

# Primjena visokog tlaka na minimalnom procesiranom voću i povrću

---

Ljubas, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*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:159:615613>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu**

**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**ANA LJUBAS**

7248/PT

**Primjena visokog tlaka na minimalno  
procesiranom voću i povrću**

**ZAVRŠNI RAD**

**Naziv znanstveno-istraživačkog ili stručnog projekta:** Ovaj rad izrađen je u okviru projekta "Inovativne tehnike u minimalnoj preradi krumpira (*Solanum tuberosum*) i njegova zdravstvena ispravnost nakon pripreme" (IMPROVePOTATO, IP-2016-06-5343) financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost.

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

**Zagreb, 2019.**

**Sveučilište u Zagrebu**

**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija**

**Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo**

**Laboratorij za procese konzerviranja i preradu voća i povrća**

**Znanstveno područje: Biotehničke znanosti**

**Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija**

**Primjena visokog tlaka na minimalnom procesiranom voću i povrću**

**Ana Ljubas, 00582084346**

**Sažetak:** Svrha ovog rada bila je istražiti utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na minimalno procesiranom voću i povrću. Zbog sve veće osviještenosti potrošača o zdravlju, popularnost minimalno procesiranog voća i povrća je sve veća. Tijekom procesa prerade dolazi do mehaničkog oštećenja tkiva te oslobađanjem enzima dolazi do reakcija enzimskog posmeđivanja. U posljednje vrijeme sve je više znanstvenih istraživanja koja proučavaju nove metode netermičke obrade namirnica. Među popularnijim metodama je primjena visokog tlaka koja omogućuje ravnomjernu i brzu obradu namirnice visokim tlakom uz antimikrobni učinak.

**Ključne riječi:** minimalno procesirano voće i povrće, enzimsko posmeđivanje, visoki hidrostatski tlak

**Rad sadrži :** 20 stranica, 5 slika, 0 tablica, 28 literaturnih pregleda, 0 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u:** knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

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

**Datum obrane:** Rujan, 2019.

**University of Zagreb**

**Faculty of Food Technology and Biotechnology**

**Undergraduate studies Food Technology**

**Department of Food Engineering**

**Laboratory for Technology of Fruits and Vegetables Preservation and Processing**

**Scientific area: Biotechnical Sciences**

**Scientific field: Food Technology**

**Application of high pressure on minimally processed fruits and vegetables**

**Ana Ljubas, 00582084346**

**Abstract:** The purpose of this paper was to investigate the effect of high hydrostatic pressure on minimally processed fruits and vegetables. Due to increasing consumer awareness of health, the popularity of minimally processed fruits and vegetables is increasing. During processing, there is mechanical damage to the tissue and the release of enzymes results in reactions of enzymatic browning. Lately, there is a growing number of scientific research examining new methods of non-thermal food processing. Among the more popular methods is the application of high pressure, which allows even and fast processing of high pressure foods with antimicrobial effect.

**Key words:** minimally processed fruits and vegetables, enzymatic browning, high hydrostatic pressure

**Thesis contains:** 21 pages, 12 figures, 0 table, 28 references, 0 supplements

**Original in:** Croatian

**Thesis is in printed and electronic form deposited in:** Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

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

**Defence date:** September, 2019

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1 Minimalno procesirano voće i povrće.....	2
2.2 Proces prerade.....	3
2.2.1 Berba.....	4
2.2.2 Pranje.....	4
2.2.3 Guljenje.....	4
2.2.4 Rezanje i usitnjavanje.....	4
2.2.5 Pakiranje i ambalaža.....	5
2.2.6 Skladištenje i čuvanje.....	6
2.2.7 Enzimsko posmeđivanje.....	7
2.3 Visoki hidrostatski tlak.....	9
2.3.1 Uređaj za tretiranje visokim tlakom.....	10
2.3.2 Utjecaj visokog tlaka na namirnice.....	11
2.3.3 Utjecaj na enzimsku aktivnost.....	12
2.3.4 Utjecaj na mikroorganizme.....	13
2.4 Primjena visokog hidrostatskog tlaka na svježem voću i povrću.....	14
3. ZAKLJUČAK.....	17
4. LITERATURA.....	18

# 1. UVOD

Zbog urbanog načina života sa sve manje slobodnog vremena te sve češćom pojavom kroničnih bolesti kao što su debljina, dijabetes, kardiovaskularne bolesti i povišeni tlak dolazi do promjena prehrambenih navika kod ljudi. Promjena prehrambenih navika započinje usvajanjem jednostavnih principa prehrane, koji uključuju uravnoteženost, raznolikost i umjerenost pri konzumiranju hrane. Da bi tijelo dobilo sve potrebne energetske i nutritivne tvari potrebno je dobro izbalansirati obroke i pravilno iskombinirati namirnice. Voće i povrće zauzima važno mjesto u pravilno izbalansiranoj prehrani te ima blagotvoran utjecaj na naše zdravlje. Odličan su izvor sastojaka kao što su dijetetska vlakna, zaštitni mikronutrijenti, proteini, ugljikohidrati, voda, vitamini, minerali, organske kiseline. Preporučuje se konzumacija voća i povrća u 5 manjih obroka dnevno. Također, potrošačima je sve bitnije da za pripremu obroka utroše minimalno vrijeme te sve češće kupuju gotovo pripremljenu ili polupripremljenu hranu.

Porastom edukacije potrošača o prehrambenim vrijednostima hrane i sve većoj brizi o zdravlju potaknuto je sve veće zanimanje o minimalno procesiranoj hrani, tj. proizvodima konzerviranim hlađenjem s povećanjem trajnosti. Pri proizvodnji takvih proizvoda uključeni su postupci koji uzrokuju najmanje moguće promjene na kvaliteti i svježini proizvoda, osiguravajući dovoljnu trajnost proizvoda. To su proizvodi poput svježeg, termički netretiranog i polupripremljenog mesa spremnog za pripremu, filetirane ribe, a danas je sve prisutnije i minimalno procesirano voće i povrće kao što su očišćene, oprane i po potrebi narezane svježe salate, naribana mrkva ili kupus, narezano voće i dr.

Produljenje roka trajanja bez izlaganja hrane visokim temperaturama uvelike pomaže zadovoljiti potrošačkim zahtjevima za svježom, kvalitetnijom i zdravijom namirnicom. Posljednjih dvadesetak godina intenzivno se istražuju nove tehnologije kojima je glavni cilj produljenje trajnosti sa što manjim organoleptičkim i nutritivnim promjenama namirnice. Primjer je primjena visokog hidrostatskog tlak (VHT), koja u prehrambenoj industriji nalazi sve veću primjenu posebice u svrhu pasterizacije voćnih sokova.

Cilj ovog rada bio je ispitati mogućnost primjene VHT u proizvodnji minimalno procesiranog voća i povrća u svrhu očuvanja njegove svježine i produljenja trajnosti takvog proizvoda.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1 Minimalno procesirano voće i povrće

To je voće i povrće koje je oprano, očišćeno, narezano i zapakirano u odgovarajuću ambalažu, tj. bilo je podvrgnuto svim tehnološkim operacijama koje se koriste i u konvencionalnoj preradi do termičke obrade. Važno je da proizvod ostane svjež te da ne izgubi prehrambenu vrijednost. U današnje vrijeme zbog užurbanog načina života raste popularnost za proizvodima koji su odmah spremni za upotrebu. Upravo minimalno procesirano voće i povrće olakšava potrošačima da zadovolje potrebe preporučene konzumacije voća i povrća u barem 5 obroka dnevno.

Međutim, takvi proizvodi su lako pokvarljivi s obzirom da su narezani te nisu termički obrađeni. Rezanjem dolazi do oštećenja stanica i aktivacije enzima što pogoduje brzom propadanju. Mikrobiološka, senzorska i nutritivna trajnost bi trebala biti najmanje 4-7 dana, a poželjno i duže, čak do 21 dan (Ahvenainen, 2000). Većina voća i povrća pogodna je za proizvode koji se proizvode danas, a konzumiraju sutra. Međutim ako se hoće produžiti trajnost minimalno procesiranog proizvoda na više dana, potrebno je koristiti naprednije metode, pravilno odabrati sirovinu koja će biti pogodna za željeni proizvod i s njom pravilno rukovati.



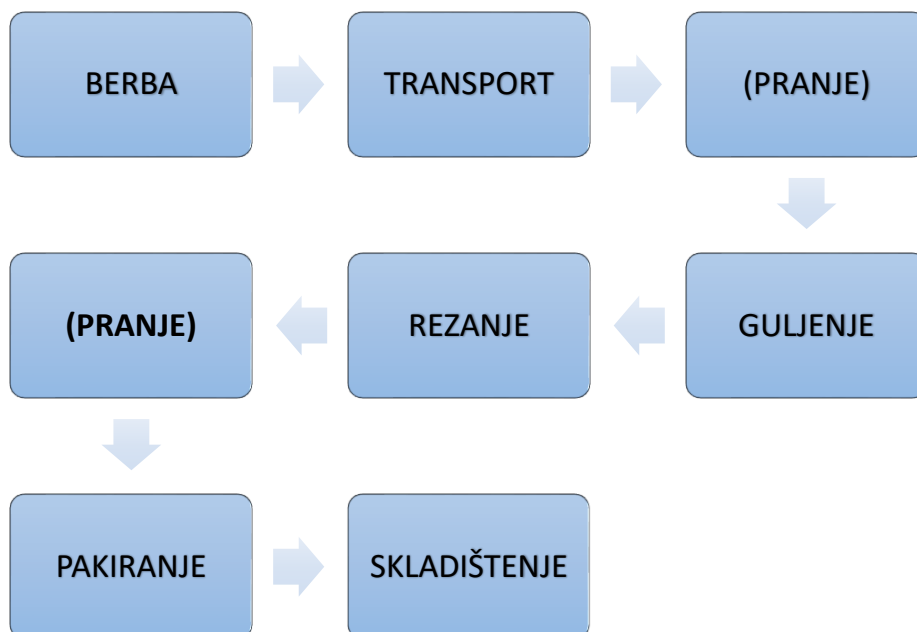
**Slika 1.** Minimalno procesirano voće i povrće (Anonymus, 2016).

Proizvode čiji je vijek trajanja 3-4 dana nakon prerade pogodni su za serviranje u školama, kao catering, u restoranima, a najčešće su pripremljeni u kuhinjama jednostavnim postupcima prerade. Proizvodi za maloprodaju imaju trajnost 5-7 dana i više te se takvi proizvodi proizvode u specijaliziranim pogonima (Alzamora i sur., 2000). Općenito, konzerviranjem namirnica cilj je kroz što duže vrijeme i što kvalitetnije sačuvati namirnicu od kvarenja i degradacije. Izlaganjem namirnica povišenim i niskim temperaturama koje se koriste u mnogim konvencionalnim procesima prerade dolazi do održivosti namirnice kroz duže vrijeme. Međutim dolazi i do nepovoljnog utjecaja na teksturu, boju, miris, okus i dolazi do promjene važnih sastojaka namirnica (arome, vitamina, lipida itd.) (Lovrić, 2003). Minimalnim procesiranjem se takvi gubitci pokušavaju u što većoj mjeri izbjeći kako bi se sačuvala izvorna svježina namirnice.

## 2.2 Proces prerade

Primjenjuju se što jednostavniji procesi prerade. U samom pogonu sirovina prolazi kroz pranje, guljenje, rezanje, pakiranje i skladištenje čime postaje spremna za daljnju distribuciju.

Prikazana block shema prikazuje slijed prerade od berbe do skladištenja prema Ohlsson i Bengtsson (2000).





### 2.2.1 Berba

Proizvodni proces započinje berbom. Međutim, još puno prije proizvodnog procesa potrebno je istražiti koja sorta bi bila prikladna za minimalnu preradu, tu sortu na ispravan način uzgojiti te ju koristiti u preradi. Ispravan izbor sorte osobito je važan za mrkvu, krumpir, repu i luk (Ahvenainen, 2000). Primjerice, ako nije izabrana ispravna sorta krumpira, loša boja i okus postaju problem (Jongen, 2002). Klimatski uvjeti, uvjeti tla, uvjeti gnojidbe, također mogu značajno utjecati na ponašanje povrća, posebno krumpira tijekom minimalne obrade (Ahvenainen, 2000). Nadalje, posebno je važno odrediti optimalan termin berbe i način berbe. Uspješna berba i rukovanje sirovinom nakon berbe utjecat će na kvalitetu finalnog proizvoda, stoga je od iznimne važnosti to provesti s maksimalnom pažnjom uz primjenu dobre poljoprivredne prakse.

### 2.2.2 Pranje

Razne nečistoće (pijesak, zemlja, lišće, kamenčići, mikroorganizmi, pesticidi itd.) prisutne na površini sirovine uklanjaju se pranjem s vodom. Pri pranju minimalno procesiranog voća i povrća obvezno je koristiti hladnu, a ne toplu vodu upravo zbog ne termičke obrade. Pranje se može provesti namakanjem, pranjem uz gibanje vode ili prskanjem. Namakanje se provodi za jako onečišćene sirovine kako bi pranje prskanjem bilo učinkovitije. Pranje prskanjem ovisit će o pritisku i volumenu vode te udaljenosti sapnice od sirovine (Herceg, 2011).

### 2.2.3 Guljenje

Provodi se mehaničko guljenje. Za krumpir i korjenasto povrće koriste se uređaji s abrazivnom površinom. Uređaji s noževima koriste se za krumpir, jabuke, breskve, a uređaji s rotirajućim elementima od karborunduma primjenjuju se na agrumima (Herceg, 2011).

### 2.2.4 Rezanje i usitnjavanje

Voće i povrće najčešće se reže u obliku rezanaca, kockica, ploški ili štapića. Provodi se mehaničkim uređajima koji imaju noževe. Da bi se smanjilo oštećenje plodova, oštrice noževa moraju biti oštre od nehrđajućeg čelika te moraju prolaziti kroz plod sa što manjim otporom. Rezanjem dolazi do oštećenja tkiva i povećane aktivnosti enzima što dovodi do enzimskog posmeđivanja. Ponekad se pranje provodi i nakon rezanja, a nakon rezanja se preporuča provesti određeni tretman protiv posmeđivanja o čemu će biti više u posebnom poglavlju.

### 2.2.5 Pakiranje i ambalaža

Pakiranje je završna metoda pri procesu prerade te predstavlja bitnu stavku pri očuvanju održivosti proizvoda. Povećanu trajnost sirovine i proizvoda od svježeg voća i povrća postiže se hlađenjem u kombinaciji s kontroliranom ili modificiranom atmosferom (CA/MA).

Navedenim metodama postiže se promjena sastava atmosfere u ambalaži dodavanjem ili uklanjanjem plinova. Voće i povrće predstavlja živo tkivo te se djeluje u svrhu produljenja trajnosti na usporavanje procesa disanja. Stvaranjem uvjeta u kojima će se procesi disanja usporiti produžava se vrijeme upotrebe svježeg voća ili povrća. Primjenom kontrolirane ili modificirane atmosfere usporava se respiracija odnosno disanje te proces dozrijevanja i kvarenja. Najčešće se postiže atmosfera s povećanim udjelom ugljičnog dioksida (2-5 vol %) i sniženim udjelom kisika (2-3 vol%).

Konzerviranjem u kontroliranoj atmosferi primjenjuje se uobičajeno za sirovinu ako joj je potrebno održati trajnost kroz duže vrijeme. Razlikuju se tri tipa kontrolirane atmosfere ovisno o sastavu plinova; atmosfera relativno bogata kisikom (11-16 %), atmosfera siromašna kisikom (2-3%) i atmosfera siromašna kisikom i ugljičnim dioksidom. Pakiranjem u modificiranoj atmosferi proizvod se pakira nepropusnim ili slabo propusnim materijalom (folija) uz postizanje optimalnog sastava atmosfere unutar pakiranja. Primjer modificirane atmosfere je pakiranje namirnice u plastične filmove. Može se ostvariti aktivnim (upuhivanjem smjese plinova određenog sastava) ili pasivnim (disanjem namirnice zapakirana u polupropusnu ambalažu) putem.

Masa i brzina disanja sirovine kao i propusnost izabranog materijala za plinove i vodenu paru utjecat će na postizanje optimalne modificirane atmosfere. Razvoj MA potrebno je kontrolirati mjerenjem koncentracije kisika i ugljičnog dioksida. Respiracijskim kvocijentom, odnosno udjelom razvijenog ugljičnog dioksida i utrošenog kisika, može se odrediti brzina disanja u mL, mg ili mmol po kg mase u jedinici vremena (Lovrić, 2003, Ahvenainen, 2000).

Upotreba ambalaže od plastičnih ili polimernih filmova najčešći je način pakiranja proizvoda. Pri odabiru vrste ambalaže važno je uzeti u obzir karakteristike proizvoda koji se pakira. Bitni čimbenici su količina, težina, biokemijski sastav sirovine, željeni rok trajanja, količina vlage, svjetlost, temperatura itd. Također, završni proizvod treba biti privlačan potrošačima i olakšati im potrošnju istog. Najčešće se koriste polietilen niske gustoće, ekspanzirani polistiren, polivinil klorid (PVC), polipropilen (PP) te polietilentereftalat (PET) (Jongen, 2002).

Sve je veći interes zamjena ambalažnog materijala biorazgradivim materijalom kao tanki slojevi koje potrošač može pojesti kao dio proizvoda, a smanjuju gubitak vlage, unos kisika, respiraciju, proizvodnju etilena itd. Najčešće korišteni materijali u tim jestivim premazima su lipidi (biljna ulja, vosak), polisaharidi (alginat, škrob, celuloza, gume, pektin) i proteini (kazein, želatina, kolagen, albumin) (Oliveira Silva i sur., 2016).

#### 2.2.6 Skladištenje i čuvanje

Uvjeti skladištenja i izlaganja gotovih proizvoda u supermarketima moraju se dobro kontrolirati u pogledu hlađenja i rukovanja. Obrada, transport i skladištenje treba biti na istoj temperaturi. Treba izbjegavati temperaturne promjene, kao i temperature iznad 10°C na kojima dolazi do značajnijeg rasta bakterija (Ohlsson i Bengtsson, 2002). Minimalno obrađena, izrezana i pakirana zelena salata je primjer praktične hrane koja je popularna među potrošačima. Optimalne temperature skladištenja proizvoda su 0-5°C. Najčešći problem prilikom skladištenja predstavlja *Listeria monocytogenes* koja je sposobna rasti na niskim temperaturama na kojima se proizvod čuva kako bi mu se produžio rok trajanja.

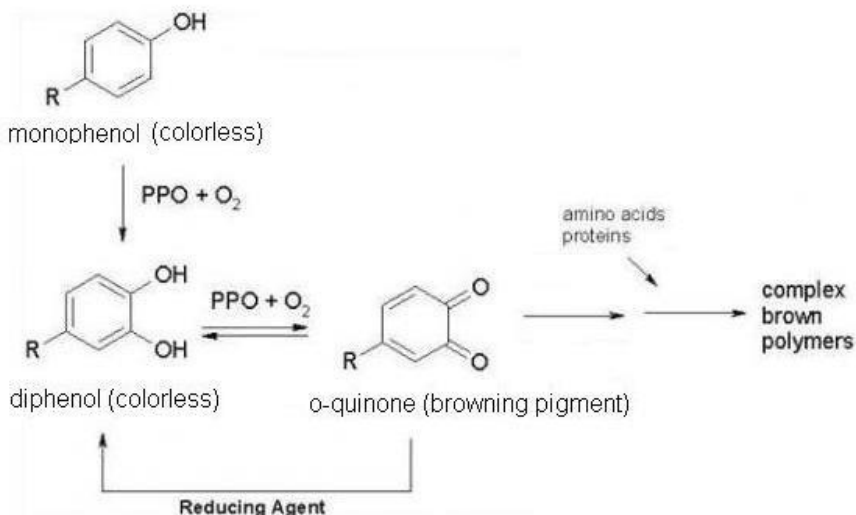
Francis i Beirne (2003) dokazali su prisutnost aktivnosti *Listeria innocua* i *Listeria monocytogenes* na minimalno procesiranoj salati čuvanoj na temperaturi od 3°C i 8°C.

Broj mikrobnih populacija *Listeria innocua* i *Listeria monocytogenes* postupno se smanjivao na salati čuvanoj na temperaturi od 3°C tijekom skladištenja od 14 dana dok se broj populacija na salati čuvanoj na 8 °C nije značajno promijenio niti uz tretman salate sa 100% dušikom ili limunskom kiselinom. To ukazuje da upravo temperatura ima važnu ulogu pri aktivnosti *Listeria innocua* i *Listeria monocytogenes*.

Kovačević i sur. (2013) proveli su istraživanje na 100 uzoraka minimalno prerađenog povrća iz supermarketa u Osijeku s ciljem ispitivanja mikrobiološke kvalitete proizvoda. *Listeria* spp. pronađene su u 20 uzoraka, dok je *Listeria monocytogenes* otkrivena u samo jednom uzorku, točnije u proizvodu rezanog crvenog kupusa (manje od 100 CFU/g). Dobiveni rezultati su bili zadovoljavajući prema mikrobiološkim kriterijima Hrvatske i Europske unije. Ipak sama prisutnost vrsta *Listeria* i *Listeria monocytogenes* ukazuje na lošu higijensku kvalitetu. Na 24% analiziranih uzoraka nisu pronađeni podaci o roku trajanja, a na 60% uzoraka nedostaju podaci o uvjetima skladištenja, tako da se ne može reći da je mikrobiološki rizik za potrošače gotovog minimalno prerađenog povrća potpuno uklonjen.

## 2.2.7 Enzimsko posmeđivanje

Reakcije enzimskog posmeđivanja katalizirane su enzimom polifenol oksidazom koja katalizira hidroksilaciju monofenola u o-difenole i oksidaciju o-difenola u o-kinone koji se dalje polimeriziraju u melanoidne pigmente. Uslijed mehaničke povrede tkiva tijekom rezanja, guljenja ili usitnjavanja oštećuju se stanice te aktiviraju enzimi i uz prisutnost kisika se odvijaju reakcije posmeđivanja. Enzimsko posmeđivanje predstavlja veliki problem kvalitete svježeg narezanog voća i povrća. Upravo je boja namirnice prvo što potrošač primjećuje te promjena boje snižava uporabnu vrijednost te dolazi do ekonomskih gubitaka (Ohlsson i Bengtsson, 2002). Jabuke, kruške, banane, breskve i krumpir su posebno osjetljivi na enzimsko posmeđivanje tijekom prerade i čuvanja.



**Slika 2.** Reakcije enzimskog posmeđivanja (Anonymus, 2013).

Enzimsko posmeđivanje zahtijeva tri komponente: kisik, enzim (polifenol oksidazu) i supstrat. Za sprječavanje enzimskog posmeđivanja potrebno je djelovati na jednu od navede tri komponente. Uklanjanje kisika postiže se pakiranjem svježeg narezanog voća i povrća u atmosferi dušika, vakuumiranjem, potapanjem u otopinu NaCl, kiseline ili sirupe. Reducirajući spojevi sprječavaju posmeđivanje djelovanjem na supstrat tako da ga drže u reduciranom stanju. To se ostvaruje dodatkom tvari koje se lakše oksidiraju od supstrata. Najčešće korišteno reducirajuće sredstvo za suzbijanje posmeđivanja je askorbinska kiselina. Ona djeluje

na supstrat i učinkoviti je inhibitor enzimskog posmeđivanja zbog sposobnosti da kinone vraća u fenolne spojeve prije daljnje reakcije u kojoj dolazi do stvaranja melanoida (Jongen, 2002).

Hesham i sur. (2006) usporedili su učinak reducirajućeg spoja koji sadrže tiole (cistein) i učinak askorbinske kiseline na inhibiciju enzimskog posmeđivanja kriški jabuka tijekom 24 sata. Pokazalo se da je cistein je imao znatno veći inhibicijski učinak, ali negativno je utjecao na okus jabuke.

Optimalni pH djelovanja polifenol oksidaze je između 5 i 7. Snižanjem pH ispod 3 inhibira se aktivnost polifenol oksidaze. Na aktivnost polifenol oksidaze može se djelovati i povišenom temperaturom čime dolazi do promjena u sekundarnoj i tercijarnoj strukturi enzima, odnosno do denaturacije. Međutim, toplinsku inaktivaciju nije moguće provesti na minimalno procesiranom voću i povrću. Organske kiseline kao što je limunska kiselina smanjuju pH te imaju inhibirajući učinak na polifenol oksidazu.

Ihl i sur. (2003) izvijestili su o pozitivnom utjecaju na rok trajanja minimalno prerađene salate upotrebom otopine koja je sadržavala limunsku kiselinu, uz inhibiciju polifenol oksidaze.

### 2.3 Visoki hidrostatski tlak

Jedna od novijih tehnika obrade minimalnog procesiranog voća i povrća bez upotrebe topline je obrada visokim tlakom. Čvrste ili tekuće namirnice izlažu se tlaku od 50 do 1000 MPa. Pri obradi visokim tlakom temperature se kreću od 5-90 °C. Temelji se na Le Chatelierovom načelu. Povećanje tlaka uzrokovat će smanjenje volumena namirnice. Posljedično dolazi do pucanja vodikovih, ionskih i hidrofobnih veza, a kovalentne veze će ostati nepromijenjene.

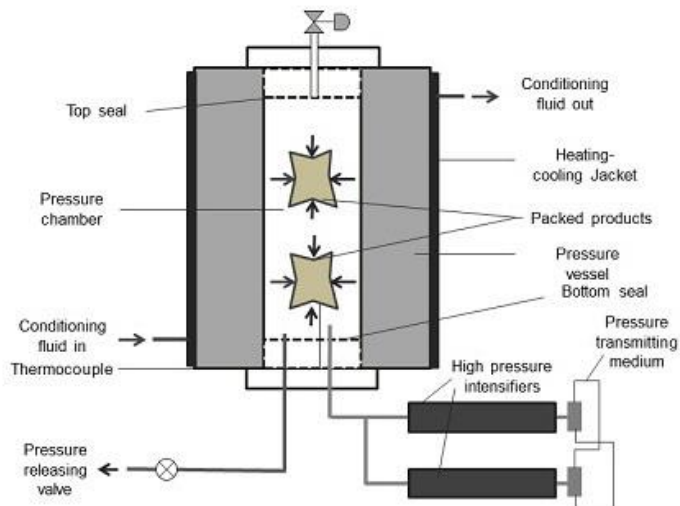
Kratkotrajno provođenje procesa i mali utrošak energije, ravnomjerna obrada namirnice kao i potencijalno povećanje roka trajanja proizvoda koje se još istražuje, predstavljaju glavne prednosti navedene metode. (Bosiljkov i sur., 2010). Također, zadržavanje osobina kao što su boja, aroma, nutritivna vrijednost, te inaktivacija mikroorganizama i enzima prednosti su navedene metode s obzirom na metode termičkog tretiranja.

Prvi komercijalni prehrambeni proizvodi obrađeni visokim tlakom pojavili su se na tržištu devedesetih godina u Japanu. Predstavljani su proizvodi od džemova, želea i voćnih umaka proizvedenih bez primjene povišene temperature. Razvoj tehnologije omogućio je primjenu visokog tlaka i na ostalim proizvodima koji se danas nalaze na tržištu kao što su voćni sokovi (sokovi od naranče i jabuke), voćne pulpe, sirove lignje, kamenice, kuhana šunka, pire, avokado, polugotova i gotova mesna jela (Krešič i sur., 2011).

Primjenjuje se kao predtretman sterilizaciji te kao pasterizacija proizvoda koji zahtjeva blaže uvjete. Može zamijeniti postupak blanširanja vrućom vodom, olakšati usitnjavanje hrane te povećati iskorištenje prilikom ekstrakcije. U preradi voća i povrća tretman visokog tlaka primjenjuje se pri pripremi raznih sokova kako bi se produžila trajnost i očuvale karakteristike svježeg proizvoda. U zadnjih dvadesetak godina primjena visokim tlakom sve češće se koristi kao zamjena za termičke metode obrade, pogotovo kod pripreme minimalnog procesiranog voća i povrća (Lelas, 2006).

### 2.3.1 Uređaj za tretiranje visokim tlakom

Osnovni dijelovi uređaja za provođenje obrade visokim hidrostatskim tlakom su: tlačne komore, uređaj za brtvenje, dva dna za zatvaranje, niskotlačne pumpe, pojačala tlaka i sistem kontrole i instrumentacije (Lovrić, 2003).



**Slika 3.** Shematski prikaz uređaja za tretiranje visokim tlakom (Anonymus, 2018).

Punjenje spremnika tlačnim medijem i materijalom koji se tretira, zatvaranje, kompresija, zadržavanje postignutog tlaka, dekompresija, otvaranje spremnika i vađenje tretiranog materijala iz spremnika predstavljaju tijekom obrade visokim tlakom. Proizvod koji se tretira stavlja se u tlačnu komoru, koja je uronjena u tekućinu, najčešće vodu koja djeluje kao sredstvo za prijenos tlaka (Knorr i sur., 2011). Kao medij za prijenos tlaka osim vode upotrebljava se razrijeđeni etanol, smjesa vode i glikola, otopina natrijeva benzoata, silikonska ulja ili inertni plinovi. Izravnom kompresijom postiže se stvaranje tlaka te uslijed djelovanja hidrauličkog tlaka na klip dolazi do smanjenja volumena komore. Visokotlačna pumpa izravno pumpa medij pod tlakom kako bi se postigao željeni pritisak. Tlak se održava željeno vrijeme tretmana ovisno o vrsti tretiranog proizvoda.

### 2.3.2 Utjecaj visokog tlaka na namirnice

Tijekom kompresije dolazi do povećanja temperature unutar tretiranog proizvoda adijabatskim zagrijavanjem koje se javlja kao posljedica unutarnjem trenja. O sastavu uzorka ovisit će intenzitet povećanja temperature. Za namirnice koje sadrže veći udio vode dolazi do povećanja temperature od 3°C djelovanjem tlaka od 100 MPa. Također, može doći do sniženja pH. Kod tretiranja soka od jabuke visokim tlakom, svako povećanje tlaka od 100 MPa utjecat će na sniženje pH za 0,2 (Krešić i sur., 2011). Nakon dekompresije temperatura proizvoda vraća se na početnu vrijednost. Time je namirnica kratkotrajno izložena višim temperaturama te ne dolazi do promjena.

Visoki hidrostatski tlak uzrokuje smanjenje broja mikroorganizama. Dolazi do inhibicije sinteze proteina, uništenja ribosoma, oštećenja stanične stijenke i membrane, inaktivacije enzima te do promjena na razini genetskog mehanizma.

Strukturne promjene i reaktivnost biopolimera kao što su škrob i proteini posljedica su obrade namirnice visokim tlakom. Na proteinima uzrokuje promjenu molekularne strukture i agregaciju s drugim proteinima u hrani te dolazi do promjene u teksturi i viskoznosti hrane (Lelas, 2006).

Tkivo voća i povrća sadrži međustanične zračne prostore te tlačenjem dolazi do pucanja staničnih stijenki, oštećenja membrane te posljedično gubitka prostorne raspodjele i oslobađanja staničnih spojeva. Jedan od načina da se ukloni navedeni problem je punjenje međustaničnih prostora tekućinom kao što je voda ili pufer prije obrade namirnice visokim tlakom (Michel i Autio, 2001).

Visoki tlak djeluje na teksturu voća i povrća čineći ih mekšim i elastičnijim. Nekoliko je istraživanja pokazalo kako visoki tlak djeluje na tvrdoću i mekoću teksture namirnice kao i na boju.

Krešić i sur., (2011) naveli su kako je kod većine voća i povrća postupni povratak teksture zabilježen pri obradi tlakovima od 100 do 200 MPa kroz 30 do 60 minuta.

Provođenje spektrofotometrijskih analiza na zelenom povrću nakon tretmana visokim tlakom utvrđeno je da visoki tlak bez toplinskog tretmana u pravilu ne utječe na pigment klorofil, odnosno zadržana je zelena boja. Pri tretmanu tlakom od 500-800 MPa pri 27°C klorofil a i b iz brokule te likopen i  $\beta$ -karoten iz rajčice ostali su sačuvani (Butz i sur., 2002).



### 2.3.3 Utjecaj na enzimsku aktivnost

Enzimi pokazuju različitu osjetljivost na visoki tlak koji uzrokuje promjenu strukture proteina . Gubitak katalitičke aktivnosti razlikuje se ovisno o vrsti enzima, prirodi supstrata, temperaturi i vremenu trajanja obrada. Visokim tlakom može se zaustaviti enzimsko posmeđivanje inhibiranjem polifenol oksidaze. Ovisno o podrijetlu enzima i pH sirovine, pritisci potrebni za inaktivaciju polifenol oksidaze kreću se u rasponu od 200 do 1000 MPa. Polifenol oksidaza iz jabuke i grožđa osjetljiva je na pritisak, dok je polifenol oksidaza prisutna u krušci i šljivi otpornija na pritisak (Jongen, 2002).

Dokazano je da metil esteraza u jagodama ostaje aktivna i nakon tretiranja tlakom od 1200 MPa. Također, utvrđeno je da enzimska aktivnost nakon tretiranja tlakom ovisi i o pH vrijednosti, sastavu namirnice te o temperaturi (Lelas, 2006). U intracelularnim prostorima biljaka široko su rasprostranjeni pektini koji izgrađuju strukturu stanične stijenke. Molekule pektina sastoje se od razgranatih regija, koje su izgrađene od galakturonskih kiselina. Ako tretman visokim tlakom povećava broj zapleta unutar strukture pektina, viskoznost se povećava. Visoki tlak utječe na hidrofobne interakcije između molekula pektina.

Peroksidaza može izazvati negativan okus tijekom skladištenja hrane. Peroksidaza je vrlo otporna na pritisak, a inaktivacija se odvija samo pri vrlo visokim pritiscima. Za peroksidazu ekstrahiranu iz mrkve pri pH 6 do 7 postiže se nepovratan i potpun gubitak aktivnosti enzima pri obradi tlakom od 9 kbar (Michel i Autio, 2001).

Chano i sur. (1997) proveli su istraživanje o utjecaju visokog tlaka na aktivnost peroksidaze i polifenoloksidaze u svježem soku od naranče i kaši od jagoda koji su bili zapakirani u polietilenske boce (250 ml) i zatim postavljeni u tlačnu jedinicu ispunjenu vodom kao tlačnim medijem. Početne enzimске aktivnosti pokazale su da je aktivnost peroksidaze dvostruko veća u soku od naranče nego u kaši od jagode. Nakon obrada visokim tlakom do 300 MPa pri temperaturi od 20°C tijekom 15 minuta, aktivnost peroksidaze u kaši od jagoda se postupno smanjivala dok su tlakovi iznad 300 MPa uzrokovali blago povećanje aktivnosti.

Aktivnost peroksidaze u soku od naranče se kontinuirano smanjivala nakon obrade tlakom od 400 MPa, temperaturi 20°C tijekom 15 minuta. Nakon tretiranja tlakom od 400 MPa pri temperaturi od 32°C postignuta je najveća stopa inaktivacije (50%) peroksidaze.

Uzorci jagoda tretirani visokim tlakovima različitih jačina pri temperaturama u rasponu od 20°C do 60°C pokazali su povećanje aktivnosti polifenoloksidaze. Pri tretmanu kaša od jagode pri

temperaturi 60°C i tlaku 400 MPa, aktivnost polifenoloksidaze se nije razlikovala od aktivnosti iste pri uzorku koji nije bio tretiran visokim tlakom.

#### 2.3.4 Utjecaj na mikroorganizme

Učinkovitost na inaktivaciju mikroorganizama ovisi o intenzitetu primijenjenog tlaka, trajanju i temperaturi tretiranja, vrsti mikroorganizma te sastavu tretiranog proizvoda. Visoki tlak prvo oštećuje staničnu membranu i njenu strukturu te posljedično i ostale stanične strukture. Primjenom tlaka od 50 MPa na mikroorganizme dolazi do inhibicije sinteze proteina. Tlak od 100 MPa uzrokuje denaturacije proteina. Pri tlaku od 200 MPa oštećuju se stanične membrane i unutarnje strukture stanice. Povišenjem tlaka na 300 MPa ili više uzrokuje nepovratnu denaturaciju enzima i proteina, odnosno uzrokuje uništenje bakterija. Zaključno, primjena visokog pritiska na mikroorganizme utječe na biokemijske i genetske mehanizme mikroorganizama.

U stacionarnoj fazi su mikroorganizmi otporniji na pritisak nego u eksponencijalnoj fazi rasta. Mikroorganizmi u stacionarnoj fazi imaju potpunu strukturu te su pod zaštitom membrane, tako da mogu podnijeti veću razinu stresa. Tijekom faze rasta mikroorganizmi se dijele konstantnom brzinom i njihova tolerancija na stres se smanjuje u teškim uvjetima. Manje bakterije i bakterije u obliku koka su otpornije na visoki pritisak od krupnih bakterija te bakterija u obliku štapića (Ghalavand i sur., 2015). Otpornost mikroorganizama na visoki tlak je promjenjiva i izravno povezana s vanjskim i unutarnjim faktorima.

Arroyo i sur. (1997) proveli su istraživanje o aktivnosti različitih mikroorganizama nakon tretiranja visokim tlakom. Pri tlaku od 100 i 200 MPa smanjenje mikrobne populacije nije bilo značajno kod gram pozitivnih i gram negativnih bakterija, kvasaca i plijesni, dok se populacija svih ispitivanih mikroorganizama znatno smanjila pri tlaku od 300 MPa. *Saccharomyces cerevisiae* pokazala je potpuno smanjene populacije pri primjeni tlaka od 300 MPa na 10°C. Kako bi se smanjila populacija gram negativnih bakterija i plijesni potreban je pritisak od 350 MPa. Gram-pozitivne bakterije su otpornije, a pritisci od 400 MPa ne mogu u potpunosti smanjiti njihovu populaciju. Primijenjeni pritisci nisu značajno utjecali na broj spora.

## 2.4 Primjena visokog hidrostatskog tlaka na svježem voću i povrću

Visoki tlak izaziva promjene u molekularnoj organizaciji strukture membrane. Dolazi do promjena u funkciji proteina vezanih za membranu koji kontroliraju propusnost iona. Visokim tlakom mijenja se propusnost stanica i omogućuje kretanje vode iznutra prema van stanice čime može doći do promjena u teksturi voća i povrća.

Nakon tretiranja uzorka cvjetače tlakom od 400 MPa tijekom 30 min na temperaturi od 5°C, stanična struktura se promijenila i došlo je do migracije komponenata unutar stanice.

Došlo je do gubitka turgora te popunjavanja praznog prostora, koji su prije tretmana bili ispunjeni plinovima, oslobođenom međustaničnom tekućinom. Iako nisu primijećene velike promjene, kretanjem vode može doći do kemijskih reakcija. Nakon tretmana cvjetača je zadržala čvrstoću i aromu.

Isti tretman proveden je na špinatu. Nakon tretmana, u uzorku špinata došlo je do promjene parenhimskog tkiva što je rezultiralo gubitkom hranjivih tvari. Zaključno, provedeno istraživanje dokazuje da je špinat osjetljiviji na djelovanje visokog tlaka od celera koji ima čvršću staničnu strukturu (Pretsamo i Arroyo, 1998).



**Slika 4.** Cvjetača (Anonymus, 2018)



**Slika 5.** Špinat (Anonymus, 2014)

Na pigmente visoki tlak značajno ne utječe, dok do promjene boje dolazi nakon primijenjenog tretmana visokim tlakom kod namirnica bogatih proteinima i ugljikohidratima.

Primjenom visokog tlaka dolazi do aktivacije enzima koji daljnjim reakcijama potiču oslobađanje melanoida čime dolazi do promjene boje same namirnice (Ahmed i Ramaswamy, 2006).

Kaša jabuke Granny Smith podvrgnuta je visokim tlakovima tijekom te skladištena tri tjedna u hladnjaku pri temperaturi od 5°C. Rezultati su pokazali da se ukupni sadržaj vitamina C i askorbinske kiseline nije se promijenio pri primjeni tlaka od 400 MPa (Landl i sur., 2010).

Sljedeće ispitivanje provedeno je na svježoj mrkvi, zelenog graška i brokuli. Od svake namirnice korištena su tri uzorka, pri čemu su dva bila izložena tlaku od 600 MPa odnosno 400 MPa, a treći uzorak nije tretiran visokim tlakom. Uzorci su skladišteni na temperaturi 4°C kroz 24 sata. Uzorci su sitno sjeckani te je provedena analiza.

Dokazana je gotovo 10 puta veća koncentracija karotena u mrkvi nego u brokuli, dok se razina luteina u zelenom grašku i brokuli bitno ne razlikuje. Uzorci mrkve i brokule nakon provedenog tretmana visokim tlakom nisu imali znatno promijenjen sadržaj karotena. Međutim, prerada graška sa 600 MPa rezultirala je značajnim povećanjem dostupnosti luteina u usporedbi s ne tretiranim uzorkom i uzorkom obrađenim tlakom od 400 MPa. Uništavanje staničnih struktura u grahu tijekom izloženosti visokom pritisku olakšala je oslobađanje luteina. Mrkva i brokula znatno su čvršće teksture od graška te bi se primjenom većih tlakova moglo utjecati na povećanje otpuštanja iz stanične strukture (McInerney i sur., 2007).

Tretmani visokim tlakom na zelenu i crvenu papriku (100 i 200 MPa u trajanju od 10 i 20 min) uzrokovao je niže smanjenje sadržaja topljivih proteina i askorbinske kiseline, nego termičko blanširanje, posebno za crvene paprike koje su pokazale čak i porast koncentracije askorbinske kiseline. Zelena i crvena paprika tretirana visokim tlakom nije se puno razlikovala u aktivnosti polifenol oksidaze od termički blanširanih paprika, dok je peroksidaza bila stabilnija nakon tretmana visokim tlakom nego nakon blanširanja.

Paprike tretirane visokim pritiskom pokazuju bolje parametre kvalitete, ukazujući na moguću upotrebu tretmana visokim tlakom kao alternativa konvencionalnom termičkom blanširanju crvene i zelene paprike. Kako bi se poboljšala metoda primjene visokog tlaka na paprikama potrebna su daljnja istraživanja s ciljem smanjenja mikrobne populacije i aktivnosti enzima (Castro i sur., 2008).

### 3. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme potrošači traže nove gotove proizvode koji održavaju karakteristike svježih namirnica. Stoga je došlo do razvoja novih metoda koje zamjenjuju termičke metode obrade. Među novim netermičkim metodama je primjena visokog hidrostatskog tlaka.

Prednosti primjene visokog tlaka su skraćivanje vremena tretiranja, ravnomjerna obrada namirnice pri čemu ne dolazi do promjena kovalentnih veza te sastavne komponente namirnice uglavnom ostaju sačuvane. Nakon procesa obrade nema otpadnih produkata te je potrošnja energije manja što je ekonomski vrlo prihvatljivo.

Međutim, bakterijske spore pokazale su neosjetljivost na djelovanje visokoga tlaka. Također, zbog staničnog oštećenja uzrokovanog visokim tlakom dolazi do aktiviranja enzima i neželjenih reakcija posmeđivanja. Boja je prvo što potrošač primjećuje te bi se buduća istraživanja trebala usredotočiti na inaktivaciju enzima u voću i povrću bez toplinske obrade.

Nedovoljna istraženost učinka visokog tlaka na određene komponente u namirnicama, jedan je od razloga zašto tehnika nije pronašla sto postotnu primjenu u prehrambenoj industriji.

Potencijal u daljnjem istraživanju je povećanje trajnosti namirnica uz inaktivaciju enzima i mikroorganizama koji su odgovorni za kvarenje te omogućiti što bolje očuvanje boje, arome i nutritivne vrijednosti namirnica.

## 4. LITERATURA

1. Anonymus 2013. < <https://biochemchronicles.wordpress.com/2013/04/14/enzymatic-browning/> > Pristupljeno 10.09.2019.
2. Anonymus 2014. < <http://www.ljekovite-biljke.hr/ljekovite-biljke/spinat/> > Pristupljeno 11.09.2019.
3. Anonymus 2016. < <https://produceprocessing.net/news/apio-expands-breatheway-packaging-technology/vegetable-party-tray/> > Pristupljeno 11.09.2019.
4. Anonymus 2018. < <https://foodprocessinghub.pbf.hr/visoki-hidrostatski-tlak/> > Pristupljeno 10.09.2019.
5. Anonymus 2018. < <https://www.health.harvard.edu/heart-health/vegetable-of-the-month-cauliflower> > Pristupljeno 11.09.2019.
6. Ahmed J., Ramaswamy H. S. (2006) Changes in colour during high pressure processing of fruits and vegetables
7. Ahvenainen, R. (2000) Ready to use Fruit and Vegetables: This Technical Manual was Prepared for Flair-Flow Europe by. Teagasc, The National Food Centre, Dublin. str. 6 - 29.
8. Alzamora M.S., Tapia S. M., Lopez-Malo A. (2000) Minimally processed fruits and vegetables, 1 Ed., str. 277 – 286.
9. Artes, F., Castaner, M., Gil, M. I. (1998) Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables. *Food Science and Technology International* **4**: 377 – 389.

10. Arroyo G., Sanz PD., Prestamo G. (1997) Effect of high pressure on the reduction of microbial populations in vegetables. *Journal of Applied Microbiology* **82**: 735 – 742.
11. Bosiljkov T., Tripalo B., Ježek D., Brnčić M., Karlović, S. (2010) Princip rada i primjena visokih tlakova u prehrambenoj industriji, *Kemija u industriji* **59**: 539 - 545.
12. Cano M.P., Hernandez A., De Ancos B. (1997) High Pressure and Temperature Effects on Enzyme Inactivation in Strawberry and Orange Products. *Journal of Food Science* **62**: 85 – 88.
13. Francis G.A., O'Beirne D. (2003) Effects of gas atmosphere, antimicrobial dip and temperature on the fate of *Listeria innocua* and *Listeria monocytogenes* on minimally processed lettuce. *International Journal of Food, Science and Technology* **32**: 141 -151.
14. Ghalavand R., Nikmaram N., Kamani M.H. (2015) The Effects of High Pressure Process on Food Microorganisms. *International Journal of Farming and Allied Sciences* **4**: 505 - 509.
15. Herceg Z. (2011) Procesi u prehrambenoj industriji, Zagreb, Plejada. str. 17 – 20.
16. Hesham A.E. , Hoda H.M.F., Ibrahim G.E., Hassan I.M., Abd Eralshid A. (2006) Thiols containing compounds as controlling agents of enzymatic browning in some apple products. *Food Research International* **39**: 855 - 863.
17. Ihl M., Aravena L., Scheuermann E., Uquiche E., Bifani V. (2003) Effect of immersion solutions on shelf-life of minimally processed lettuce. *International Journal of Food, Science and Technology* **36**: 591 - 599.



18. Jongen W. (2002) Fruit and Vegetables Processing, Woodhead Publishing in Food Science and Technology, 1st Ed., str. 288 – 324.
19. Knorr D., Froehling A., Jaeger H., Reineke K., Schuleter O., Schoessler K. (2011) Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology* **2**: 203 - 235.
20. Krešić G., Lelas V., Režek Jambrak A., Herceg Z., (2011) Primjena visokog tlaka u postupcima obrade hrane. *Kemija u industriji: Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske* **60**: 11 – 19.
21. Landl A., Abadias M., Sarraga C., Vinas I., Picouet P. A. (2010) Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **11**: 557 – 564.
22. Lovrić T., (2003) Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva, Hinus, str. 55-59, 235-238, 271-274.
23. McInerney J. K., Seccafien C. A., Stewart C. M., Bird A. R. (2007) Effects of high pressure processing on antioxidant activity, and total carotenoid content and availability, in vegetables. *Innovative food science & emerging technologies* **8**: 543 – 548.
24. Michel M., Autio K. (2001) Effects of High Pressure on Protein-and Polysaccharide-Based Structures. In: Hendrickx M.E.G., Knorr D., Ludikhuyze L., Van Loey A., Heinz V. (eds) Ultra High Pressure Treatments of Foods. Food Engineering Series. Springer, Boston, MA.

25. Ohlsson T., Bengtsson N., (2002) Minimal processing Technologies in the Food Industries, 1st Ed., Woodhead Publishing in Food Science and Technology. str. 219 – 233.
26. P. Butz, R. Edenharder, A. Fernandez Garcia, H. Fister, C. Merkel and B. Tauscher (2002) Changes in Functional Properties of Vegetables Induced by High Pressure Treatment. *Food Research Institute Studies* **35**: 295 - 300.
27. Prestamo G., Arroyo G. (1998) High hydrostatic pressure effects on vegetable structure. *Journal of Food Science* **63**: 878 – 881.
28. Silva E.O., Rocha Bastos M.S., Wurlitzer N.J., Barros Z.J., Mangan F. (2016) Minimal Processing Fruits and Vegetables. *Advances in Fruit processing technologies* **8**: 217-228.

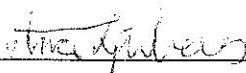


Zadnja stranica završnog rada

(uključiti u konačnu verziju završnog rada u pdf formatu, kao skeniranu potpisanu stranicu)

## Izjava o izvornosti

*Izjavljujem da je ovaj završni 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