubi kristalnu strukturu te postaje probavljiv (Zaheer, 2014). Navedeno čini krumpir specifičnim na tržištu MPVP koje se uglavnom sastoji od voća i povrća spremnog za konzumaciju. Sirovi oguljeni i narezani krumpir spreman za pripremu osnovni je minimalno procesirani proizvod od krumpira, a namijenjen je kao alternativa kuhanom krumpiru u vakuumu ili krumpiru iz konzerve. Istraživanje Montouto-Graña i suradnika (2012) na temu senzorskih karakteristika, potrošačke prihvatljivosti te namjere za kupnjom minimalno procesiranog krumpira (MPK) pokazalo je pozitivan općenit dojam od većine ispitivača i namjeru za kupnjom takvog proizvoda ako je zadovoljavajuće kvalitete.



**Slika 2.** Minimalno procesirani krumpir (Anonymous 2, 2012)

Kod proizvodnje minimalno procesiranog krumpira (Slika 2.) potrebno je voditi računa o nizu faktora koji direktno utječu na kvalitetu, stabilnost, a naposljetku i prihvatljivost od strane potrošača. Neki od navedenih faktora su odabir kultivara, primjena adekvatnih fizikalnih ili kemijskih metoda za sprečavanje posmeđivanja, način i vrijeme skladištenja, vrsta pakiranja i tretman alternativnim netoplinskim metodama.

#### **2.2.1.1. Odabir kultivara za MPK**

Odabir prikladnog kultivara krumpira za minimalno procesiranje prvi je i veoma bitan korak kojim se osigurava znatno bolja kvaliteta konačnog proizvoda. Uzgajanje krumpira po cijelom svijetu i kroz period od 10 000 godina uvjetovalo je pojavu mnogo različitih genotipova i kultivara. Nadalje, otkriće genetike i postupka križanja biljaka u zadnjih 200 godina pružilo je gotovo neiscrpan izvor mogućnosti u dobivanju željenih karakteristika krumpira. Velik broj sorti pokazuje raznolikost kultiviranog krumpira, no izniman je potencijal bioraznolikosti ako se uzmu u obzir i brojne divlje vrste krumpira koje su kompatibilne za križanje. Uspješnim iskorištavanjem ovog potencijala moguće je dobiti kultivare s karakteristikama posebno pogodnima za minimalno procesiranje (Camire i sur., 2009).

Genotip krumpira između ostalog direktno utječe na sljedeće karakteristike; veličina, boja, okus, tekstura, nutritivna vrijednost i otpornost na štetočine. Osim toga osjetljivost na posmeđivanje može se razlikovati između kultivara što je već primijećeno i za jabuke, nektarine i breskve. To se može objasniti razlikom u količini fenola i ostalih antioksidansa između kultivara te aktivnošću enzima (Arvanitoyannis i sur., 2008). Za minimalno procesiranje krumpira prikladne su sorte na kojima se sporije manifestiraju neželjene fiziološke promjene i s tkivom otpornijim na mehaničke podražaje. Osim toga traže se sorte s niskom razinom respiracije, a bitan je i kemijski te nutritivni sastav gomolja; količina suhe tvari i škroba te čim veća količina vitamina, minerala i ostalih fitonutrijenata. Za potrošače su ipak najbitnija organoleptička svojstva teksture, okusa, mirisa i boje. Cabezas-Serrano i suradnici (2009) istraživali su prikladnost pet različitih kultivara krumpira („Agata“, „Agria“, „Almera“, „Marabel“ i „Vivaldi“) za minimalno procesiranje. Krumpir je narezan i skladišten pri 5 i 20 °C 9 dana, a prikladnost za minimalno procesiranje definirana je kao povezanost stupnja posmeđivanja tijekom skladištenja i parametara kvalitete izmjerenih na početku eksperimenta. Mjeren je udio suhe tvari, vitamina C, ukupnih fenola, sastav šećera, antioksidacijska aktivnost, aktivnost polifenoloksidaze (PPO) i fenilalanin amonijak liaze (PAL) i boja. Istraživanje je potvrdilo bitne razlike u prikladnosti kultivara za minimalno procesiranje. Kultivar „Marabel“ pokazao je najmanji stupanj posmeđivanja i promjene boje, slijedi ga kultivar „Agata“, a ostali su manje prikladni. „Marabel“ je po sastavu karakteristično niskog udjela fenola i aktivnosti PPO te visoke antioksidacijske aktivnosti što pojašnjava bolju prikladnost za minimalno procesiranje. S druge strane, kultivar „Almera“ manje je prikladan vjerojatno zbog visokog udjela fenola i aktivnosti PAL iako ima visok udio askorbinske kiseline i visoku antioksidacijsku aktivnost. Lerna i suradnici (2016) promatrali su utjecaj tretmana protiv posmeđivanja na senzorska i fizikalno-kemijska svojstva 8 različitih kultivara ranog krumpira. Ovo istraživanje isto tako je pokazalo značajne razlike između kultivara. Krumpir je tretiran uranjanjem u natrijev bisulfit, deioniziranu vodu i kombinaciju askorbinske i limunske kiseline. Najbolje rezultate imao je tretman askorbinskom i limunskom kiselinom pri čemu je tretman bio značajno efikasniji na kultivare „Arinda“, „Marabel“, „Matador“ i „Spunta“ dok su kultivari „Antea“ i „Ditta“ bili neprikladni za minimalno procesiranje.



### 2.2.1.2. Enzimsko posmeđivanje MPK

Enzimsko posmeđivanje MPK ima najveći utjecaj na njegov ograničen rok trajanja te su većina istraživanja s namjerom poboljšanja stabilnosti i kvalitete MPK usmjerena upravo na sprečavanje posmeđivanja. Posmeđivanje površine upućuje na kvarenje i gubitak kvalitete te je popraćeno s ostalim degradativnim promjenama zbog čega je u svakom slučaju nepoželjna karakteristika. Enzimsko posmeđivanje uzrokuju oksidacijske reakcije katalizirane enzimima PPO i peroksidazom (POD). Supstrati se u ovim reakcijama nalaze u vakuolama stanice dok su enzimi smješteni u citoplazmi, a reakcija nastupa tek kad su supstrat i enzim u dodiru uz prisustvo kisika. Navedena činjenica pojašnjava zašto bilo kakvo oštećenje tkiva uzrokuje ubrzano enzimsko posmeđivanje (Ioannou i Ghoul, 2013, Rocculi i sur., 2007).

U krumpiru u enzimskom posmeđivanju sudjeluje i enzim PAL. Enzim je koji sudjeluje u metabolizmu fenil propanoide i aktivira se uslijed oštećenja tkiva do kojeg dolazi tijekom minimalnog procesiranja krumpira. Veća aktivnost PAL uzrokuje povećanje koncentracije fenolnih spojeva koji su supstrati za daljnje oksidacijske reakcije pod utjecajem PPO i POD (Cantos, 2002, Tomás-Barberán i Espín, 2001).

PPO je enzim koji u biljkama može biti latentan ili aktivan te je od najbitnijeg utjecaja na posmeđivanje MPK. Katalizira dvije oksidacijske reakcije; hidroksilaciju monofenola u o-difenole koja je relativno spora i rezultira nebojenim produktima i brzu reakciju oksidacije o-difenola u o-kinone. O-kinoni spontano prelaze u smeđe, crno ili crveno obojene melanine koji su odgovorni za degradaciju izgleda i kvalitete proizvoda (Ioannou i Ghoul, 2013, Tomás-Barberán i Espín, 2001). Bachem i suradnici (1994) ispitali su utjecaj inhibicije PPO na enzimsko posmeđivanje oštećenog krumpira. Korišteni su transgeni krumpiri u kojima je specifično inhibirano stvaranje melanina te je na njima izvršeno mehaničko oštećenje. U usporedbi s kontrolnim uzorcima, na transgenom krumpiru nije bilo znakova posmeđivanja na mjestu oštećenja što pokazuje ključnu ulogu PPO u enzimskom posmeđivanju MPK.

POD je sljedeći bitan enzim u procesima posmeđivanja. Katalizira reakciju oksidacije fenolnih spojeva u prisustvu vodikovog peroksida. Utjecaj POD u nastanku melanina dovodio se u pitanje zbog niskog udjela vodikovog peroksida u tkivu voća ili povrća poput krumpira, no poznato je da aktivnost PPO uzrokuje stvaranje vodikovog peroksida tijekom oksidacije pojedinih

fenola pa se pretpostavlja sinergistički učinak POD i PPO te utjecaj POD u procesima posmeđivanja (Cantos, 2002, Tomás-Barberán i Espín, 2001).

Cantos i suradnici (2002) istraživali su utjecaj minimalnog procesiranja na aktivnost PPO, POD, PAL i na fenolne spojeve u pet kultivara krumpira. Minimalno procesiranje uzrokovalo je ukupan porast u aktivnostima PPO i POD tijekom skladištenja, a PAL je postigao maksimum u četvrtom danu skladištenja. PPO i POD u trenucima nastajanja pojedinih fenolnih spojeva pokazuju povećanje aktivnosti, no na kraju ipak nije pronađena značajna korelacija između stupnja posmeđivanja i analiziranih parametara.

### **Sprečavanje enzimskog posmeđivanja**

Budući da najveći utjecaj na posmeđivanje ima PPO, većina metoda za sprečavanje posmeđivanja temelje se na inaktivaciji PPO ili sprečavanju kontakta između supstrata i enzima. Tehnike sprečavanja enzimskog posmeđivanja mogu se podijeliti na kemijske, fizikalne, kombinaciju kemijskih i fizikalnih, korištenje jestivih premaza i alternativne metode sprečavanja posmeđivanja.

Kemijskim metodama svrha je ograničavanje oksidacije u voću ili povrću što se postiže tretmanom s prikladnom tvari. Kemijske metode dijele se s obzirom na djelovanje pojedine tvari na: tretman antioksidansom (askorbinska kiselina, N-acetil cistein), tretman kelatizirajućim agensom (limunska kiselina, EDTA), tretman sredstvom za učvršćivanje (kalcijev laktat, kalcijev klorid) i tretman sredstvom za zakiseljavanje (limunska i askorbinska kiselina).

Fizikalnim metodama posmeđivanje se nastoji spriječiti promjenom temperature ili smanjenom pristupnošću kisika. Od fizikalnih metoda koristi se blanširanje (u vodi, parom ili mikrovalnom energijom), smrzavanje i modificirana atmosfera.

Alternativne metode se sve više koriste zbog degradativnih promjena pod utjecajem toplinskih metoda te se nastoje pronaći netoplinske metode od kojih svaka sprečava enzimsko posmeđivanje na specifičan način. Neke od novijih alternativnih metoda su korištenje visokog hidrostatskog tlaka, ozračivanje, pulsirajuće električno polje, ultrazvuk (Ioannou i Ghoul, 2013).

Jestivi premazi također predstavljaju alternativnu metodu, a podrazumijevaju nanošenje sloja premaza po cijeloj površini namirnice čime se usporava gubitak vlage, arome i boje te se zadržava opća prihvatljivost od strane potrošača.

### **Kemijske metode sprečavanja enzimskog posmeđivanja MPK**

Od kemijskih metoda, za sprečavanja posmeđivanja MPK obećavajućim se pokazalo uranjanje u otopinu odgovarajuće tvari no još uvijek nije pronađena jedna tvar ili smjesa tvari koja je istovremeno učinkovita u sprečavanju posmeđivanja, ne izaziva degradativne promjene na tkivu krumpira i prihvaćena od službenih administrativnih agencija. Istraživanja su se usredotočila na tri moguća efekta navedenih tvari pri sprečavanju posmeđivanja MPK; snižavanje pH ispod 4 radi inaktivacije PPO, stvaranje kelatnih kompleksa s ionima bakra iz PPO i snažno antioksidacijsko djelovanje čime se sprečava nastanak melanina (Tsouvaltzis, 2016).

Još jedna korisna funkcija uranjanja u takve otopine je ispiranje enzima i supstrata oslobođenih iz tkiva krumpira nakon mehaničkih operacija minimalnog procesiranja. Uobičajeno vrijeme uranjanja je od 1 do 5 minuta pri čemu je pokazano da to vrijeme ima veoma malen ili gotovo nikakav efekt na usporavanje respiracije i proizvodnju etilena. Temperatura tretmana ima daleko veći utjecaj u usporedbi s vremenom. Uranjanjem pri višim temperaturama (60 C°) može se postići bolje prodiranje tvari protiv posmeđivanja do čega dolazi vjerojatno zbog brže difuzije. Viša temperatura ipak u većini slučajeva izaziva više negativnih od pozitivnih posljedica zbog povećanja aktivnosti PPO pri takvoj temperaturi stoga se uranjanje vrši pri čim nižim temperaturama, a najpoželjnije je ispod 20 C°. Da bi se izbjeglo mikrobiološko kvarenje, višak otopine s površine krumpira mora se oprezno i u potpunosti osušiti (Soliva-Fortuny i Martín-Belloso, 2003).

Istraživanja kemijskih metoda za sprečavanje enzimskog posmeđivanja MPK bavila su se evaluacijom učinkovitosti pojedinih tvari u različitim koncentracijama i kombinacijama pri čemu su najučinkovitije one čijim tretmanom krumpir tijekom skladištenja pokazuje najniži stupanj posmeđivanja. Najčešće su korišteni i najbolje učinke pokazuju tretmani askorbinskom kiselinom, limunskom kiselinom i L-cisteinom u koncentracijama između 0.5 i 2 % (Gunes i Lee, 1997, Buta i Moline, 2001, Hwang i sur., 2002).

Askorbinska kiselina visoko je efikasan reducirajući agens koji se u svrhu sprečavanja enzimskog posmeđivanja počeo koristiti kao alternativa sulfitima koji su isto tako efikasni, ali mogu izazvati alergijske reakcije kod osjetljivije populacije ili stvarati toksične međuprodukte (Rocculi i sur., 2007). Askorbinska kiselina inhibira enzimsko posmeđivanje redukcijom kinona prije nego što se formiraju smeđi pigmenti, a moguće je i nastajanje kelata s ionima bakra na aktivnom mjestu PPO. Ako se sva askorbinska kiselina korištena u tretmanu oksidira u dehidroaskorbinsku kiselinu, kinoni se mogu ponovo akumulirati i izazvati posmeđivanje. Zato je veoma bitno primijeniti koncentraciju koja je dovoljno visoka za efikasno sprečavanje posmeđivanja, ali ne i toliko visoka da izaziva neugodan strani okus hrane (Laurila i sur., 1998).

Limunska kiselina najčešće je korišten agens za zakiseljavanje. Osim što inhibira PPO redukcijom pH, ima i kelatizirajući učinak na ione bakra aktivnog mjesta enzima. Korištenje same limunske kiseline i kombinacije s askorbinskom kiselinom pokazalo se pouzdanim u sprečavanju enzimskog posmeđivanja MPK. Niska nabavna cijena dodatni je poželjan čimbenik pri odabiru limunske kiseline kao tretman protiv posmeđivanja (Ma i sur., 2010, Laurila i sur., 1998).

Aminokiseline sa sulfhidrilnim skupinama poput L-cisteina često su korištene u sprečavanju enzimskog i neenzimskog posmeđivanja krumpira, a imaju i značajan učinak na sprečavanje mikrobiološke kontaminacije. Djeluju kompetitivnom inhibicijom PPO, a mogu i reagirati s međuproduktima kinona pri čemu stvaraju stabilne i bezbojne sulfokinone (Ma i sur., 2010, Rocculi i sur., 2007). Kod osjetljive populacije mogu izazvati alergijske reakcije i stvarati neželjene međuprodukte, ali u proizvodima krumpira su dozvoljeni u nižim količinama jer se većina sulfita izgubi tijekom kuhanja. Prema istraživanju Gunes i Lee (1997), 0.5 % L-cisteina u kombinaciji s 2 % limunske kiseline efikasno sprečava posmeđivanje krumpira.

### **2.2.1.3. Pakiranje MPK**

Razvoj novih metoda pakiranja i dostupnost raznovrsnih pakovanja jedan je od glavnih razloga pojave MPVP na tržištu. Za takve lako kvarljive namirnice oduvijek je izazov bio uspostaviti sustav pakiranja koji produljuje rok trajanja i pozitivno utječe na održavanje kvalitete i stabilnosti unutar tog roka. Metodama pakiranja svježih namirnica poput MPVP nastoji se utjecati na sastav plinova u pakovanju kako bi se usporila brzina respiracije i nastanak etilena koji

ubrzavaju kvarenje. Za MPK najviše se primjenjuje pakiranje u vakuumu i pakiranje u modificiranoj atmosferi (Silva i sur., 2012).

### **Vakuum pakiranje**

Vakuum pakiranje je postupak pri kojem se hrana ručno ili automatski smješta u pakovanje plastičnog materijala nakon čega se fizički ili mehanički uklanja zrak, a materijal pakovanja ostaje u bliskom kontaktu s površinom sirovine. Ovisno o vrsti hrane, barijernim svojstvima pakovanja, razini uklanjanja zraka i temperaturi skladištenja, vakuum pakiranje može znatno usporiti kvarenje proizvoda i produljiti rok trajanja (Perdue, 2009).

Tehnologija vakuum pakiranja često se primjenjuje od začetaka tržišta MPVP. Zbog drugačijih razina respiracije različitog voća i povrća potrebno je odabrati plastični film koji pokazuje prikladnu propusnost na O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>. Krumpir se svrstava u skupinu blage respiratorne aktivnosti. Za vakuum pakiranje MPVP koristi se poliolefinska ambalaža. Propusnost ambalaže može se prilagoditi raznim dodacima ili odabirom prikladnog materijala površine ambalaže. Poliolefinska ambalaža pokazala je dobra barijerna svojstva za vlagu i za održavanje željenog sastava O<sub>2</sub> (< 5 %) i CO<sub>2</sub> (8-12 %). Osim toga, korištenjem vakuum pakiranja proizvođači i potrošači uvijek mogu vizualno procijeniti kvalitetu proizvoda (Perdue, 2009).

### **Pakiranje u modificiranoj atmosferi**

Modificirana atmosfera definira se kao svaka atmosfera koja je stvorena promjenom normalnog sastava plinova u zraku (78 % N, 21 % O<sub>2</sub>, 0,03 % CO<sub>2</sub>) s ciljem postizanja takvog sastava plinova u kojem namirnica ima dulji rok trajanja. To se može postići skladištenjem u kontroliranoj ili u modificiranoj atmosferi. Kontrolirana atmosfera podrazumijeva modifikaciju uz održavanje modificiranih uvjeta tijekom skladištenja. Modificirana atmosfera ima sličan princip, ali se koristi na mnogo manje količine proizvoda i modifikacija se vrši jednom prije skladištenja. Aktivnom modifikacijom uklanja se određena količina plinova iz ambalaže i zamjenjuje se željenim udjelima plinova. Pasivna modifikacija postiže se korištenjem pažljivo odabranih filmova ambalaže koji uzrokuju nastajanje željene atmosfere kao posljedica respiracije i difuzije plinova (Farber i sur., 2003).

Niska koncentracija O<sub>2</sub> (1-5 %) uzrokuje smanjen stupanj respiracije i produljenje roka trajanja zbog usporavanja oksidacije supstrata. Osim toga, koncentracije O<sub>2</sub> ispod 8 % smanjuju proizvodnju etilena koji je bitan faktor u procesima zrenja i sazrijevanja. S druge strane, koncentracija O<sub>2</sub> ispod 1 % doprinosi anaerobnoj respiraciji i nastajanju produkta koji uzrokuje degradaciju proizvoda, stoga se nastoje koristiti ambalažni materijali koji ne dovode do anaerobnih uvjeta. Ipak niti jedan korišten materijal nije potpuna barijera za kisik, ali anaerobni uvjeti u većini slučajeva ne predstavljaju visok rizik jer prije dolazi do degradativnih pojava vezanih uz kvarenje nego zbog anaerobnih uvjeta. Dušik u modificiranoj atmosferi ima ulogu odgađanja oksidacije zbog istiskivanja kisika, usporavanja rasta aerobnih mikroorganizama kvarenja i popunjavanja ambalaže. CO<sub>2</sub> je jedini plin od navedenih s antimikrobnom aktivnošću koja se pojašnjava kroz nekoliko teorija; promjenom funkcije stanične membrane, direktnom inhibicijom enzima, probijanjem membrana i izravnom promjenom fizikalnih i kemijskih svojstava proteina. Potrebna su detaljnija istraživanja utjecaja CO<sub>2</sub> jer je pokazano da ima različit utjecaj ovisno o vrsti mikroorganizma te je pokazano da čak može imati i stimulirajući učinak na pojedine patogene. Neki patogeni poput *Clostridium perfringens*, *C. botulinum* i *L. monocytogenes* su otporni na utjecaj CO<sub>2</sub> i pri koncentracijama višim od 50 % (Farber i sur., 2003).

Beltrán i suradnici (2013) promatrali su utjecaj različitih sredstava protiv posmeđivanja te mikrobiološku i senzorsku kvalitetu MPK pakiranog u vakuum i modificiranu atmosferu. Za skladištenje pri 4 °C na 14 dana, bolje rezultate pokazalo je vakuum pakiranje. U modificiranoj atmosferi posmeđivanje se spriječilo jedino korištenjem natrijeva sulfita. Montouto-Graña i suradnici (2012) istraživali su senzorska svojstva i prihvatljivost MPK. Ocjenjivao se MPK pakiran u vakuumu i u modificiranoj atmosferi. Oba načina su imala dobre rezultate, ali vakuum pakiranje je bolje ocijenjeno. Na ukupnu ocjenu najveći utjecaj imala je tekstura proizvoda pri čemu je krumpir pakiran u vakuumu imao veću čvrstoću te smanjenu vlagu i pastoznost.

#### **2.2.1.4. Tretman ultrazvukom**

Korištenje toplinskih metoda za produljenje roka trajanja problematično je kod MPVP zbog osjetljivosti svježeg voća i povrća na povišenu temperaturu. Pri takvom tretmanu dolazi do neprihvatljivog gubitka kvalitete i to posebice organoleptičkih svojstava. Zbog toga se istražuju alternativne netoplinke metode poput ultrazvuka. Ultrazvuk je definiran kao zvučni val čija je

frekvencija viša od praga osjetljivosti sluha čovjeka (približno 20 kHz) i pokazao je dobar potencijal zbog jednostavnosti primjene, brzine tretmana i niske potrošnje energije. Osim toga, ultrazvuk ne uzrokuje značajne neželjene promjene u kemijskoj strukturi namirnice i nije potrebno dodavanje štetnih tvari za tretman MPVP (Amaral i sur., 2014).

S obzirom na raspon frekvencije, primjena ultrazvuka u prehrambenoj industriji dijeli se na ultrazvuk niskog i visokog intenziteta (Slika 3).



**Slika 3.** Područja podjele zvuka prema frekvencijama (Mason, 1998)

Ultrazvuk niskog intenziteta podrazumijeva korištenje frekvencije iznad 100 kHz, a snage niže od  $1 \text{ W cm}^{-1}$ . Ultrazvuk niskog intenziteta omogućava promatranje i procjenu svojstava mutnih tekućina i detekciju stranih tijela u hrani bez kontakta kroz zid spremnika. Zbog toga se primjenjuje za neinvazivne analize i praćenje pojedinih parametara tijekom procesa. Koristi se i u kontroli kvalitete svježeg voća i povrća, kruha i žitarica, sira i smrznutih proizvoda, a moguća primjena je i detekcija patvorenja meda te procjena veličine i tipa pojedinih proteina (Awad i sur., 2012).

Ultrazvuk visokog intenziteta češće se koristi u prehrambenoj industriji, podrazumijeva frekvencije u rasponu od 20-100 kHz, a snagu veću od  $1 \text{ W cm}^{-1}$  i uzrokuje razne promjene fizikalnih, kemijskih i biokemijskih svojstava hrane. Promjene svojstava pod utjecajem ultrazvuka

imaju široku primjenu u prehrambenoj industriji kao alternativa konvencionalnim metodama kod sljedećih procesa; emulzifikacija, odspjenjivanje, modificiranje funkcionalnih svojstava proteina, inaktivacija ili ubrzanje aktivnosti enzima, mikrobiološka inaktivacija, smrzavanje, odmrzavanje, koncentriranje. Iz navedenog je vidljiva svestranost i moguća profitabilnost ultrazvuka, no potrebna su daljnja istraživanja kako bi se tretman ultrazvukom mogao efikasno primijenjivati i prilagođavati procesima u industrijskom mjerilu. (Awad i sur., 2012, Amaral i sur., 2014).

Većina utjecaja ultrazvuka visokog intenziteta pripisuje se fenomenu kavitacije. Do kavitacije dolazi prostiranjem zvučnog vala kroz tekući medij te stvaranjem longitudinalnih valova i područja promjenjivih kompresija i ekspanzija tlaka što uzrokuje pojavu kavitacije i kavitacijskih mjehurića. Mjehurići imaju veću površinu tijekom ekspanzijskog ciklusa, a kada energija ultrazvuka nije dovoljna za zadržavanje plinske faze, dolazi do brze kondenzacije mjehurića. Kondenzirani mjehurići se sudaraju te stvaraju udarne valove i područja vrlo visoke temperature i tlaka (5500 °C i 50 MPa). Navedene zone visokih temperatura i tlaka imaju utjecaj na navedene fizikalne, kemijske i biokemijske promjene hrane. (Herceg i sur., 2009).

Osnovni dijelovi za dobivanje ultrazvuka visokog intenziteta su generator koji pretvara električnu energiju u visoku frekvenciju izmjenične struje i pretvornik koji visoku frekvenciju pretvara u mehaničke vibracije koje uzrokuju pojavu kavitacije. Dva uobičajena sustava za tretman ultrazvukom visokog intenziteta su: sustav s direktno uronjem sondom i primjena ultrazvučne kupelji (Brnčić i sur., 2009).

### **Ultrazvučna kupelji**

Primjenom ultrazvučne kupelji (Slika 4), ultrazvuk visokog intenziteta u mediju se postiže indirektno jer je pretvornik spojen na dno spremnika i dostavlja vibracije tekućini koja je u spremniku. Često se koriste jer su lako dostupne i jeftine, a rade na frekvenciji od 20-40 kHz. Ultrazvučne kupelji rade pri nižem intenzitetu zbog očuvanja stjenki kupelji i manjim snagama zbog velikih volumena tretiranih tekućina (Brnčić i sur., 2009).





**Slika 4.** Ultrazvučna kupelj tvrtke Bandelin (Anonymous 3)

### **Sustav s direktno uronjenom sondom**

Primjena sonde direktan je način tretmana ultrazvukom visokog intenziteta jer se sonda uranja u tekući medij koji se tretira. Ovom vrstom tretmana znatno je ograničen volumen medija koji se tretira, no može se postići veći lokalizirani intenzitet kavitacije, a time je moguća i bolja efikasnost tretmana ultrazvukom. Neki od načina tretmana sondom su uređaji za diskontinuirani tretman u otvorenoj čaši ili zatvoreni uređaj za kontinuiran tretman medija (Bromberger Soquetta i sur., 2017).

Li i suradnici (2017) istraživali su metode sprečavanja enzimskog posmeđivanja MPK. Ultrazvuk je pokazao statistički značajan utjecaj na smanjenje stupnja posmeđivanja koji je proporcionalan primijenjenoj snazi. Najniži stupanj posmeđivanja i najveću inaktivaciju enzima PPO i POD imala je kombinacija 0,06 % cisteina, 0,19 % limunske kiseline, 0,09 % askorbinske kiseline i ultrazvuk od 130 W. Amaral i suradnici (2017) bavili su se utjecajem ultrazvuka visokog intenziteta na kvalitetu MPK tijekom skladištenja. Primijetili su bržu redukciju pH uzoraka tretiranih ultrazvukom i to proporcionalno vremenu tretiranja, a nije pokazan statistički značajan učinak na suhu tvar krumpira. Aktivnost PPO smanjila se u prva 4 dana i polako vraćala na početnu razinu do kraja skladištenja, a čvrstoća krumpira ostala je nepromijenjena. U istraživanju Birmpa i suradnika (2013) utjecaja ultrazvuka na inaktivaciju mikroorganizama (*E. Coli*, *L. Innoucuca*, *S.*

*Enteritidis*, *S. Aureus*) svježe zelene salate i jagoda pokazana je visoka efikasnost u inaktivaciji uz održavanje željene boje. U istraživanju Sagong i suradnika (2011) ultrazvuk visokog intenziteta u kombinaciji s organskim kiselinama (jabučna, mliječna i limunska kiselina) uzrokovao je znatno bolju inaktivaciju mikroorganizama (*E. Coli*, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*) bez značajnog utjecaja na kvalitetu. Jang i suradnici (2011) promatrali su utjecaj ultrazvuka, askorbinske kiseline i njihove kombinacije na inhibiciju PPO i POD. Tretman kombinacijom bio je veoma učinkovit u inhibiciji navedenih enzima dok individualni tretmani nisu inaktivirali enzime.

Značajan broj istraživanja već je pokazao razne poželjne utjecaje ultrazvuka i moguću primjenu u prehrambenoj industriji, no još uvijek postoji mnogo nedoumica te je potrebno vršiti više detaljnijih i specifičnih istraživanja s namjerom boljeg razumijevanja tih utjecaja, posebice u industriji MPVP.

## **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### **3.1. Materijali**

Istraživanje je provedeno na krumpiru sorte Lady Claire, nabavljenom iz tvornice Adria Snack Company d.o.o. u travnju 2018. gdje je skladišten od listopada 2017. pri temperaturi od 10 °C. Krumpir je do istraživanja čuvan u hladnjaku također pri temperaturi od 10 C°. U svrhu istraživanja pripremljen je MPK koji je uronjen u 2%-tnu otopinu natrijeva askorbata u ultrazvučnoj kupelji i tretiran ultrazvukom visokog intenziteta s namjerom ispitivanja utjecaja ultrazvuka na kvalitetu i stabilnost MPK tijekom skladištenja.

Tijekom istraživanja provedene su sljedeće analize:

- određivanje udjela O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u pakovanju
- mjerenje boje
- mjerenje teksture
- određivanje ukupne suhe tvari, topljive suhe tvari i pH vrijednosti
- senzorska svojstva

Za sirove uzorke odrađene su sve navedene analize izuzev senzorski ocjenjivanog okusa, dok je za kuhani krumpir određena suha tvar, topljiva suha tvar, pH i sva senzorska svojstva.

### **3.2. Aparatura i pribor**

- Kompaktni kuhinjski aparat (MCM62020, Bosch, Slovenija)
- Kuhinjska vaga (KS19berry, Beurer GmbH, Njemačka)
- Analitička vaga (AX224, OHAUS, Švicarska)
- Ultrazvučna kupelj
- Vrećice za pakiranje u vakuumu (VB28/300, Gorenje, Slovenija)
- Uređaj za vakuumiranje (VS110W, Gorenje, Slovenija)
- Analizator plinova Oxybaby (WITT-GASETECHNIK GmbH & Co KG, Njemačka)
- Kolorimetar CM-3500 d (Konica-Minolta, Japan)
- Analizator teksture (Texture Analyser TA HDPlus, Stable Micro System, UK)

- Laboratorijski sušionik (ST-01/02, INSTRUMENTARIA, Hrvatska)
- pH metar (SevenEasy, Mettler-Toledo)
- Digitalni refraktometar (ATAGO, PAL-3, Japan)
- Štapni mikser (PHILIPS ProMix, 650 W)
- Gulilica za krumpir
- Plastične posude
- Cjediljka
- Aluminijske posude
- Stakleni štapići
- Eksikator

### **3.3. Kemikalije**

- 2%-tna otopina natrijeva askorbata (Sallant, Kina)
- Kvarcni pijesak, sitno zrnat-opran i užaren (GRAM-MOL d.o.o., Hrvatska)
- Destilirana voda

### **3.4. Metode rada**

#### **3.4.1. Priprema uzoraka MPK**

Krumpir korišten za pripremu uzoraka prvo je opran u vodi, zatim je ručno guljen gulilicom (poseban nožić za guljenje krumpira) i ponovo ispran vodom. Kuhinjskim aparatom izrezan je na ploške debljine 5 mm.

#### **3.4.2. Tretman ultrazvukom i skladištenje uzoraka MPK**

Ploške krumpira uranjaju se u ultrazvučnu kupelj koja je ispunjena sredstvom protiv posmeđivanja: 2%-tnom otopinom natrijeva askorbata. Krumpir je tretiran ultrazvukom frekvencije 40 kHz i amplitude 100% u vremenima od 3, 10, 20, 30 i 40 minuta. Led u plastičnom omotu povremeno se uranjao u kupelj za održavanje temperature ispod 40 °C. Nakon tretmana krumpira pri određenom vremenu, otopina natrijeva askorbata se izlije, ispire se ultrazvučna kupelj i ulije se svježe pripremljena otopina. Slijedi cijedenje ploški krumpira i oprezno posušivanje

papirnatim ubrusom. Po 300 g ploški krumpira pakira se u poliamidne/polietilenske vrećice i zatvara pomoću aparata za zavarivanje uz vakuumiranje. Kontrolni uzorci su narezane, oprane i osušene ploške krumpira pakirane u vakuumu bez tretmana ultrazvukom u otopini natrijeva askorbata.

Netom nakon pakiranja krumpir je stavljen na skladištenje u hladnjak pri temperaturi 10 °C. Krumpir je ukupno skladišten 8 dana, a analize su se provodile uzimanjem uzoraka 1., 3., 5. i 8. dan.

Kuhani krumpir pripremljen je stavljanjem ploški krumpira u vodu zagrijanu na temperaturu ključanja te kuhanjem 15 minuta.

### **3.4.2. Određivanje udjela O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u pakovanju**

#### Princip metode:

Određivanje udjela O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u pakovanju korištenjem Oxybaby uređaja temelji se na integriranoj pumpi, pumpi za usisavanje plina iz ambalaže i njegovo usmjeravanje na O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> mjernu ćeliju. O<sub>2</sub> iz plinske mješavine stvara slabi električni napon u mjernoj ćeliji koji je proporcionalan količini O<sub>2</sub>. Izmjereni napon prevodi se u vrijednost koncentracije i prikazuje na zaslonu. Mjerna ćelija CO<sub>2</sub> temelji se na principu infracrvene apsorpcije, a udio plinova se izražava u volumnim postocima.

#### Postupak:

Prije svakog mjerenja potrebno je kalibrirati uređaj pri okolnom zraku. Mjerenje se provodi ubodom igle uređaja u pakovanje čim se izuzima uzorak plina. Površina pakovanja prije mjerenja zaštićena je specijalnom samoljepljivom plastificiranom trakom kako ne bi došlo do propuštanja plinova. Nakon mjerenja na zaslonu uređaja prikazuje se informacija o koncentraciji O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>. Mjerenje se provodi u dva ponavljanja za svaki uzorak.

### **3.4.3. Određivanje boje kolorimetrijski**

#### Princip metode:

Boja je izmjerena na kolometru CIE LAB metodom. Ova metoda se zasniva na promatranju trodimenzionalnog prostora boja koji je temeljen na objektivnom vrednovanju boja i najbliži je vizualnoj percepciji. Trodimenzionalni prostor boja definiran je koordinatama  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  koje međusobno zatvaraju sferičnu površinu. Koordinata  $L^*$  mjera je svjetline,  $a^*$  ukazuje na zastupljenosti boja između crvene i zelene, a  $b^*$  na zastupljenost boja između plave i žute. Pomoću koordinata  $a^*$  i  $b^*$  može se odrediti vrijednost  $h$  koja predstavlja ton boje i vrijednost  $C$  koja označava intenzitet ili zasićenost boje. Kolorimetar radi na principu mjerenja stupnja reflektirane svjetlosti od mjerene površine.

#### Postupak:

Prije mjerenja potrebno je odabrati ploču čiji otvor ima promjer prikladan za korišteni uzorak. Za MPK odabrana je ploča od 30 mm. Prije početka mjerenja kolorimetar mora biti povezan s računalom na kojem se pomoću softvera Spectramagix NX mogu prilagoditi sve postavke vezane uz mjerenje kolorimetra. Kalibracija prije svakog seta mjerenja izvodi se čisto bijelim standardom (100%-tna refleksija) i crnim valjkom (0%-tna refleksija). Slijedi mjerenje boje uzoraka koje se provodi postavljanjem ploške krumpira na otvor ploče tako da ploška prekrije cijelu površinu otvora i poklapanjem uzorka s crnim valjkom. Mjerenje je provedeno na tri različite ploške svakog uzorka.

### **3.4.4. Određivanje teksture MPK**

#### Princip metode:

Svojstva teksture određuju se analizatorom teksture čiji se rad temelji na tlačenju ili rastezanju uzorka ovisno o testu koji se provodi. Mjerni senzor prati pružani otpor uzorka tijekom prodiranja alata kroz uzorak, a povratnom vezom na računalu se očitaju brzina, dubina i sila prodiranja.

#### Postupak:

Za MPK korišten je analizator teksture TA HDPlus (Stable Micro Systems). Za probijanje uzorka korištena je cilindrična čelična sonda promjera 2 mm s masom mjerne ćelije od 5 kg. Brzina sonde prije probijanja MPK je  $1 \text{ mm s}^{-1}$ , a  $0,5 \text{ mm s}^{-1}$  tijekom analize. Dubina prodiranja sonde je 5 mm. Analizator teksture spojen je na računalo, a rezultati se prikazuju i preračunavaju pomoću službenog softwera od proizvođača. Korištenjem tog softwera rezultate analize teksture moguće je prikazati na brojne načine. Za potrebe ovog rada rezultati su prikazani pomoću tri parametra; tvrdoća (N), elastičnost (mm) i rad (N m). Tvrdoća i elastičnost izračunaju se iz grafa primijenjene sile i udaljenosti. Tvrdoća je vrijednost sile u najvišoj točki koja predstavlja trenutak probijanja MPK te se očitava direktno. Elastičnost se mjeri određivanjem površine ispod krivulje grafa od početnog do trenutka probijanja uzorka, a rad je određen izračunom u službenom softwera. Mjerenje se provodi na 3 različite ploške svakog uzorka.

#### **3.4.5. Određivanje topljive suhe tvari**

##### Princip metode:

Refraktometrija kao analitički postupak temelji se na fizikalnom zakonu loma (refrakcije) svjetla pri čemu se zraka svjetla koja prelazi kroz tvar lomi pod određenim kutom. Taj kut naziva se indeks loma i konstantne je veličine uz standardne uvjete temperature i gustoće. Topljiva suha tvar može se odrediti u stupnjevima Brixa ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) izravnim očitavanjem topljive suhe tvari na prikazu digitalnog refraktometra (Zavadlav, 2015).

##### Postupak:

Refraktometar je potrebno kalibrirati na vrijednost nula prije svakog mjerenja uporabom destilirane vode. Mjerenje se provodi nanošenjem usitnjenog i homogeniziranog uzorka krumpira na optičku leću refraktometra i izravnim očitavanjem dobivene vrijednosti topljive suhe tvari. Mjerenje se provodi u dva ponavljanja za svaki uzorak.

### 3.4.6. Određivanje ukupne suhe tvari

#### Princip metode:

Ukupnu suhu tvar čini cjelokupna količina tvari iz sastava proizvoda, koja ne isparava pod definiranim uvjetima. Svaka sirovina se sastoji od dijela vode i suhe tvari. Određivanjem ukupne suhe tvari proizvoda sušenjem na 105 °C određuje se ostatak nakon sušenja na 105 °C do konstantne mase.

#### Postupak:

U osušenu aluminijsku posudicu stavi se kvarcni pijesak u količini da prekrije dno posudice. U posudicu se stavi stakleni štapić, te se skupa sa skinutim poklopcem suši u sušioniku na 105°C u trajanju od 60 minuta. Nakon sušenja, posudica se s polupoklopljenim poklopcem hladi u eksikatoru na 30 minuta. Nakon tog vremena, posudica se skupa sa staklenim štapićem i poklopcem izvaže na analitičkoj vagi s točnošću od ±0,0002 g. Potom se izvaže 1 g usitnjenog i homogeniziranog krumpira s točnošću ±0,0002 g i pomoću staklenog štapića dobro se izmiješa s kvarcnim pijeskom. Posudica s uzorkom se stavi na sušenje u sušionik na 105°C ± 0,5°C na 3 sata, zatim se posudice s uzorkom stavljaju na hlađenje u eksikator na 30 minuta. Nakon hlađenja, posudice se važu s točnošću od 0,0002 g. Mjerenja su se provodila na dvije paralele za svaki uzorak.

#### Izračun:

Ukupna suha tvar se računa pomoću sljedeće formule:

$$\text{suha tvar (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

$m_0$  – masa posudice i kvarcnog pijeska

$m_1$  – masa iste posudice s uzorkom krumpira prije sušenja

$m_2$  – masa iste posudice s ostatkom nakon sušenja



### 3.4.7. Određivanje pH vrijednosti

#### Princip metode:

Ova metoda temelji se na određivanju koncentracije vodikovih iona  $C_{H^+}$  u uzorku pomoću pH-metra “SevenEasy” Mettler Toledo. pH vrijednost očitana s instrumenta određena je koncentracijom vodikovih iona.

#### Postupak:

Određivanje se provodi uranjanjem kombinirane elektrode pH-metra u homogenizirani uzorak i očitavanjem vrijednosti na ekranu uređaja nakon stabilizacije prikazane vrijednosti. Prije i poslije svakog mjerenja elektroda se ispirala destiliranom vodom i pobrisala sa staničevinom. Mjerenje pH vrijednosti provedeno je u dva ponavljanja za svaki uzorak.

### 3.4.8. Senzorska ocjena

#### Princip metode:

Senzorska ocjena koristi ljudskim osjetilima u procjeni svojstava neke hrane poput boje, teksture, okusa i mirisa. U ovom radu korištena je kvantitativna deskriptivna analiza koja se temelji na određivanju senzorskih svojstava pri čemu je pojedino svojstvo opisano nizom karakterističnih pojmova koji ga pobliže opisuju. Za ovakvu analizu ocjenjivači trebaju biti obučeni i upoznati s terminologijom prije samog ocjenjivanja (Vahčić i sur., 2000).

#### Postupak:

Senzorska svojstva ocijenjena su od strane 6 obučenih ocjenjivača pri čemu se ocjenjivao sirovi i kuhani MPK. Sirovom krumpiru ocjenjivali su se parametri boje (posmeđivanje), mirisa (karakterističan i strani) i teksture (vlažnost i tvrdoća), a kuhanom krumpiru boja (posmeđivanje), miris (karakterističan i strani), tekstura (vlažnost, tvrdoća i kremasta tekstura) i okus (karakterističan, slatki, kiseli, slani, gorki i strani). Ocjenjivanje se provodilo skalom od 1 do 5 pri čemu 1 predstavlja neizraženo svojstvo, a 5 jako izraženo svojstvo uz mogućnost ocjenjivanja na pola ocjene. Rezultat senzorske ocjene srednje su vrijednosti od svih ocjenjivača za svaki uzorak i parametar.

### **3.4.9. Statistička obrada podataka**

Eksperimentalno dobiveni podaci analiza obrađeni su u programu MS Excel čime je dobivena i prikazana srednja vrijednost rezultata i standardna devijacija. Kao statistička obrada podataka u programu STATISTICA (ver. 12) je provedena “ANOVA main effects” analiza varijance koja izražava signifikantnost varijabli na rezultate istraživanja. Statistička obrada svih rezultata rađena je koristeći dvije varijable; dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je pratiti i odrediti utjecaj različitog vremena tretmana ultrazvukom visokog intenziteta na proizvedeni MPK tijekom 8 dana skladištenja. Za sirove uzorke provedeno je određivanje udjela O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u pakovanju, mjerenje boje i teksture, ukupne i topljive suhe tvari, pH vrijednosti i senzorska ocjena izuzev senzorski ocjenjivanog okusa, dok je za kuhani krumpir određena ukupna i topljiva suha tvar, pH i sva senzorska svojstva.

### 4.1. Ukupna suha tvar, topljiva suha tvar i pH vrijednost

U tablici 3 prikazani su rezultati analize varijance ANOVA za sirovi i kuhani MPK. Analiza pokazuje da na ukupnu suhu tvar sirovog krumpira statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom. Na ukupnu suhu tvar kuhanog krumpira isto tako statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom

Svi uzorci kuhanog krumpira imaju nižu vrijednost ukupne suhe tvari od sirovog krumpira (tablica 4). Ovaj rezultat je očekivan jer tijekom kuhanja krumpira dolazi do otapanja i zaostajanja određene količine topljive suhe tvari u vodi kao što su jednostavni šećeri (Toma i sur., 1978). Zanimljivo je primijetiti da su Tian i sur. (2016) utvrdili da se primjenom kuhanja krumpira na prikladnoj temperaturi u optimalnom vremenu zadržava velika većina poželjnih nutrijenata. Pokazano je da iako dolazi do degradacije dijela fitonutrijenata, pod utjecajem kuhanja nastaju neki drugi poželjni fitonutrijenti.

Najveći pad ukupne suhe tvari krumpira u prvom danu analize uočava se nakon tretmana od 20 i 30 min, ali istovremeno i najveći porast tijekom skladištenja. Kuhani uzorci tretirani 20 i 30 min nakon osam dana skladištenja isto tako pokazuju gotovo najviše vrijednosti ukupne suhe tvari. Amaral i suradnici (2014) određivali su utjecaj ultrazvuka na kvalitetu MPK i pokazali utjecaj vremena tretmana od 10 minuta na ukupnu suhu tvar nakon 8 dana skladištenja. Povećanje ukupne suhe tvari kod tretmana od 10 min poklapa se s rezultatima u ovom radu i značajno je manje u usporedbi s ostalim tretmanima što govori da tretman od 10 min dovodi do najmanje izražene dehidracije krumpira tijekom skladištenja. Kuhani uzorak tretmana od 10 min pokazuje gotovo najvišu vrijednost ukupne suhe tvari. U istraživanju Schössler i suradnika (2012) istraživan je

utjecaj kontaktnog ultrazvuka na promjenu strukture stanice krumpira pri čemu se ultrazvuk pokazao efikasnim za poboljšanje sušenja što pojašnjava značajno povećanje ukupne suhe tvari gotovo svih tretiranih uzoraka. Moguć je i utjecaj ultrazvuka na količinu i dostupnost nutrijenata koji nisu praćeni u ovom radu. Tretman ultrazvukom već je korišten kao način za obnovu izgubljenih nutrijenata soka mrkve pod utjecajem blanširanja (Jabbar i sur., 2014), a imao je i primjenu u održavanju svojstava kvalitete svježeg voća i povrća što upućuje na mogućnost pozitivnog utjecaja na nutritivni sastav MPK. Postoji i više istraživanja koja pokazuju negativan utjecaj ultrazvuka na granule škroba krumpira. Zuo i sur. (2012) dokazali su taj utjecaj pri čemu su pokazana oštećenja površine škroba, a ponekad i razaranje cijele granule. Navedeni utjecaj proporcionalan je primijenjenom intenzitetu ultrazvuka.

**Tablica 3.** Rezultati analize varijanci ukupne suhe tvari za sirovi i kuhani MPK

		Ukupna suha tvar		
		Varijabla	F	p
Sirovi	Dani skladištenja	192,44	0	
	Vrijeme uzv.	51,21	0	
Kuhani	Dani skladištenja	97,53	0	
	Vrijeme uzv.	26,40	0	

**Tablica 4.** Rezultati ukupne suhe tvari sirovih i kuhanih uzoraka MPK

		Ukupna suha tvar (%)			
Vrijeme tretmana UZV	Sirov/kuhan	1. dan	3. dan	5. dan	8. dan
Kontrola (0 min)	sirov	21,76 ± 0,86	25,18 ± 0,86	25,09 ± 0,28	26,36 ± 0,28
	kuhan	19,66 ± 0,05	17,65 ± 0,80	16,91 ± 0,82	16,55 ± 0,57
3 min	sirov	22,32 ± 0,23	23,15 ± 0,32	25,12 ± 0,24	28,81 ± 0,52
	kuhan	19,94 ± 0,54	17,09 ± 0,47	21,85 ± 0,30	18,89 ± 0,45
10 min	sirov	19,77 ± 0,64	19,19 ± 1,97	22,06 ± 0,75	23,00 ± 0,49
	kuhan	18,29 ± 0,04	15,24 ± 0,30	19,71 ± 0,10	19,97 ± 0,37
20 min	sirov	18,52 ± 0,76	24,11 ± 1,63	26,88 ± 0,87	30,56 ± 0,30
	kuhan	15,58 ± 0,77	19,08 ± 0,34	22,65 ± 0,33	20, 61 ± 0,37
30 min	sirov	18,98 ± 0,38	20,85 ± 0,45	23,63 ± 0,68	27,51 ± 0,70
	kuhan	16,66 ± 0,10	17,42 ± 0,25	21,19 ± 0,17	19,21 ± 0,77
40 min	sirov	20,38 ± 0,04	16,92 ± 0,49	20,27 ± 0,23	26,41 ± 0,68
	kuhan	17,62 ± 0,51	15,26 ± 0,19	18,76 ± 0,04	17,89 ± 0,95

Tablica 5 prikazuje rezultate analize varijance na topljivu suhu tvar sirovog i kuhanog krumpira. Na topljivu suhu tvar sirovog krumpira statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja dok na kuhani krumpir statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom.

Vrijednosti topljive suhe tvari kuhanih uzoraka znatno su niže od topljive suhe tvari sirovih uzoraka. Takvi rezultati slažu se s činjenicom da se topljiva suha tvar otapa i zaostaje u vodi tijekom kuhanja što utječe i na količinu ukupne suhe tvari. Značajan utjecaj na topljivu suhu tvar imalo je skladištenje tijekom 8 dana. Vidljiv je porast topljive suhe tvari svih sirovih uzoraka tijekom skladištenja dok se vrijednost u kuhanim uzorcima smanjuje osim u uzorku koji je s ultrazvukom tretiran 10 minuta. Sowokinos (1990) istraživao je metabolizam ugljikohidrata krumpira i pokazao da skladištenjem pri nižim temperaturama dolazi do enzimske hidrolize netopljivog škroba u topljive šećere, no postoji mogućnost da je do porasta topljive suhe tvari došlo zbog porasta ukupne suhe tvari. U kuhanim uzorcima vrijednost topljive suhe tvari se uglavnom smanjuje jer dolazi do njihovog otapanja tijekom kuhanja. Jedino u kuhanom uzorku tretiranom 10 min došlo je do porasta topljive suhe tvari nakon osam dana skladištenja i vrijednosti koja je viša u usporedbi s ostalim tretmanima. Moguće je da tretman od 10 min uzrokuje određene promjene u strukturi krumpira zbog kojih se topljiva suha tvar tijekom kuhanja ne gubi u istoj mjeri kao u ostalim uzorcima. Rocha i suradnici (2003) pratili su utjecaj vakuum pakiranja na kvalitetu MPK i jedan od mjerenih parametara bila je topljiva suha tvar. Krumpir koji je netretiran, pakiran u vakuumu i skladišten 7 dana pri 6 °C pokazao je gotovo konstantnu vrijednost topljive suhe tvari. To ukazuje da bitan utjecaj na promjenu topljive suhe tvari tijekom 8 dana skladištenja u ovom radu ima prethodni tretman krumpira ultrazvukom.

Nije poznat točan mehanizam koji bi objasnio utjecaj ultrazvuka na fizikalno-kemijske parametre MPK. Jedna od pretpostavki je promjena strukture stanice krumpira koja omogućuje daljnje promjene fizikalno-kemijskih parametara (Amaral i sur., 2014). Iz istraživanja Schössler i suradnika (2012) vidljiv je utjecaj ultrazvuka na promjenu strukture stanice pri čemu su te promjene primijećene uglavnom na vanjskim slojevima jer krumpir ima čvrstu neporoznu strukturu. U tom istraživanju krumpir je narezan na cilindre, a moguće je da ultrazvuk snažnije utječe na krumpir rezan na tanje ploške.

**Tablica 5.** Rezultati analize varijanci topljive suhe tvari za sirovi i kuhani MPK

		Topljiva suha tvar	
		Varijabla	F
Sirovi	Dani skladištenja	191,11	0
	Vrijeme uzv.	2,00	0,12
Kuhani	Dani skladištenja	208,00	0
	Vrijeme uzv.	98,69	0

**Tablica 6.** Rezultati topljive suhe tvari sirovih i kuhanih uzoraka MPK

		Topljiva suha tvar (°Bx)			
		1. dan	3. dan	5. dan	8. dan
Vrijeme tretmana UZV	Sirov/kuhan				
Kontrola (0 min)	sirov	5,95 ± 0,07	4,80 ± 0	6,50 ± 0	6,80 ± 0
	kuhan	2,15 ± 0,07	1,40 ± 0	1,30 ± 0	1,50 ± 0
3 min	sirov	4,20 ± 0	4,80 ± 0	6,05 ± 0	8,15 ± 0,07
	kuhan	1,80 ± 0	1,60 ± 0	1,40 ± 0	1,50 ± 0
10 min	sirov	5,90 ± 0	4,40 ± 0	6,00 ± 0	7,20 ± 0
	kuhan	2,05 ± 0,07	1,80 ± 0	1,50 ± 0	2,90 ± 0,14
20 min	sirov	5,85 ± 0,07	4,30 ± 0	7,05 ± 0,07	7,05 ± 0,07
	kuhan	2,10 ± 0	1,65 ± 0,07	1,30 ± 0	1,65 ± 0,07
30 min	sirov	5,80 ± 0	5,25 ± 0,07	6,15 ± 1,20	6,60 ± 0,14
	kuhan	1,80 ± 0	1,65 ± 0,07	1,50 ± 0,14	1,35 ± 0,07
40 min	sirov	5,90 ± 0	4,75 ± 0,07	5,60 ± 0	6,70 ± 0
	kuhan	2,90 ± 0	1,30 ± 0	1,80 ± 0	1,40 ± 0

Tablica 7 prikazuje rezultate analize varijance na pH sirovog i kuhanog MPK. Na sirovi i na kuhani MPK statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana.

S vremenom tretiranja krumpira ultrazvukom dužim od 10 min došlo je do smanjenja pH. Vrijeme skladištenja imalo je bitan utjecaj na pH MPK, no nije primijećena jasna korelacija jer u nekim uzorcima dolazi do povećanja pH, a u nekima do sniženja. U kontrolnom uzorku i onom tretiranom 10 min uočava se najveće povećanje pH tijekom skladištenja, a zapažena sniženja imaju sirovi uzorci tretirani ultrazvukom 3, 20, 30 i 40 minuta. Svi kuhani uzorci imaju veću pH vrijednost od sirovih pri istom tretmanu vjerojatno uslijed otapanja prisutnih kiselina. Rezultati ovog rada u skladu su s rezultatima istraživanja Amaral i suradnika (2014) i pokazuju statistički značajan utjecaj skladištenja na sniženje pH i utjecaj ultrazvuka na sniženje pH pri vremenu tretmana od 5 i 10 minuta. Rocha i suradnici (2003) su isto tako pokazali sniženje pH tijekom skladištenja MPK pakiranog u vakuumu, no uzrok nije poznat. Bolje poznavanje biokemijskih reakcija i sinteze organskih kiselina u krumpiru moglo bi pojasniti ove rezultate. Snižavanje pH MPK tijekom skladištenja nepoželjno je jer izaziva negativne posljedice na senzorskim svojstvima, posebice promjenu okusa.



**Tablica 7.** Rezultati analize varijanci pH sirovog i kuhanog MPK

		pH		
		Varijabla	F	p
<b>Sirovi</b>	Dani skladištenja	160,50	0	
	Vrijeme uzv.	321,10	0	
<b>Kuhani</b>	Dani skladištenja	515,60	0	
	Vrijeme uzv.	264,60	0	

**Tablica 8.** Rezultati pH vrijednosti sirovih i kuhanih uzoraka MPK

		pH			
Vrijeme tretmana UZV	Sirov/kuhan	1. dan	3. dan	5. dan	8. dan
<b>Kontrola (0 min)</b>	<b>sirov</b>	5,94 ± 0,01	5,98 ± 0,03	5,97 ± 0,06	6,66 ± 0,13
	<b>kuhan</b>	6,03 ± 0,04	6,55 ± 0,01	6,41 ± 0,04	6,88 ± 0,04
<b>3 min</b>	<b>sirov</b>	6,08 ± 0,04	5,97 ± 0,06	5,35 ± 0,04	5,55 ± 0,06
	<b>kuhan</b>	6,33 ± 0,01	6,53 ± 0,01	5,88 ± 0,04	5,61 ± 0,02
<b>10 min</b>	<b>sirov</b>	5,94 ± 0,02	6,09 ± 0,03	5,60 ± 0	6,29 ± 0,05
	<b>kuhan</b>	6,00 ± 0,01	6,50 ± 0,01	5,94 ± 0,01	6,59 ± 0,06
<b>20 min</b>	<b>sirov</b>	5,56 ± 0,01	5,42 ± 0	4,98 ± 0,04	4,88 ± 0,14
	<b>kuhan</b>	5,88 ± 0,01	6,37 ± 0,02	5,13 ± 0,02	5,79 ± 0,04
<b>30 min</b>	<b>sirov</b>	5,61 ± 0,01	5,73 ± 0,01	5,38 ± 0,07	4,78 ± 0,07
	<b>kuhan</b>	5,63 ± 0,01	6,58 ± 0,04	5,67 ± 0,17	5,65 ± 0
<b>40 min</b>	<b>sirov</b>	5,90 ± 0,01	5,84 ± 0,03	5,42 ± 0,05	4,98 ± 0,05
	<b>kuhan</b>	5,77 ± 0,01	6,32 ± 0,04	5,78 ± 0,03	5,89 ± 0,05

## 4.2. Udio CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> u pakovanju MPK

Iz tablice 9 vidljiv je statistički značajan utjecaj dana skladištenja i vremena ultrazvuka na udio CO<sub>2</sub> u pakovanju dok na udio O<sub>2</sub> statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja.

Udio O<sub>2</sub> u svim uzorcima smanjuje se tijekom skladištenja i to sporije prvih 5 dana skladištenja, a između petog i osmog dana dolazi do naglog smanjenja udjela O<sub>2</sub>. Vrijednosti udjela O<sub>2</sub> uzoraka tretiranih ultrazvukom tijekom skladištenja uglavnom su viša u odnosu na kontrolni uzorak. Udio CO<sub>2</sub> u većini uzoraka je viši nakon svih dana skladištenja, a najveća promjena kao i kod O<sub>2</sub> primijećena je između petog i osmog dana. Iz ovih rezultata vidljivo je da je proces respiracije nakon petog dana skladištenja znatno intenzivniji neovisno o vremenu tretmana ultrazvukom. Udio CO<sub>2</sub> nakon osmog dana ipak je niži u svim uzorcima tretiranim ultrazvukom posebice onim tretiranim kraće vrijeme (10 i 3 minute) iz čega se može pretpostaviti da kraći tretman ultrazvukom ima utjecaj na usporavanje procesa respiracije.

Siracusa i suradnici (2012) napominju utjecaj temperature i odabir prikladnog materijala kao ključne za permeabilnost pakovanja na plinove. Neovisno o materijalu pakovanja, niža temperatura je uvjetovala manju permeabilnost, a viša temperatura veću permeabilnost pakovanja. Castelano i suradnici (2006) pratili su respiracijski kvocijent minimalno procesirane jagode gdje je pokazan sigmoidalan porast respiracije ovisno o temperaturi i najviše je izražen između 5 i 10 °C. To govori da je pri usporavanju respiracije temperatura ključna jer utječe na permeabilnost pakovanja i povišenje temperature ubrzava respiraciju.

U istraživanju Jang i suradnika (2011), minimalno procesirana jabuka tretirana je kombinacijom ultrazvuka i askorbinske kiseline. Takav tretman inhibirao je aktivnost više enzima koji sudjeluju u procesima respiracije i posmeđivanja pri čemu je najjače inhibicijsko djelovanje na PPO, POD, monofenol oksidazu i difenol oksidazu. Bitno je napomenuti da individualni tretmani ultrazvukom ili askorbinskom kiselinom nisu pokazali značajnu efikasnost što pokazuje njihov sinergistički učinak iz čega se može zaključiti da je u ovom radu tretman ultrazvukom i askorbinskom kiselinom imao pozitivan učinak na usporavanje procesa respiracije.

**Tablica 9.** Rezultati analize varijanci udjela plinova u pakovanju MPK

		Udio plinova		
		Varijabla	F	p
O <sub>2</sub>	Dani skladištenja	1250,30	0	
	Vrijeme uzv.	2,48	0,060459	
CO <sub>2</sub>	Dani skladištenja	21013,63	0	
	Vrijeme uzv.	73,46	0	

**Tablica 10.** Rezultati udjela O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> u pakovanju MPK

		Koncentracija plina u pakovanju (%)			
Vrijeme tretmana UZV	Plin	1. dan	3. dan	5. dan	8. dan
Kontrola (0 min)	O <sub>2</sub>	18,3 ± 0,28	18,80 ± 0,14	16,77 ± 0,71	8,75 ± 0,07
	CO <sub>2</sub>	0,25 ± 0,07	1,30 ± 0,14	3,45 ± 0,07	17,50 ± 0
3 min	O <sub>2</sub>	18,85 ± 0,07	19,70 ± 0,28	17,75 ± 0,78	8,60 ± 0,28
	CO <sub>2</sub>	0,25 ± 0,07	1,65 ± 0,07	3,85 ± 0,21	13,50 ± 0,28
10 min	O <sub>2</sub>	19,10 ± 0,14	19,15 ± 0,21	17,55 ± 0,35	9,40 ± 0,14
	CO <sub>2</sub>	0,25 ± 0,07	2,05 ± 0,07	4,35 ± 0,21	12,25 ± 0,21
20 min	O <sub>2</sub>	18,60 ± 0	17,95 ± 1,20	17,65 ± 0,07	10,25 ± 0,07
	CO <sub>2</sub>	0,20 ± 0	1,55 ± 0,21	5,25 ± 0,07	14,80 ± 0,14
30 min	O <sub>2</sub>	19,00 ± 0,14	17,00 ± 0,85	18,88 ± 0,88	8,30 ± 0
	CO <sub>2</sub>	0,35 ± 0,07	1,40 ± 0,28	3,45 ± 0,35	17,10 ± 0
40 min	O <sub>2</sub>	18,85 ± 0,07	16,65 ± 0,21	18,95 ± 0,49	9,50 ± 0,14
	CO <sub>2</sub>	0,30 ± 0	1,80 ± 0,14	3,30 ± 0	14,80 ± 0,28

### 4.3. Parametri boje MPK

U tablici 11 dani su rezultati analize varijanci za parametre boje MPK. Na parametre  $L^*$ ,  $a^*$  i  $h$  statistički značajan učinak imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom dok na  $b^*$  i  $C^*$  statistički značajan učinak imaju dani skladištenja.

Posmeđivanje MPK najveći je problem za održavanje kvalitete i stabilnosti tijekom skladištenja. Prema Cantos i suradnicima (2012), od svih mjerenih parametara najbolji pokazatelj posmeđivanja MPK je pokazatelj svjetline,  $L^*$ .

Na početku skladištenja rezultati pokazuju više  $L^*$  vrijednosti svih tretiranih uzoraka u usporedbi s kontrolnim što upućuje na određeno posvjetljivanje ploški uslijed tretmana ultrazvukom. Tijekom skladištenja najsličnije promjene su uočene na uzorcima tretiranim 3 i 10 min na kojima dolazi do blagog smanjenja  $L^*$  vrijednosti tijekom skladištenja, dok u ostalim dolazi do povećanja. Obzirom da su općenito u svim tretiranim uzorcima  $L^*$  vrijednosti više od kontrolnih, može se zaključiti da je tretman ultrazvukom imao bitan utjecaj na sprečavanje posmeđivanja. Na to upućuju i rezultati za vrijednost  $a^*$  koja je niža na svim tretiranim uzorcima od prvog dana skladištenja i tijekom skladištenja, a numerički nisu uočene veće promjene tijekom skladištenja. Za uzorke tretirane ultrazvukom izmjerene su slične  $b^*$  vrijednosti (udio žute boje) kao u kontrolnom uzorku, iako su uzorci tretirani 3, 10 i 30 min imali nešto niže vrijednosti 1. dan skladištenja od onih tretiranih 20 i 40 min. Tijekom skladištenja u svim uzorcima dolazi do blagog smanjenja koje je najmanje za uzorak tretiran 10 min. Zasićenost boje  $C^*$  pokazuje vrlo slične promjene kao i  $b^*$  vrijednost što je posljedica vrlo malih  $a^*$  parametara koji ne utječu jako na rezultat izračuna  $C^*$ . Ton boje  $h$  prvi dan skladištenja viši je u svim tretiranim uzorcima u usporedbi s kontrolnim te ostaje viši i tijekom skladištenja. Ton boje se na kontrolnom uzorku povećava tijekom skladištenja dok na svim tretiranim uzorcima ostaje približno isti. U kontrolnom uzorku su vrijednosti nešto manje od  $90^\circ$  što znači da se boja nalazi u prvom kvadrantu, a u svim tretiranim nešto veće od  $90^\circ$  što znači da se boja nalazi u drugom kvadrantu, ali vrijednosti su vrlo slične te se radi o sličnom tonu boje.

U istraživanju utjecaja ultrazvuka na kvalitetu MPK, Amaral i suradnici (2014) pokazali su da ultrazvuk pozitivno djeluje na svjetlinu  $L^*$  MPK, a time i na sprečavanje posmeđivanja. Točan mehanizam ili uzrok utjecaja ultrazvuka na sprečavanje posmeđivanja MPVP, a posebice MPK

nije u potpunosti razjašnjen i postoje razlike između zaključaka pojedinih istraživača. Prema Severini i suradnicima (2003), aktivnost PPO usko je povezana s promjenama boje zbog nastajanja obojenih produkata. Na temelju toga zaključuju da je mjerenje boje indirektan pokazatelj aktivnosti PPO što znači da uzorci kod kojih je manji stupanj posmeđivanja imaju znatno nižu aktivnost PPO. Cabezas-Serrano i suradnici (2009) isto tako pokazuju negativnu korelaciju između L\* vrijednosti i aktivnosti PPO. S druge strane, u istraživanju Cantos i suradnika (2002) nije primijećena značajna korelacija između PPO i stupnja posmeđivanja MPK.

Kombinirani tretman ultrazvukom i askorbinskom kiselinom se ipak u više navrata pokazao dobrim izborom za sprečavanje posmeđivanja MPK. Li i suradnici (2016) tretirali su MPK L-cisteinom, limunskom kiselinom, askorbinskom kiselinom, ultrazvukom i kombinacijom pojedinih. Od svih tretmana, kombinacija ultrazvuka i askorbinske kiseline pokazala se najefikasnijom u sprečavanju posmeđivanja te su aktivnosti enzima PPO i POD znatno niže primjenom tog tretmana. Jang i suradnici (2011) pratili su utjecaj kombiniranog tretmana askorbinskom kiselinom i ultrazvukom na aktivnost PPO i POD minimalno procesirane jabuke pri čemu je isto tako pokazana visoka efikasnost takvog tretmana, no potrebna su daljnja istraživanja kako bi se odredili optimalni uvjeti tretmana u naumu sprečavanja posmeđivanja potpunom inaktivacijom neželjene enzimske aktivnosti.

**Tablica 11.** Rezultati analize varijanci parametara boje MPK

<b>Parametri boje</b>			
	<b>Varijabla</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>L*</b>	Dani skladištenja	5,21	0,003381
	Vrijeme uzv.	10,92	0
<b>a*</b>	Dani skladištenja	6,65	0,000759
	Vrijeme uzv.	60,48	0
<b>b*</b>	Dani skladištenja	3,21	0,03096
	Vrijeme uzv.	0,31	0,901592
<b>C*</b>	Dani skladištenja	3,23	0,030505
	Vrijeme uzv.	0,34	0,886999
<b>h</b>	Dani skladištenja	5,80	0,001859
	Vrijeme uzv.	50,80	0

Tablica 12. Rezultati vrijednosti parametara boje MPK

Vrijeme tretmana UZV	Parametar boje	Vrijednost parametra boje			
		1. dan	3. dan	5. dan	8. dan
Kontrola (0 min)	L*	61,58 ± 2,88	60,03 ± 0,60	63,99 ± 2,10	65,16 ± 0,63
	a*	2,86 ± 1,72	3,99 ± 0,32	1,00 ± 0,45	-0,07 ± 0,73
	b*	31,69 ± 3,35	29,96 ± 1,51	31,27 ± 1,65	29,47 ± 1,84
	C*	31,85 ± 3,41	30,23 ± 1,49	31,29 ± 1,64	29,48 ± 1,83
	h	84,94 ± 3,00	82,40 ± 0,85	88,137 ± 0,89	90,18 ± 1,48
3 min	L*	68,09 ± 1,95	66,54 ± 0,36	69,00 ± 2,21	66,43 ± 0,42
	a*	-1,41 ± 0,18	-0,90 ± 0,47	-0,95 ± 0,18	-1,38 ± 0,21
	b*	30,79 ± 2,54	30,59 ± 1,47	31,11 ± 2,28	28,73 ± 0,80
	C*	30,82 ± 2,53	30,60 ± 1,45	31,13 ± 2,27	28,76 ± 0,81
	h	92,65 ± 0,53	91,71 ± 0,95	91,77 ± 0,45	92,75 ± 0,34
10 min	L*	68,11 ± 2,61	66,27 ± 3,13	66,66 ± 1,18	66,37 ± 1,63
	a*	-1,20 ± 0,50	-1,27 ± 0,17	-0,57 ± 0,43	-1,10 ± 0,58
	b*	31,12 ± 4,28	29,12 ± 1,53	31,93 ± 1,82	30,32 ± 2,40
	C*	31,15 ± 4,26	29,143 ± 1,52	31,94 ± 1,82	30,34 ± 2,38
	h	92,31 ± 1,30	92,53 ± 0,44	91,06 ± 0,79	92,13 ± 1,20
20 min	L*	65,35 ± 0,75	64,80 ± 0,50	68,43 ± 1,72	66,37 ± 1,68
	a*	-0,79 ± 0,05	-0,88 ± 0,68	-1,26 ± 0,35	-1,05 ± 0,61
	b*	32,37 ± 0,50	29,70 ± 2,03	28,74 ± 1,73	29,60 ± 2,84
	C*	32,38 ± 0,50	29,72 ± 2,00	28,77 ± 1,72	29,63 ± 2,82
	h	91,39 ± 0,09	91,74 ± 1,46	92,54 ± 0,85	92,11 ± 1,41
30 min	L*	67,41 ± 3,24	65,523 ± 1,20	67,41 ± 2,06	68,88 ± 3,32
	a*	-1,35 ± 0,39	-1,14 ± 0,43	-1,15 ± 0,59	-1,10 ± 0,67
	b*	30,58 ± 2,66	28,51 ± 2,06	30,17 ± 2,86	29,57 ± 3,47
	C*	30,61 ± 2,64	28,53 ± 2,06	30,20 ± 2,84	29,61 ± 3,44
	h	92,57 ± 0,96	92,34 ± 0,96	92,27 ± 1,33	92,27 ± 1,63
40 min	L*	68,85 ± 1,73	66,03 ± 1,66	65,16 ± 2,34	70,81 ± 2,38
	a*	-0,64 ± 0,25	-1,18 ± 0,31	-1,51 ± 0,10	-1,26 ± 0,45
	b*	33,80 ± 1,64	28,75 ± 2,11	28,66 ± 1,65	31,53 ± 3,40
	C*	33,81 ± 1,64	28,77 ± 2,10	28,70 ± 1,64	31,56 ± 3,38
	h	91,10 ± 0,49	92,39 ± 0,76	93,02 ± 0,28	92,34 ± 1,00

#### 4.4. Tekstura MPK

Tablica 13 sadrži rezultate statističke obrade iz kojih je pokazano da na parametre tvrdoće i elastičnosti statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja dok na rad statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom.

Parametar tvrdoće mjerjen nakon prvog dana skladištenja ne razlikuje se jako između kontrolnog i uzorka tretiranih ultrazvukom osim uzorka tretiranog 40 min koji prvi dan ima najnižu vrijednost tvrdoće. Tijekom skladištenja na svim uzorcima, uključivši i kontrolni, osim na uzorku tretiranom 30 min dolazi do povećavanja tvrdoće i najizraženije je na uzorcima tretiranim 3 i 20 minuta, a najmanje na uzorku tretiranom 10 minuta. Različito vrijeme tretmana ultrazvukom nije pokazalo određeni trend s promjenom tvrdoće MPK. Omekšavanje tkiva krumpira smatra se jednom od većih prepreka za produljenje roka trajanja, a do njega dolazi pod utjecajem endogenih enzima na stanicu i rastom mikroorganizama (Rocha i Morais, 2001). Rocha i suradnici (2003) mjerili su tvrdoću netretiranog MPK pakiranog u vakuumu i pokazali pad tvrdoće od 25 % nakon prvog dana skladištenja i održavanje takve vrijednosti do sedmog dana. U istraživanju utjecaja ultrazvuka na kvalitetu MPK, Amaral i suradnici (2014) isto pokazuju blagi porast vrijednosti tvrdoće tijekom 12 dana skladištenja, a utjecaj vremena tretmana ultrazvukom nije primijećen. Schössler i suradnici (2012) dokazali su utjecaj ultrazvuka na prijenos vode u krumpiru i pretpostavili da takve promjene mogu dovesti do smanjenja čvrstoće tkiva krumpira. Rezultati istraživanja na ovu temu se ne podudaraju i često su suprotni očekivanjima. Navedeno se može djelomično objasniti korištenjem različitih sorti krumpira u istraživanjima što bi moglo utjecati na rezultate tvrdoće. Općenito gledano utjecaj ultrazvuka na tvrdoću MPK nije dovoljno razjašnjen.

Elastičnost MPK prvog dana skladištenja bitno je viša u uzorku tretiranom 30 min dok se ostali tretirani uzorci značajno ne razlikuju u usporedbi s kontrolnim. Tijekom skladištenja u svim tretiranim uzorcima osim od 30 min došlo je do povećanja elastičnosti koje je najmanje za uzorak tretiran 10 min, dok je vrijednost kontrolnog uzorka ostala ista. Vrijednosti za parametar žilavosti (rad) su veoma niske te ih je teško komentirati i uočiti određeni trend pod utjecajem ultrazvuka, a tijekom skladištenja uglavnom dolazi do blagog povećavanja u svim uzorcima, a najintenzivnija promjena je na uzorku tretiranom 3 min.

**Tablica 13.** Rezultati analize varijance za teksturu MPK

	Tekstura		
	Varijabla	F	p
Tvrdća	Dani skladištenja	3,59	0,020119
	Vrijeme uzv.	2,05	0,087797
Elastičnost	Dani skladištenja	5,25	0,003255
	Vrijeme uzv.	0,82	0,544781
Rad	Dani skladištenja	11,66	0,000007
	Vrijeme uzv.	3,39	0,010532

**Tablica 14.** Rezultati vrijednosti parametara teksture MPK

Vrijeme tretmana UZV	Parametar teksture	Vrijednost parametra teksture			
		1. dan	3. dan	5. dan	8. dan
Kontrola (0 min)	Tvrdća (N)	6,86 ± 0,21	7,56 ± 1,06	7,48 ± 1,03	7,31 ± 0,73
	Elastičnost (mm)	2,73 ± 0,45	2,64 ± 0,10	2,81 ± 0,20	2,74 ± 0,35
	Rad (N m)	0,008 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,002	0,01 ± 0,001
3 min	Tvrdća (N)	6,47 ± 0,96	7,75 ± 2,18	6,77 ± 0,82	8,85 ± 2,02
	Elastičnost (mm)	2,401 ± 0,25	2,44 ± 0,46	2,80 ± 0,14	3,54 ± 0,28
	Rad (N m)	0,008 ± 0,001	0,01 ± 0,004	0,009 ± 0,003	0,014 ± 0,005
10 min	Tvrdća (N)	6,10 ± 1,06	7,84 ± 1,46	6,76 ± 0,72	6,67 ± 1,01
	Elastičnost (mm)	2,23 ± 0,50	2,26 ± 0,61	3,23 ± 1,57	3,06 ± 0,68
	Rad (N m)	0,007 ± 0,001	0,009 ± 0,002	0,008 ± 0,002	0,009 ± 0,001
20 min	Tvrdća (N)	7,19 ± 0,60	7,16 ± 0,23	7,19 ± 0,88	8,91 ± 0,48
	Elastičnost (mm)	2,60 ± 0,95	2,28 ± 0,53	3,13 ± 0,42	3,65 ± 0,13
	Rad (N m)	0,009 ± 0,0006	0,009 ± 0,002	0,01 ± 0,001	0,013 ± 0,001
30 min	Tvrdća (N)	7,51 ± 0,53	6,08 ± 0,5435	6,66 ± 0,35	7,07 ± 0,43
	Elastičnost (mm)	3,60 ± 1,10	2,79 ± 0,98	2,81 ± 0,76	3,33 ± 0,21
	Rad (N m)	0,009 ± 0,0006	0,008 ± 0,002	0,009 ± 0,0006	0,01 ± 0,001
40 min	Tvrdća (N)	5,68 ± 0,45	6,834 ± 0,53	7,09 ± 0,58	7,05 ± 0,46
	Elastičnost (mm)	2,427 ± 0,24	2,86 ± 0,35	2,65 ± 0,52	3,44 ± 0,16
	Rad (N m)	0,006 ± 0,0006	0,008 ± 0,001	0,008 ± 0,001	0,011 ± 0,002



#### 4.5. Senzorska ocjena MPK

Dobra senzorska ocjena jedan je od najbitnijih čimbenika za kvalitetu proizvoda. Proizvod može potrošaču biti neprihvatljiv za konzumaciju unatoč dobrim rezultatima svih ostalih analiza. Utjecaj tretmana ultrazvukom na senzorska svojstva MPK još uvijek nije dovoljno razjašnjen te se ovim radom nastoji doprinijeti manjku relevantnih podataka. U istraživanju Montouto-Graña i suradnika (2012) na ukupan dojam senzorske ocjene ocjenjivači su najviše važnosti dali parametrima teksture.

Tablice 15 i 16 prikazuju rezultate analize varijanci senzorske ocjene za sirovi i kuhani MPK. Na karakterističan miris sirovog MPK statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja dok na posmeđivanje, strani miris, vlažnost i tvrdoću statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom. Za kuhani MPK, dani skladištenja imaju statistički značajan utjecaj na strani miris i slatki, slani, gorki i kiseli okus. Na posmeđivanje, karakteristični miris, kremastu teksturu te karakteristični strani okus kuhanog MPK statistički značajan utjecaj imaju dani skladištenja i vrijeme tretmana ultrazvukom. Na tvrdoću kuhanog MPK statistički značajan utjecaj ima vrijeme tretmana ultrazvukom.

Iz ocjene za posmeđivanje vidljivo je da svi tretirani uzorci pokazuju niži stupanj posmeđivanja u usporedbi s kontrolnim. Razlika je značajna tijekom cijelog skladištenja, ali se istodobno smanjuje jer dolazi i do posmeđivanja tretiranih uzoraka. Promatrajući ocjene sirovih i kuhanih krumpira tijekom cijelog skladištenja, uzorak tretiran 10 minuta pokazuje najbolje rezultate u sprečavanju posmeđivanja.

Na svojstvo mirisa MPK tretman je imao značajan utjecaj tijekom cijelog skladištenja. Već nakon prvog dana skladištenja svi tretirani uzorci imaju manje karakterističan miris od kontrolnog, a na uzorcima tretiranim 20, 30 i 40 minuta primijećena je pojava stranih mirisa koja se tijekom skladištenja povećava. Negativni utjecaji na miris izraženiji su na sirovim uzorcima, no nakon petog i osmog dana utjecaj je vidljiv i na kuhanim uzorcima. Dulje vrijeme tretmana ultrazvukom imalo je značajan negativan utjecaj na parametre mirisa. Nakon 8. dana skladištenja najbolji rezultat parametra mirisa ima uzorak tretiran 10 minuta.

Svojstvo vlažnosti u uzorcima tretiranim ultrazvukom 1. dana skladištenja numerički je vrlo slično kontrolnom uzorku, čak uzorak tretiran 10 minuta ima istu vrijednost. Nakon 3. dana dolazi

do smanjenja vlažnosti svih uzoraka. Nakon 5. dana smanjenje je uočeno samo u kontrolnom uzorku i onom tretiranom 10 minuta, a u ostalim dolazi do povećanja vlažnosti kao i nakon 8. dana izuzev uzorka tretiranog 20 minuta. Tvrdća u uzorcima tretiranim ultrazvukom 1. dana skladištenja viša je od kontrolnog uzorka. Nakon 3. dana dolazi do smanjenja tvrdoće svih tretiranih uzoraka koje se uglavnom nastavlja tijekom skladištenja za razliku od kontrolnog. Tvrdća kuhanog krumpira nije se značajno mijenjala tijekom skladištenja za sve uzorke neovisno o tretmanu, ali svi tretirani uzorci imaju više izraženu tvrdoću od kontrolnog uzorka. Izraženost kremaste teksture ocjenjivana je na kuhanom krumpiru i niža je prvi i treći dan skladištenja na tretiranim uzorcima u usporedbi s kontrolnim nakon čega se vrijednosti smanje i izjednače s tretiranim uzorcima. Na temelju ovih rezultata, može se primijetiti da je tretman ultrazvukom imao utjecaj na povećanje tvrdoće i na smanjenje kremaste teksture na početku skladištenja (osim 3 minute) kuhanog krumpira.

Karakterističan okus MPK želi se čim više održati, no rezultati pokazuju da svi tretirani uzorci imaju niže vrijednosti ovog parametra u usporedbi s kontrolnim uzorkom. U ovom slučaju vrijeme tretmana imalo je značajnu ulogu pri čemu dulje vrijeme tretmana ultrazvukom ima za posljedicu manje karakterističan okus MPK. Vrijeme tretmana od 3 minute se pokazalo najboljim za održavanje karakterističnog okusa. Slatki, kiseli, slani i gorki uzorci nisu bili izraženi tijekom skladištenja na svim uzorcima. Strani okus izraženiji je na uzorcima tretiranim 20, 30 i 40 minuta nakon trećeg dana skladištenja, no vrijednosti su veoma niske iz čega se može zaključiti da ne dolazi do značajne pojave stranih okusa pod utjecajem tretmana ultrazvukom. Osmi dan skladištenja uzorci nisu bili konzumirani zbog vidljivog kvarenja MPK.

Promatranjem svih parametara senzorske ocjene vidljiv je pozitivan utjecaj tretmana na sprečavanje posmeđivanja, ali su primijećeni negativni utjecaji u manjoj mjeri na teksturu, a u većoj na parametre mirisa i okusa. Dulji tretman ultrazvukom bitno je utjecao na sve navedene negativne učinke, a pozitivan učinak sprečavanja posmeđivanja približno je isti u svim tretiranim uzorcima. Za održavanje čim boljih senzorskih svojstava kratko vrijeme tretmana ultrazvukom od 3 minute pokazuje najbolje rezultate jer ima jednako pozitivan utjecaj na sprečavanje posmeđivanja kao i dulji tretman, a znatno manje negativne utjecaje na pojavu neželjenih mirisa i okusa.

**Tablica 15.** Rezultati analize varijanci senzorske ocjene sirovog MPK

	<b>Senzorska ocjena sirovog MPK</b>		
	<b>Varijabla</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Posmeđivanje</b>	Dani skladištenja	10,90	0,000002
	Vrijeme uzv.	37,32	0
<b>Miris - karak.</b>	Dani skladištenja	3,91	0,010463
	Vrijeme uzv.	0,96	0,44539
<b>Miris - strani</b>	Dani skladištenja	34,06	0
	Vrijeme uzv.	4,67	0,00062
<b>Vlažnost</b>	Dani skladištenja	10,68	0,000003
	Vrijeme uzv.	1,38	0,238
<b>Tvrdoća</b>	Dani skladištenja	2,71	0,04832
	Vrijeme uzv.	0,72	0,613626

**Tablica 16.** Rezultati analize varijanci senzorske ocjene kuhanog MPK

	<b>Senzorska ocjena kuhanog MPK</b>		
	<b>Varijabla</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Posmeđivanje</b>	Dani skladištenja	10,31	0,000004
	Vrijeme uzv.	20,99	0
<b>Miris - karak</b>	Dani skladištenja	23,91	0
	Vrijeme uzv.	5,57	0,00012
<b>Miris - strani</b>	Dani skladištenja	61,83	0
	Vrijeme uzv.	1,49	0,199443
<b>Vlažnost</b>	Dani skladištenja	0,52	0,670269
	Vrijeme uzv.	1,69	0,142984
<b>Tvrdoća</b>	Dani skladištenja	1,98	0,120273
	Vrijeme uzv.	10,20	0
<b>Kremast</b>	Dani skladištenja	60,31	0
	Vrijeme uzv.	2,46	0,036927
<b>Okus - karak</b>	Dani skladištenja	80,11	0
	Vrijeme uzv.	7,42	0,000004
<b>Slatki</b>	Dani skladištenja	23,60	0
	Vrijeme uzv.	1,25	0,289021
<b>Kiseli</b>	Dani skladištenja	55,32	0
	Vrijeme uzv.	0,30	0,911828
<b>Slani</b>	Dani skladištenja	51,36	0
	Vrijeme uzv.	0,14	0,98153
<b>Gorki</b>	Dani skladištenja	58,79	0
	Vrijeme uzv.	0,21	0,958958
<b>Strani</b>	Dani skladištenja	10,90	0,000002
	Vrijeme uzv.	37,32	0

**Tablica 17.** Rezultati senzorske ocjene sirovog MPK

		Sirovi				
		Boja	Miris		Tekstura	
		Posmeđ.	Karak.	Strani	Vlažnost	Tvrdoća
Vrijeme tretmana UZV						
	<b>1.dan</b>	K	4,67 ± 0,51	3,08 ± 1,29	1,00 ± 0	3,25 ± 0,42
3 min		2,42 ± 1,28	2,08 ± 0,80	1,00 ± 0	3,33 ± 0,82	4,00 ± 0,63
10 min		3,08 ± 1,11	1,83 ± 0,93	1,17 ± 0,41	3,25 ± 0,76	4,17 ± 0,41
20 min		2,67 ± 0,82	1,83 ± 1,17	2,75 ± 1,54	3,17 ± 0,41	4,00 ± 0,63
30 min		2,42 ± 0,67	2 ± 1,27	1,58 ± 1,20	3,08 ± 0,66	3,75 ± 0,99
40 min		2,50 ± 0,84	2,08 ± 1,28	1,92 ± 1,56	3,42 ± 0,66	3,58 ± 1,11
<b>3.dan</b>	K	4,83 ± 0,40	2,58 ± 1,56	1,33 ± 0,82	2,67 ± 0,52	3,67 ± 0,82
	3 min	2,17 ± 0,52	2,08 ± 0,80	1,92 ± 1,28	2,92 ± 0,66	3,75 ± 0,42
	10 min	2,17 ± 0,82	1,67 ± 0,52	1,5 ± 0,45	3,08 ± 0,40	3,67 ± 0,52
	20 min	3,00 ± 0,55	1,67 ± 0,82	3,58 ± 1,20	3,08 ± 0,20	3,58 ± 0,66
	30 min	2,75 ± 0,61	1,5 ± 0,84	3,17 ± 1,29	2,67 ± 0,52	3,08 ± 1,02
	40 min	2,30 ± 0,61	1,58 ± 0,80	2,83 ± 1,69	2,83 ± 0,61	3,33 ± 0,82
<b>5.dan</b>	K	5,00 ± 0	1,75 ± 1,17	2,17 ± 1,21	2,25 ± 0,76	3,67 ± 1,03
	3 min	2,92 ± 0,66	1,67 ± 0,82	3,17 ± 1,72	3,25 ± 1,08	3,50 ± 1,05
	10 min	2,50 ± 0,55	1,75 ± 0,61	2,42 ± 1,11	2,92 ± 0,66	3,92 ± 0,66
	20 min	3,25 ± 0,99	2,00 ± 0,89	3,83 ± 0,75	3,42 ± 0,80	2,83 ± 0,75
	30 min	2,17 ± 0,52	1,67 ± 0,82	3,08 ± 1,63	3,33 ± 0,52	3,83 ± 0,98
	40 min	2,92 ± 0,92	1,58 ± 0,66	3,25 ± 1,41	3,5 ± 1,05	4,00 ± 0,63
<b>8.dan</b>	K	5,00 ± 0	1,17 ± 0,41	5,00 ± 0	3,92 ± 0,92	3,58 ± 1,02
	3 min	3,75 ± 0,42	1,5 ± 0,84	4,50 ± 0,55	4,5 ± 0,55	3,08 ± 1,20
	10 min	2,33 ± 0,61	1,42 ± 0,66	3,58 ± 1,43	3,58 ± 0,92	3,50 ± 1,22
	20 min	3,92 ± 0,50	1,42 ± 1,02	4,17 ± 0,98	3,33 ± 1,03	3,00 ± 1,26
	30 min	3,42 ± 0,80	1,50 ± 1,22	4,00 ± 1,26	3,58 ± 0,91	3,00 ± 1,26
	40 min	3,92 ± 0,49	1,33 ± 0,82	4,33 ± 1,40	3,92 ± 0,80	3,08 ± 1,20

**Tablica 18.** Rezultati senzorske ocjene kuhanog MPK

Vrijeme tretmana UZV	Kuhani											
	Boja	Miris		Tekstura			Okus					
	Posmeđ.	Karak.	Strani	Vlažnost	Tvrdoća	Kremast	Karak.	Slatki	Kiseli	Slani	Gorki	Strani
K	3,83 ± 0,75	4,50 ± 0,84	1,00 ± 0	2,92 ± 0,92	2,00 ± 0	2,58 ± 0,66	4,00 ± 0,63	2,17 ± 0,98	1,00 ± 0	1,08 ± 0,20	1,17 ± 0,41	1,00 ± 0
3 min	1,83 ± 0,41	3,67 ± 1,36	1,17 ± 0,41	3,08 ± 0,20	2,00 ± 0,55	2,58 ± 0,92	3,67 ± 1,03	1,75 ± 1,26	1,42 ± 0,49	1,08 ± 0,20	1,33 ± 0,82	1,08 ± 0,20
10 min	2,25 ± 0,76	3,50 ± 1,22	1,08 ± 0,20	2,50 ± 0,55	2,92 ± 0,92	2,00 ± 1,10	2,83 ± 1,03	1,33 ± 0,52	1,25 ± 0,42	1,08 ± 0,20	1,17 ± 0,41	1,17 ± 0,41
20 min	2,08 ± 0,67	3,25 ± 1,33	1,00 ± 0	2,17 ± 0,41	3,50 ± 1,05	1,50 ± 0,84	2,25 ± 0,61	1,08 ± 0,20	1,25 ± 0,42	1,00 ± 0	1,17 ± 0,41	1,25 ± 0,42
30 min	2,25 ± 0,76	3,00 ± 1,01	1,00 ± 0	2,08 ± 0,20	2,58 ± 1,02	2,00 ± 0,71	2,17 ± 0,93	1,17 ± 0,41	1,17 ± 0,41	1,00 ± 0	1,17 ± 0,41	1,08 ± 0,20
40 min	2,25 ± 0,76	3,00 ± 1,27	1,00 ± 0	2,67 ± 0,82	2,67 ± 1,03	1,92 ± 0,67	2,25 ± 1,01	1,33 ± 0,52	1,17 ± 0,41	1,25 ± 0,42	1,33 ± 0,82	1,25 ± 0,42
K	4,00 ± 0,89	4,33 ± 0,82	1,00 ± 0	2,83 ± 0,75	2,17 ± 0,75	3,08 ± 1,11	3,67 ± 1,21	1,58 ± 1,20	1,17 ± 0,41	1,25 ± 0,42	1,17 ± 0,42	1,00 ± 0
3 min	2,00 ± 0,32	3,58 ± 1,02	1,00 ± 0	2,50 ± 0,84	2,42 ± 0,66	2,42 ± 1,11	3,58 ± 1,02	1,58 ± 1,20	1,17 ± 0,41	1,25 ± 0,42	1,17 ± 0,41	1,17 ± 0,41
10 min	1,83 ± 0,52	3,42 ± 0,92	1,00 ± 0	2,58 ± 0,92	3,08 ± 0,92	2,17 ± 0,75	3,08 ± 0,80	1,25 ± 0,42	1,42 ± 0,80	1,08 ± 0,20	1,17 ± 0,41	1,33 ± 0,52
20 min	2,33 ± 0,75	3,25 ± 0,97	1,08 ± 0,20	2,42 ± 0,92	2,92 ± 0,20	2,17 ± 0,75	2,75 ± 0,88	1,33 ± 0,52	1,25 ± 0,42	1,00 ± 0	1,17 ± 0,41	1,42 ± 0,49
30 min	2,42 ± 0,66	3,00 ± 1,05	1,50 ± 0,77	2,67 ± 0,52	2,75 ± 0,42	1,67 ± 0,52	2,25 ± 0,88	1,25 ± 0,42	1,25 ± 0,42	1,17 ± 0,41	1,17 ± 0,41	1,42 ± 0,49
40 min	2,08 ± 0,73	2,67 ± 0,88	1,33 ± 0,82	2,25 ± 0,42	3,00 ± 0,63	1,92 ± 0,80	2,17 ± 0,98	1,33 ± 0,52	1,25 ± 0,42	1,08 ± 0,20	1,17 ± 0,41	1,17 ± 0,82
K	3,92 ± 0,66	3,50 ± 0,84	1,17 ± 0,41	2,33 ± 0,82	2,08 ± 0,20	2,08 ± 0,66	3,66 ± 0,82	1,33 ± 1,03	1,00 ± 0,63	1,08 ± 0,80	1,00 ± 0	1,00 ± 0
3 min	2,42 ± 0,49	3,33 ± 0,52	1,00 ± 0	3,00 ± 0,63	2,42 ± 0,49	2,00 ± 0,89	2,92 ± 0,50	1,42 ± 1,20	1,00 ± 0,63	1,17 ± 0,98	1,00 ± 0	1,00 ± 0
10 min	2,17 ± 0,41	2,92 ± 0,66	1,00 ± 0	2,83 ± 0,98	3,00 ± 0,63	1,42 ± 0,67	2,50 ± 1,04	1,5 ± 1,22	1,08 ± 0,66	1,08 ± 0,80	1,00 ± 0	1,00 ± 0
20 min	2,75 ± 0,75	2,17 ± 0,75	2,50 ± 1,04	2,50 ± 0,84	3,92 ± 0,80	1,42 ± 0,67	1,67 ± 0,82	1,25 ± 0,61	1,42 ± 0,66	1,25 ± 0,61	1,00 ± 0	1,58 ± 0,80
30 min	1,58 ± 0,66	2,42 ± 0,66	1,67 ± 0,82	2,83 ± 0,98	3,17 ± 1,17	2,00 ± 0,84	1,83 ± 0,75	1,33 ± 0,52	1,25 ± 0,42	1,33 ± 0,82	1,17 ± 0,41	1,50 ± 0,84
40 min	2,42 ± 0,66	2,58 ± 0,49	1,5 ± 0,84	2,58 ± 0,92	3,33 ± 1,17	1,67 ± 0,82	1,75 ± 0,61	1,17 ± 0,41	1,25 ± 0,61	1,17 ± 0,41	1,25 ± 0,61	1,17 ± 0,26
K	3,92 ± 0,67	2,00 ± 0,63	3,50 ± 1,27	2,92 ± 0,80	2,08 ± 0,20	1,33 ± 0,52	Nije konzumirano					
3 min	3,08 ± 0,80	1,67 ± 1,21	2,92 ± 1,11	2,25 ± 0,42	3,33 ± 0,61	1,25 ± 0,42						
10 min	1,83 ± 0,75	2,58 ± 1,28	3,58 ± 1,20	3,00 ± 0,89	2,17 ± 0,75	1,33 ± 0,52						
20 min	3,50 ± 0,84	1,5 ± 0,84	3,67 ± 1,03	2,25 ± 0,76	3,42 ± 0,66	1,33 ± 0,52						
30 min	3,42 ± 0,66	1,42 ± 0,66	3,42 ± 1,20	2,08 ± 1,02	3,33 ± 0,52	1,50 ± 0,55						
40 min	3,42 ± 0,67	1,50 ± 0,84	3,50 ± 1,22	2,08 ± 1,66	3,33 ± 0,52	1,33 ± 0,52						

## 5. ZAKLJUČCI

1. Ukupna i topljiva suha tvar MPK svih uzoraka se povećava tijekom skladištenja, a smanjuje kuhanjem dok tretman ultrazvukom nije imao značajan učinak na topljivu suhu tvar sirovog krumpira
2. pH vrijednost MPK tijekom skladištenja se smanjuje u svim uzorcima osim kontrolnom i uzorku tretiranom 10 min. Tretman ultrazvukom od 20, 30 i 40 min nakon osam dana skladištenja uzrokovao je značajno niže pH vrijednosti od kontrolnog uzorka.
3. Na udio  $O_2$  u pakovanju značajan utjecaj ima vrijeme skladištenja i u svim uzorcima se smanjuje tijekom cijelog skladištenja. Na udio  $CO_2$  značajan utjecaj pokazuju i vrijeme skladištenja i tretman ultrazvukom. Udio  $CO_2$  povećava se tijekom skladištenja, a uzorci tretirani ultrazvukom nakon osmog dana skladištenja imaju niži udio  $CO_2$  od kontrolnog.
4. Tretirani uzorci imaju višu  $L^*$  vrijednost i nižu  $a^*$  vrijednost tijekom cijelog skladištenja što pokazuje uspješno sprečavanje posmeđivanja, no duljina tretmana ultrazvukom nije pokazala daljnji pozitivan učinak.
5. Tretman ultrazvukom nema značajan utjecaj na tvrdoću i elastičnost uzoraka, a skladištenje ima te se parametri teksture tijekom skladištenja povećavaju.
6. Ukupno razmatrajući utjecaj ultrazvuka na senzorska svojstva najočitiiji pozitivan utjecaj je na sprečavanje posmeđivanja tijekom skladištenja neovisno o vremenu tretmana, međutim uočen je značajan utjecaj na pojavu nekarakterističnog i stranog okusa i mirisa i to s tretmanima od 20, 30 i 40 minuta.
7. Za održavanje kvalitete MPK najefikasniji su tretmani ultrazvukom od 3 i 10 minuta jer je pozitivan utjecaj na sprečavanje posmeđivanja i održavanje senzorskih svojstava vidljiv već pri kratkom tretmanu i ne povećava se vremenom tretmana duljim od 10 minuta. Dulje vrijeme tretmana uzrokovalo je značajno veći negativan utjecaj na većinu parametara kvalitete i senzorska svojstva.

## 6. LITERATURA

1. Amaral, R.D.A., Benedetti, B.C., Pujola, M., Achaerandio, I., Bachelli, M.L.B. (2014). Effect of ultrasound on quality of fresh-cut potatoes during refrigerated storage. *Food Eng. Rev.* **7**(2)
2. Anonymous 1. (2018) How potato grows, < <https://cipotato.org/crops/potato/how-potato-grows/>>. Pristupljeno 17.6.2018.
3. Anonymous 2. (2012) Peeled Vacuum-Packed Potatoes, <http://www.fritpom.net/en/produkt/peeled-vacuum-packed-potatoes>, Pristupljeno 15.7.2018.
4. Anonymous 3. (2018) Bandelin produkte, <https://bandelin.com/produkte/sonorex/?lang=en> Pristupljeno 17.9.2018.
5. Arvanitoyannis, I.S., Vaitis, O., Mavromatis, A. (2008) Potato: A comparative study of the effect of cultivars and cultivation conditions and genetic modification on the physico-chemical properties of potato tubers in conjunction with multivariate analysis towards authenticity. *Crit. Rev. Food Sci.* **48**, 799-823.
6. Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., Youseff, M.M. (2012) Applications of ultrasound in analytics, processing and quality control of food: A review. *Food Res. Int.* **48**, 410-427.
7. Bachem, C.W.B., Speckmann, G.J., van der Linde, P.C.G., Verheggen, F.T.M., Hunt, M.D., Steffens, J.C., & Zabeau, M. (1994). Antisense Expression of Polyphenol Oxidase Genes Inhibits Enzymatic Browning in Potato Tubers. *Bio/Technology*. 12(11), 1101–1105.
8. Beltrán, D., Selma M.V., Tudela, J.A., Gil, M.I. (2005) Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. *Postharvest Biol. Tec.* **37**, 37-46.
9. Birmpa, A., Sfika, V., Vantarakis, A. (2013) Ultraviolet light and ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *Int. J. Food Microbiol.* **167**, 96-102.
10. Bravo, L. (1998) Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutr. Rev.* **56**, 317-333.

11. Bromberger Soquetta, M., Schmaltz, S., Wesz Righes, F., Salvalaggio, R., Marsillac Terra, L. (2017) Effects of pretreatment ultrasound bath and ultrasonic probe, in osmotic dehydration, in the kinetics of oven drying and the physicochemical properties of beet snacks. *J. Food Process. Pres.* **42**, 1-9.
12. Buckenhüskes, H. J. (2005). Nutritionally relevant aspects of potatoes and potato constituents. U: Potato in Progress: Science Meets Practice. 17–45. Haverkort, A.J. and Struik, P.C., Eds. Wageningen Academic Pub.
13. Burg, P., Fraile, P. (1995) Vitamin C destruction during the cooking of a potato dish. *Food Sci. Tech.* **28 (5)**, 506-514.
14. Buta, J.G., Moline, H.E. (2001) Prevention of browning of potato slices using polyphenoloxidase inhibitors and organic acids. *J. Food Qual.* **24**, 271–282.
15. Cabezas-Serrano, A.B., Amodio, M.L., Cornacchia, R., Rinaldi, R., Colelli, G. (2009) Suitability of five different potato cultivars (*Solanum Tuberosum L*) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biol. Tec.* **53**, 138-144.
16. Camire, M.E., Kubow, S., Donnelly, D.J. (2009) Potatoes and human health. *Crit. Rev. Food Sci.* **49**, 823-840.
17. Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I. Espín, J.C. (2002) Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *J. Agric. Food Chem.* **50**, 3015-3023.
18. Castelló, M.L., Fito, P.J., Chiralt, A. (2006) Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. *Food Sci. Tech.* **39**, 1171-1179.
19. Conte, A., Scrocco, C., Brescia, I., Del Nobile, M. A. (2009) Packaging strategies to prolong the shelf life of minimally processed lampascioni (*Muscari comosum*). *J. Food Eng.* **90(2)**, 199–206.
20. Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., Kaur, A. (2013) Beneficial phytochemicals in potato – a review. *Food Res. Int.* **50**, 487-496.
21. Farber, J.N., Harris, L.J., Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.V., Gorney, J.R., Garret, E.H., Busta, F.F. (2003) Chapter IV: Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. *Compr. Rev. Food. Sci. F.* **2**. 142-160.



22. Food and Drug Administration (FDA) (2010) Title 21. Food and Drugs Section 182. Substances Generally Recognized as safe. Electronic Code Federal Regulations. <http://www.ecfr.gpoaccess.gov/cgi> Pristupljeno 25.7.2018.
23. Goodburn, C., Wallace, C. A. (2013) The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control*. **32(2)**, 418–427.
24. Gunes, G., Lee, C. (1997) Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. *J. Food Sci.* **62**, 572–575.
25. Herceg, Z., Brnčić, M., Režek Jambrak, A., Rimac Brnčić, S., Badanjak, M., Sokolić, I. (2009) Mogućnost primjene ultrazvuka visokog intenziteta u mljekarskoj industriji. *Mljekarstvo* **59**, 65-69.
26. Hwang, T.Y., Son, S.M., Moon, K.D. (2002) Screening of effective browning inhibitors of fresh-cut potatoes. *Food Sci. Biotech.* **11**, 397–400.
27. Ioannou, I., Ghoul, M. (2013) Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *Eur. Sci. J.* **9**, 310-341
28. Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Wu, T., Hashim, M.A., Lei, S., Zeng, X. (2014) Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. *Food Sci. Tech.* **55**, 16-21.
29. Jang, J.H., Moon, K.D. (2011) Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chem.* **124**, 444-449.
30. Jansen, G., Flame, W., Schvler, K., Vandrey, M. (2001). Tuber and starch quality of wild and cultivated potato species and cultivars. *Potato Res.*, **44**, 137–146.
31. Jaspreet, S., Lovedeep, K. (2009) Advances in potato chemistry and technology, Academic press, Burlington
32. Laurila, E., Kervinen R., Ahvenainen, R. (1998) The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. *Postharvest news and information*, **9**, 53-66.
33. Lerna, A., Pellegrino, A., Di Silvestro, I., Buccheri, M. (2016). Sensory and physico-chemical characteristics of minimally processed “early” potato tubers as affected by anti-browning treatments and cultivar. *Acta Hort.* **1141**, 229–236.

34. Li, L., Bai, J., Wu, M., Zhao, M., Wang, R., Guo, M., Liu, H., Liu, T. (2016) Studies on browning inhibition technology and mechanisms of fresh-cut potato. *J. Food Process. Pres.* **41**, 1-6.
35. Ma, Y., Wang, Q., Hong, G., Cantwell, M. (2010) Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphite. *Int. J. Food Sci. Tech.* **45**, 1486-1494.
36. Mason, T.J. (1998) Power ultrasound in food processing – the way forward. U: Ultrasound in food processing (Povey, M.J.W. i Mason, T.J. ured.), Blackie Academic & Professional, London.
37. Montouto-Graña, M., Cabanas-Arias, S., Porto-Fojo, S., Vázquez-Odériz, M.L., Romero-Rodríguez, M.A. (2012) Sensory characteristics and consumer acceptance and purchase intention toward fresh-cut potatoes. *J. Food Sci.* **71**, 41-46.
38. Perdue, R., Marcondes, J. (2009) Vacuum Packaging. U: The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, 3.izd. (Yam, K. L., ured.), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken/New York.
39. Ramos, B., Miller, F.A., Brandão, T.R.S., Teixeira P., Silva, C.L.M (2013) Fresh fruits and vegetables-An overview on applied methodologies to improve it's quality and safety. *Innov. Food Sci. Emerg.* **20**, 1-15.
40. Rocculi, P., Galindo, F.G., Mendoza, F., Wadsö, L., Romani, S., Dalla Rosa, M., Sjöholm, I. (2007) Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. *Postharvest Biol. Tec.* **43**, 151-157
41. Rocha, A.M.C.N., Coulon, E.C., Morais, A.M.B. (2003) Effects of vacuum packaging on the physical quality of minimally processed potatoes. *Food Serv. Tech.* **3**, 81-88.
42. Rocha, A.M.C.N., Morais A.M.B. (2001) Characterization of PPO extracted from „Jonagored“ apple. *Food Chem.* **12**, 85-90.
43. Sagong, H.G., Lee, S.Y., Chang, P.S., Heu, S., Ryu, S., Choi Y.J., Kang, D.H. (2011) Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* on organic fresh produce. *Int. J. Food Microbiol.* **145**, 287-292.
44. Schössler, K, Thomas, T, Knorr, D. (2012) Modification of cell structure and mass transfer in potato tissue by contact ultrasound. *Food Res. Int.* **49**, 425-431.

45. Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Romaniello, R., Derossi, A. (2003) Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *Food Sci. Tech.* **36** (7), 657-665.
46. Silva, E. O., Bastos, M. S. R., Wurlitzer, N. J., Barros, Z. J., Mangan, F. (2012) Minimal Processing Fruits and Vegetables. U: *Advances in Fruit Processing Technologies*, (Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., ured.), Taylor & Francis Group, New York, str. 217-235.
47. Siracusa, V., Blanco, I., Romani, S., Tylewicz, U., Dalla Rossa, M. (2012) Gas permeability and thermal behavior of polypropylene films used for packaging minimally processed fresh-cut potatoes: a case study. *J. Food. Sci.* **0**, 1-8.
48. Soliva-Fortuny, R.C., Martín-Belloso, O. (2003) New advances in extending the shelf life of fresh-cut fruits: a review. *Trends. Food Sci. Tech.* **14**, 341-353.
49. Sowokinos, J.R. (1990) Stress induced alteration in carbohydrate metabolism. U: *The molecular and cellular biology of the potato* (Vayda, M.E., Park, W.D., ured.) CAB International, Wallingford, 137-158.
50. Tian, J., Chen, J., Ye, X., Chen, S. (2016) Health benefits of the potato affected by domestic cooking: A review. *Food Chem.* **202**, 165-175.
51. Toma, R. B., Augustin, J., Orr, P. H., True, R. H., Hogan, J. M., Shaw, R. L. (1978). Changes in the nutrient composition of potatoes during home preparation: I. Proximate composition. *Am. J. Potato Res.* **55**, 639-645.
52. Tomás-Barberán, F. A., Espín, J. C. (2001) Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* **81**, 853-876.
53. Tsouvaltzis, P., Brecht, J. K. (2016) Inhibition of Enzymatic Browning of Fresh-Cut Potato by Immersion in Citric Acid is Not Solely Due to pH Reduction of the Solution. *J. Food Process Pres.*, **41**.
54. USDA (2018) Basic report, potatoes, flesh and skin, raw, <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11352?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=raw+potato&ds=&qt=&qp=&qq=&qn=&q=&ing=>. Pristupljeno 15.6.2018.
55. Vahčić, N., Hruškar, M., Marković, K. (2000) Metoda kvantitativne deskriptivne analize u senzorskoj procjeni jogurta. *Mljekarstvo* **50** (4), 279-296.

56. Zaheer, K., Akhtar, M. (2014) Recent advances in potato production, usage, nutrition – a review. *Crit. Rev. Food Sci.* **56**, 712-721.
57. Zavadlav, S. (2015) Priručnik za vježbe iz kolegija "Tehnologija bezalkoholnih pića", Veleučilište u Karlovcu, Karlovac
58. Zuo, Y.Y.J., Hébraud, P., Hemar, Y., Ashokkumar, M. (2012). Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy. *Ultrason. Sonochem.* **19 (3)**, 421-426.

## IZJAVA O IZVORNOSTI

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

---

Ime i prezime studenta