

# Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka na mehanička svojstva i boju mesa

---

Levak, Monika

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

*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:159:298981>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Monika Levak**

6267/PT

**UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA  
MEHANIČKA SVOJSTVA I BOJU MESA**  
**ZAVRŠNI RAD**

**Modul: Inženjerstvo**

**Mentor: prof. dr. sc. Damir Ježek**

Zagreb, 2016.

## DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Zavod za procesno inženjerstvo

Laboratorij za tehnološke operacije

### UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA MEHANIČKA SVOJSTVA I BOJU MESA

Monika Levak 6267/PT

**Sažetak:** Tretiranje visokim hidrostatskim tlakom može utjecati na konformaciju proteina u mesu i izazvati denaturaciju proteina, agregaciju i geliranje. Obrada HHP-om izaziva promjene na proteinima mesa zbog pucanja nekovalentnih interakcija unutar molekula proteina i dolazi do reformiranja intra- i inter-molekulskih veza unutar ili između molekula proteina. Ovisno o proteinima mesa, tlak, temperatura i trajanje obrade visokim tlakom meso mogu učiniti mekšim ili tvrdim. HHP se koristi za eliminaciju patogenih mikroorganizama, produljuje životni vijek namirnice, održava visoku senzorsku kakvoću i poboljšava sigurnost komercijalno proizvedenih mesnih prerađevina. Ipak, HHP ima mali utjecaj na tvrdoću vezivnog tkiva. Eksperimentalna analiza se provodila na 350 i 550 MPa.

**Ključne riječi:** visoki hidrostatski tlak, nekovalentne interakcije, meso

**Rad sadrži:**

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** prof. dr. sc. Damir Ježek, redoviti profesor

**Pomoć pri izradi:** Dr. sc. Sven Karlović, viši asistent, ing. Goran Bosanac, viši tehnički suradnik, Darjan Pipić, tehnički suradnik

**Rad predan:** Rujan, 2016.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

BSC thesis

**University of Zagreb**  
**Faculty of Food Technology and Biotechnology**  
**Undergraduate study Food Technology**  
**Department of Process Engineering**  
**Laboratory for Unit Operations**

### **INFLUENCE OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE ON MECHANICAL PROPERTIES AND MEAT COLOUR**

**Monika Levak 6267/PT**

**Abstract:** High hydrostatic pressure (HHP) treatment can influence meat protein conformation and induce protein denaturation, aggregation and gelation. The means whereby HHP treatment exerts effects on meat protein structure change are due to the rupture of noncovalent interactions within protein molecules, and to the subsequent re-formation of intra- and inter-molecular bonds within or among protein molecules. Depending upon the meat protein system, the pressure, the temperature, and the duration of the pressure treatment, meat can be either tenderized or toughened. HHP is being used to eliminate pathogenic microorganisms, extend shelf-life, maintain higher sensory quality, and improve the safety of commercial processed meat products. However, HHP has little effect on the toughness of connective tissue. Experimental analysis was conducted on 350 and 550 MPa.

**Keywords:** high hydrostatic pressure, noncovalent interactions, meat

**Thesis contain:**

**Original in:** Croatian

**Final work in printed and electronic (pdf format) version deposited in:** Library of Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** PhD Damir Ježek, Full Professor

**Technical support and assistance:** PhD.Sven Karlović, Scientific Assistant, Eng. Goran Bosanac, Technical Associate, Darjan Pipić, Technical Associate

**Thesis delivered:** September, 2016.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
2.1. Meso .....	2
2.2. Visoki hidrostatski tlak.....	3
2.3. Kolorimetrija .....	5
2.4. Tekstura .....	7
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	9
3.1. Materijal .....	9
3.1.1. Meso .....	9
3.2. Metode rada .....	9
3.2.1. Postupak obrade visokim hidrostatskim tlakom .....	9
3.2.2. Analiza teksture .....	10
3.2.3. Analiza boje .....	11
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	13
4.1. Tekstura .....	13
4.2. Boja .....	16
5. ZAKLJUČAK.....	18
6. LITERATURA.....	19

## **1. UVOD**

Upotrebu tlaka u smanjenju mikrobnog rasta u hrani otkrio je Hite još 1899.godine (Myers, 2012). Međutim, neka istraživanja su objavljena tek 1970.godina zbog tehničkih poteškoća i troškova povezanih s jedinicama za obradu po visokim hidrostatskim tlakom te materijalom za ambalažu (Dong Sun i Holley, 2010). Danas postoji značajan interes u razumijevanju utjecaja visokog hidrostatskog tlaka na hranu i njene sastojke. Svrha tretiranja visokim tlakom je produljenje roka trajanja namirnice i minimalni rizik od stvaranja patogenih mikroorganizama (Myers, 2012). Određeni mesni proizvodi tretirani visokim hidrostatskim tlakom se već nalaze na policama supermarketa. Visoki tlak (viši od 1000 MPa) može utjecati na konformaciju proteina te dovesti do denaturacije, sakupljanja i geliranja. Ishod ovisi o osjetljivosti proteina, o primjenjenom tlaku i temperaturi te o trajanju obrade visokim tlakom. Tretiranje hrane visokim tlakom se koristi da bi se kreirali proizvodi izražene teksture bez termičkih degradacija ili za dobivanje proizvoda s minimalnim utjecajem okus, boju i nutritivnu vrijednost (Dong Sun i Holley, 2010). Istraživanja su pokazala da tretiranje tlakom može izazvati promjene u strukturi mesa i teksturi. Od svih sastavnih dijelova hrane, mišići i proteini mišića su vjerojatno najosjetljiviji na pritisak. To je zbog relativno visoke osjetljivosti mišićnih gliolitičkih procesa na tlak i povezanosti između miofibrilarnih proteina. Tretiranje visokim hidrostatskim tlakom se koristi za eliminaciju patogenih mikroorganizama, za produženje roka trajanja, održavanje visoke osjetne kvalitete te poboljšanje sigurnosti procesiranih mesnih proizvoda. Međutim, HHP (High Hydrostatic Pressure) metoda može pokrenuti lipidnu oksidaciju i izazvati promjene u boji crvenog mesa (Dong Sun i Holley, 2010). I dalje se raspravlja o utjecaju visokog tlaka na teksturu mesa i senzorske karakteristike kao i o ograničenju tehnologije.

## **2. TEORIJSKI DIO**



## 2.1. Meso

Meso je životinjska namirnica dobivena klanjem goveda, svinja, ovaca, koza, konja, magaraca, mula, mazgi, kokoši, pura, gusaka, pataka, biserki, domaćih golubova, kunića, nojeva, te odstrjelom ili klanjem divljači. U užem smislu meso je mišićje životinja za klanje i divljači s uraštenim kostima, hrskavicama, masnim tkivom, limfnim žlijezdama i limfnim i krvnim žilama i živcima. U širem smislu meso su i drugi jestivi dijelovi životinje: iznutrice, masno tkivo i krv. Meso je najbogatiji izvor bjelančevina u prehrani ljudi. Sadrži u dovoljnoj količini i povoljnim omjerima sve aminokiseline potrebne za izgradnju bjelančevina u organizmu čovjeka. Radi toga se bjelančevine mesa (uz bjelančevine mlijeka i jaja) smatraju nutricionistički najvrjednijim bjelančevinama. Kakvoća svježeg mesa za tržište i za mesne prerađevine, određena je, prije svega, vrstom i tipom životinja, njihovom starošću, uhranjenošću i dijelovima trupla. Kakvoća svježeg mesa i jestivih dijelova određuje se na osnovi senzoričkih i laboratorijskih ispitivanja. Kemijski sastav mesa nam daje osnovne informacije o kakvoći mesa u smislu prehrambene vrijednosti. Njega određuju količina vode, masti, bjelančevina, ugljikohidrata vitamina i minerala. Masnoće u mesu imaju veliki značaj kao izvor kalorija te određuju važne značajke mesa poput okusa, sočnosti i mirisa. Prehrambena vrijednost i kulinarsko-preradbena svojstva mesa mijenjaju se tokom njegova zrenja (autolize), koja obuhvaća postmortalne fizikalno-kemijske, biokemijske, histološke, histokemijske i organoleptičke promjene. U tom razdoblju enzimi (osobito hidrolaze i fosforilaze) pretvaraju mišićje u meso, pa početna tvrda konzistencija mišića postaje sve mekša, probavljivost mesa raste, vrijednost pH smanjuje se sa 7 (neutralno) na 5,6 do 5,9, a osjetilne osobine postaju sve izraženije. Zrenje se odvija u 4 faze: faza mrtvačke ukočenosti (*rigor mortis*), glikoliza, proteoliza i lipoliza, a može se ubrzati s pomoću različitih pripravaka (tzv. omekšivača), na bazi proteolitičkih enzima biljnog, mikrobnog i životinjskog porijekla. Konzerviranjem mesa (hlađenjem, smrzavanjem, dimljenjem, termičkim postupcima, dehidracijom, kemijskim sredstvima, ionizirajućim i ultraljubičastim zračenjem) sprječava se njegovo kvarenje, odnosno produžuje se njegova održivost stvaranjem nepovoljnih uvjeta za rast i razmnožavanje mikroorganizama te njihovim uništavanjem.

## 2.2. Visoki hidrostatski tlak

Visoki hidrostatski tlak je metoda prerade hrane s visokim potencijalom da se zadovolje svi zahtjevi koje nameću trendovi razvoja u prehrambenoj industriji. To je metoda koja podrazumijeva podvrgavanje tekuće ili čvrste namirnice tlakovima između 100 i 800 MPa (1200 MPa) pa je moguće reducirati ili potpuno ukloniti mikroorganizme uz minimalan utjecaj na organoleptička i nutritivna svojstva prehrambenog proizvoda koji se obrađuje. Temperatura obrade može se kretati od ispod 0°C do iznad 100°C, a vrijeme izloženosti djelovanju tlaka može varirati od nekoliko sekundi do preko 20 minuta (Krešić i suradnici, 2011). Primjena visokog hidrostatskog tlaka u proizvodnji hrane javlja se tek 1970. godine, a prvi proizvod tretiran visokim tlakom je voćni žele proizveden u Japanu 1990. godine. Korištenje visokog tlaka nudi mnoge prednosti prehrambenoj tehnologiji u odnosu na klasično termičko tretiranje ili zamrzavanje. Osnovne prednosti su :

- Postizanje antimikrobnog učinka bez promjene senzorskih i nutritivnih značajki
- Značajno skraćivanje termičkog tretiranja koje slijedi nakon tretiranja HHP-om
- Ravnomjerna i brza obrada namirnice pod djelovanjem tlaka
- Kod zamrzavanja se zadržava postojeća struktura namirnice (Lelas, 2006)

Namirnica koja se tretira visokim hidrostatskim tlakom se uranja u spremnik u koji se upumpava tekući medij putem kojeg se ostvaruje hidrostatsko tlačenje od 1 do nekoliko minuta. Tijekom postupka prerade tlak se ujednačeno prenosi kroz cijeli volumen proizvoda zbog čega vrijeme obrade ne ovisi o obliku i dimenzijama proizvoda. Rad kompresije tijekom obrade odražava se povišenjem temperature adijabatskim zagrijavanjem za oko 3°C za svakih 100 MPa (Lelas, 2006). Temperatura proizvoda se snižuje na početnu temperaturu nakon dekompresije i na taj način namirnica je kratko vrijeme izložena visokim temperaturama koje ne utječu značajno na njena svojstva.

Utjecaj visokog tlaka se temelji na Le Chatelierovom načelu smanjenja radnog obujma kako se tlak povećava (Bosiljkov i sur., 2010). Obrada visokim hidrostatskim tlakom ne utječe na razaranje kovalentnih veza, ali može utjecati na ionske, vodikove i hidrofobne veze. Zbog toga utječe na sastojke hrane s većom molekulskom masom (lipidi, polisaharidi, bjelančevine) kod kojih nekovalentne veze sudjeluju u održavanju tercijarne strukture povezane s funkcionalnim svojstvima tih molekula. Kod bjelančevina dolazi do najznačajnije promjene

funkcionalnih svojstava jer zbog visokih tlakova dolazi do promjene konformacija odnosno denaturacije, a samim time do gubitka sposobnosti vezanja vode, želiranja, pjenjenja i dr. Značajan utjecaj visokih tlakova na sastojke mesa je na proteinima, mastima, enzimima i vodi (Bosiljkov i sur., 2010). Kod proteina dolazi do promjene molekularne strukture i agregacije s drugim proteinima u hrani pri čemu se mijenjaju tekstura i viskoznost hrane. Proteini mesa želiraju te nastali gelovi zadržavaju prirodnu aromu i boju. Utjecaj visokog tlaka na lipide rezultira oksidacijom slobodnih masnih kiselina i povišenjem tališta. Pri tlaku od 600 MPa i temperaturi 22°C udio vode u namirnici se smanjuje za 15 %. Dio gubitka se ostvaruje za savladavanje otpora koji pruža plastična vakuumska ambalaža. Smanjenjem pH za 0,73 moguće je izazvati reverzibilnu disocijaciju vode uzrokovane visokim tlakovima kada se tlak poveća 0,1-100 MPa. Tijekom primjene visokih tlakova primarna i sekundarna struktura ostaju nepromijenjene, dok se tercijarna i kvartarna struktura proteinskih lanaca mijenja pod utjecajem tlakova viših od 100 MPa.

Otpornost mikroorganizama primjenom visokih tlakova proučavana je na mesu, mlijeku, voću, povrću i voćnim sokovima. Kvaliteta mikrobiološke obrade ponajprije ovisi o primijenjenoj temperaturi, tlaku, trajanju obrade, vrsti mikroorganizama i uvjetima okoliša u kojima se razmnožava promatrani mikroorganizam (Bosiljkov i sur., 2010). Temperatura je jedan od ključnih faktora inaktivacije. Iz tog razloga je važno postavljanje temperaturnih senzora koji će u svakom trenutku pokazati temperaturu unutar namirnice koja se obrađuje. Gram-negativne bakterije poput *Pseudomonas*, *Salmonella* i dr. pokazuju manju otpornost na utjecaj visokih tlakova od gram-pozitivnih bakterija kao što su *Listeria monocytogenes* i *Staphylococcus aureus*. Spore za razliku od vegetativnih stanica pokazuju puno veću otpornost na visoke tlakove. Vegetativne stanice se inaktiviraju pri tlaku 400-600 MPa i temperaturi od 23°C dok se za inaktivaciju spora koriste temperature veće od 70°C i tlakovi do 1000 MPa. Neke vrste parazita kao što je *Trichinella spiralis* se mogu vrlo uspješno inaktivirati za razliku od virusa čija je mogućnost inaktivacije visokim tlakovima ograničena. Izloženost utjecaju visokog tlaka 400-600 MPa u vremenskom intervalu do 5 minuta pokazala se kao vrlo učinkovita vrijednost za inaktivaciju širokog spektra parazita i mikroorganizama čiji štetni utjecaj ima najizraženiji učinak na kvarenje namirnica.

Tablica 1: Utjecaj djelovanja visokog hidrostatskog tlaka na neke mikroorganizme (Lelas, 2006.)

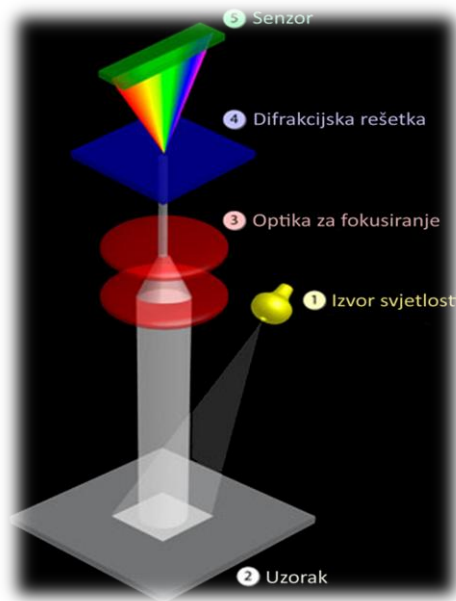
Mikroorganizam Microorganism	Tlak Pressure (Mpa)	Vrijeme tretiranja Time (min.)	Broj decimalnih redukcija Decimal reduction	Medij Media
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	300	5	5	Sok mandarine
<i>Aspergillus awamori</i>	300	5	5	Sok mandarine
<i>Listeria innocua</i>	360	5	1	Mljeveno juneće meso
<i>Listeria monocytogenes</i>	350	10	4	Fosfatni pufer soli
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	172	10	2,5	Fosfatni pufer soli
<i>Salmonella typhimurium</i>	345	10	1,8	Fosfatni pufer
Ukupni broj kolonija Total CFU	340	5	1,9	Svježi ananas

### 2.3. Kolorimetrija

Kolorimetrija je znanost koja se bavi brojčanim opisom boja, te omogućuje podudaranje boja upotrebom raznih mjernih uređaja. Tehnike koje se baziraju na interakciji elektromagnetskog zračenja i tvari su spektrofotometrija i kolorimetrija. Izvršene analize su kvantitativna analiza elektromagnetskog spektra. Poklapanje očigledne boje objekata iako imaju različite spektralne distribucije naziva se metamerizam, a boje koje se na taj način poklapaju su metameri. Ljudsko oko pod dnevnim svjetlom vidi 4 iste boje iako su im spektri različiti. Drugačije osvjetljenje adira svoj spektar postojećim te razlike u boji postaju vidljive. Uređaj koji se koristi za određivanje boje uzoraka naziva se kolorimetar. Uređaj se sastoji od senzora i procesora za obradu podataka. Izolira široki pojas valnih duljina (intervali po 5 nm) koristeći tristimulus (XYZ, L\*,a\* i b\* i dr.) apsorpcijski spektar. Odličan je za rutinske usporedbe sličnih boja.

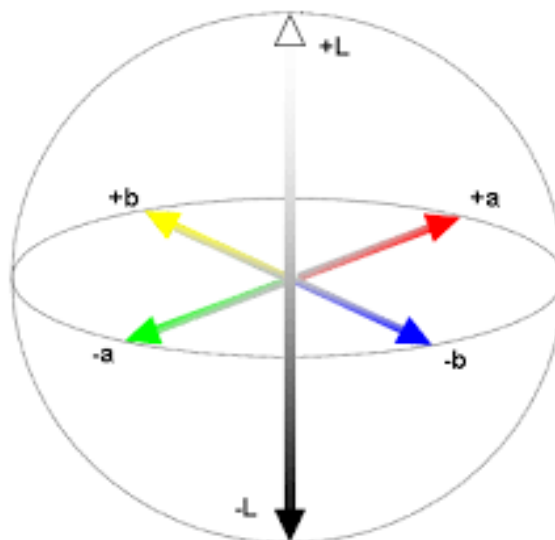
## Princip rada

Na podložak iznad izvora svjetlosti se postavlja ispitivani uzorak koji apsorbira dio svjetla, dok se ostatak reflektira i kroz optiku dolazi do senzora. Procesor obrađuje dobivene podatke, te dobivamo podatak o reflektanciji u Lab sustavu.



Slika 1. Prikaz očitavanja reflektancije (PBF)

Uzorak se stavlja u kivetu i koja se postavlja unutar uređaja. Svjetlost iz izvora prolazi kroz uzorak do senzora. Senzor mjeri karakteristike dijela spektra koji je prošao kroz uzorak i time dobivamo transmitanciju u  $L^*a^*b^*$  sustavu (primjenjuje se za aproksimaciju ljudskog vida).



Slika 2. Shematski dijagram CIELAB sustava izražavanja boje (PBF)

## 2.4. Tekstura

Teksturalna svojstva se ubrajaju u fizikalna svojstva namirnica te uključuju niz parametara kao što su tvrdoća, čvrstoća, žilavost, duktilnost i dr. Tekstura ima važnu ulogu kod potrošača, ali nakon što se namirnica konzumira, te kao parametar senzorske kvalitete utječe na oslobađanje okusa koje je povezano s početnom strukturom i promjenom strukture tijekom žvakanja odnosno mehaničkim svojstvima namirnica (Brnčić i sur., 2006). Instrumentalno određivanje teksturalnih svojstava hrane se provodi pomoću različitih specifičnih mjernih uređaja koji oponašaju uvjete žvakanja, čiji odabir ovisi o strukturnim svojstvima hrane i o ciljanom svojstvu teksture. Mjerni instrumenti koji koriste silu podijeljeni su u skupine s obzirom na metodu mjerenja kao što su ubod, ekstruzija, kompresija, rezanje, itd. Temeljne varijable koje se koriste kod mehaničkih svojstava namirnica su sila  $F$ , deformacija  $D$  i vrijeme (Planinić, 2008).

### Osnovni parametri teksture

#### 1. Čvrstoća

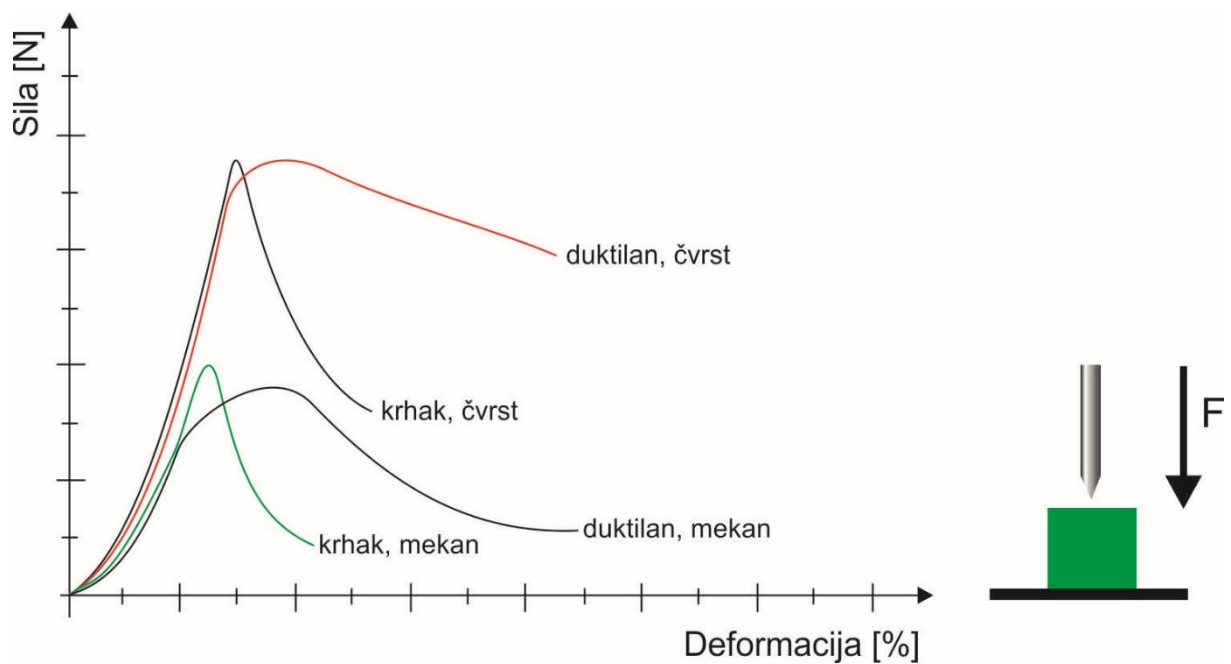
Linijska deformacija vezana je uz promjenu neke dužine na čvrstom tijelu. To je promjena oblika ili veličine jedne od dimenzija materijala nakon što se podvrgne pomicanju, između početne konfiguracije (pri vremenu  $t=0$ ) i trenutne konfiguracije. Kod istezanja dolazi do produljenja neke dužine, čime je takva deformacija pozitivna. Inženjerski stres se definira kao omjer sile koja se primjenjuje i početne površine materijala. Primjenom dovoljno velikog stresa dolazi do pucanja materijala, čime se dobiva iznos čvrstoće. Ona osim o svojstvima samog ispitivanog materijala, ovisi i o temperaturi, trajanju ispitivanja (kratkotrajno ili dugotrajno dosezanje do maksimalne sile), promjenjivost u vremenu (statička ili dinamička) i drugim faktorima.

#### 2. Tvrdoća

Tvrdoća predstavlja otpor površine materijala prema prodiranju tvrdog objekta. Po takvoj definiciji tvrdoća ovisi o kontekstu, te može predstavljati i otpor na grebanje ili prodiranje, kao i kvalitativnu mjeru čvrstoće materijala (Askeland i Fulay, 2009). Tvrdoća ovisi o duktilnosti, elastičnosti, čvrstoći, viskoznosti i drugim mehaničkim parametrima materijala.

### 3. Žilavost i duktilnost

Sposobnost prehrambenih materijala da se plastično deformiraju naziva se duktilnost. Sušenjem ili drugim postupcima uklanjanja vode iz materijala duktilnost se smanjuje, te materijali postaju krhki i lako pucaju. Žilavost je izravno povezana s duktilnosti, te se kod instrumentalne analize teksture računa kao površina ispod krivulje na grafu sila-put, odnosno sila-deformacija.



Slika 3. Definiranje nekih svojstava materijala na temelju teksturne krivulje Karlović

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**



## 3.1. Materijal

### 3.1.1. Meso

Za istraživanje je korišten PIK hamburger u pakiranju od 350 grama proizvođača PIK VRBOVEC-MESNA INDUSTRIJA d.d.



Slika 4. PIK hamburger u pakiranju od 350 grama

## 3.2. Metode rada

### 3.2.1. Postupak obrade visokim hidrostatskim tlakom

Uređaj koji se koristi za tretiranje namirnice visokim tlakom se sastoji od spremnika za tretiranje, uređaja za generiranje tlaka i kontrolne jedinice. U laboratoriju se koristi diskontinuirani sustav gdje se cilindar ručno puni namirnicom. Namirnica u ambalaži se ubacuje u cilindar volumena 2L koji je ispunjen smjesom polipropilen-glikola i vode. Dolazi do tlačenja tekućine unutar cilindra. Tlak se održava kroz određeni vremenski period te se snižava na atmosferski. Namirnica se tretirala na tlaku od 350MPa i 550MPa na 0,3,6 i 9 minuta. Nakon provedenog postupka namirnica se vadi iz cilindra i odlazi na daljnju analizu. Temperatura uzoraka i tlačne tekućine bila je 22 °C.

### 3.2.2. Analiza teksture

Analiza teksture mesa provedena je na instrumentalnom analizatoru teksture TA.HDPlus (Stable Micro Systems, Velika Britanija). Analizator teksture opremljen je utegom i predviđen za maksimalno opterećenje od 25 kg. Na uređaj je instalirana čelična sonda cilindričnog oblika s ravnim dnom, promjera 6 mm. Prije instrumentalne analize teksturnih parametara podešena je dubina prodiranja na 40 mm uz brzinu prodiranja sonde od 2 mm/s. Uzorak je zatim postavljen na postolje gdje je došlo do prodiranja sonde u uzorak PIK hamburgera. Instrumentom je mjeren jedan puni TPA (Texture Profile Analysis, analiza teksturnog profila) ciklus, te su kao rezultat dobivene vrijednosti sile potrebne za prodiranje sonde u uzorak i vrijednosti sile potrebne za izvlačenje sonde iz uzorka za svakih 0,0001 s. Na temelju dobivenih rezultata iz grafa ovisnosti sile primijenjene za prodiranje u uzorak i prijeđenog puta sonde, tvrdoća je izračunata kao maksimalna sila postignuta prilikom prodiranja sonde u uzorak. Iako se kod analize teksture prehrambenih proizvoda češće izražava u kg, što je posljedica povezanosti s organoleptičkom analizom, jedinica za tvrdoću koja se koristila u istraživanju je N (njutn). Elastičnost je računata kao udaljenost koju je sonda prešla od početka prodiranja do lomljenja uzorka, te se izražava u mm. Za dobivanje vrijednosti adhezivnosti uzoraka mjerila se površina iznad krivulje ovisnosti sile o putu, nastale tijekom izvlačenja sonde iz samog uzorka.



Slika 5. Analizator teksture TA.HDPlus (Stable Micro Systems, Velika Britanija)

### 3.2.3. Analiza boje

Analiziranje boje uzoraka vršilo se difuzno reflektirajućom spektrofotometrijom na kolorimetru CM-3500d (Konica-Minolta, Japan) pri čemu je odabrana maska otvora 8 mm kao optimalna s obzirom na veličinu uzorka. Pulsirajuća ksenon lampa koja je dizajnirana da daje standardni difuzni izvor svjetla D65 (Blum, 1997) korištena je kao izvor svjetla. Neovisno o valnoj duljini svjetlo reflektirano od uzorka se sakuplja u integrirajućoj sferi te se normalizira prema svjetlu izvora reflektancije. Prije svakog seta mjerenja uređaj se kalibrirao s čisto bijelim standardom (100%-tna refleksija) te crnim valjkom (0%-tna refleksija). U programu Spectramagic NX (Konica-Minolta, Japan) su se podesile sve potrebne postavke. Izabrana geometrija je bila d/8 kod koje se površina uzorka promatra pod kutom od 8° u odnosu na njezinu normalu. Širina zrake koja se promatra iznosi 7,4°. Tako postavljena geometrija je u skladu s CIE standardom difuzne iluminacije i kuta gledanja od 0°, uz područje mjerenja od 400 do 700 nm koje odgovara vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra (CIE, 1996). Sva mjerenja su vršena u SCE (Specular Component Excluded) modu. Uzorak koji se ispitivao se postavio tako da prekriva cijeli otvor te se poklopio s valjkom crne boje. Kao rezultat dobivena je reflektancija uzorka u čitavom području vidljivog spektra, te  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti. Na temelju rezultata računa se  $\Delta E$  po formuli:

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

- $L^*$  - svjetlina boje ispitivanog uzorka u  $L^*a^*b^*$  sustavu
- $a^*$  - parametar boje ispitivanog uzorka
- $b^*$  - parametar boje ispitivanog uzorka
- $L_{ref}^*$  - svjetlina boje referentnog uzorka
- $a_{ref}^*$  - parametar boje referentnog uzorka
- $b_{ref}^*$  - parametar boje referentnog uzorka



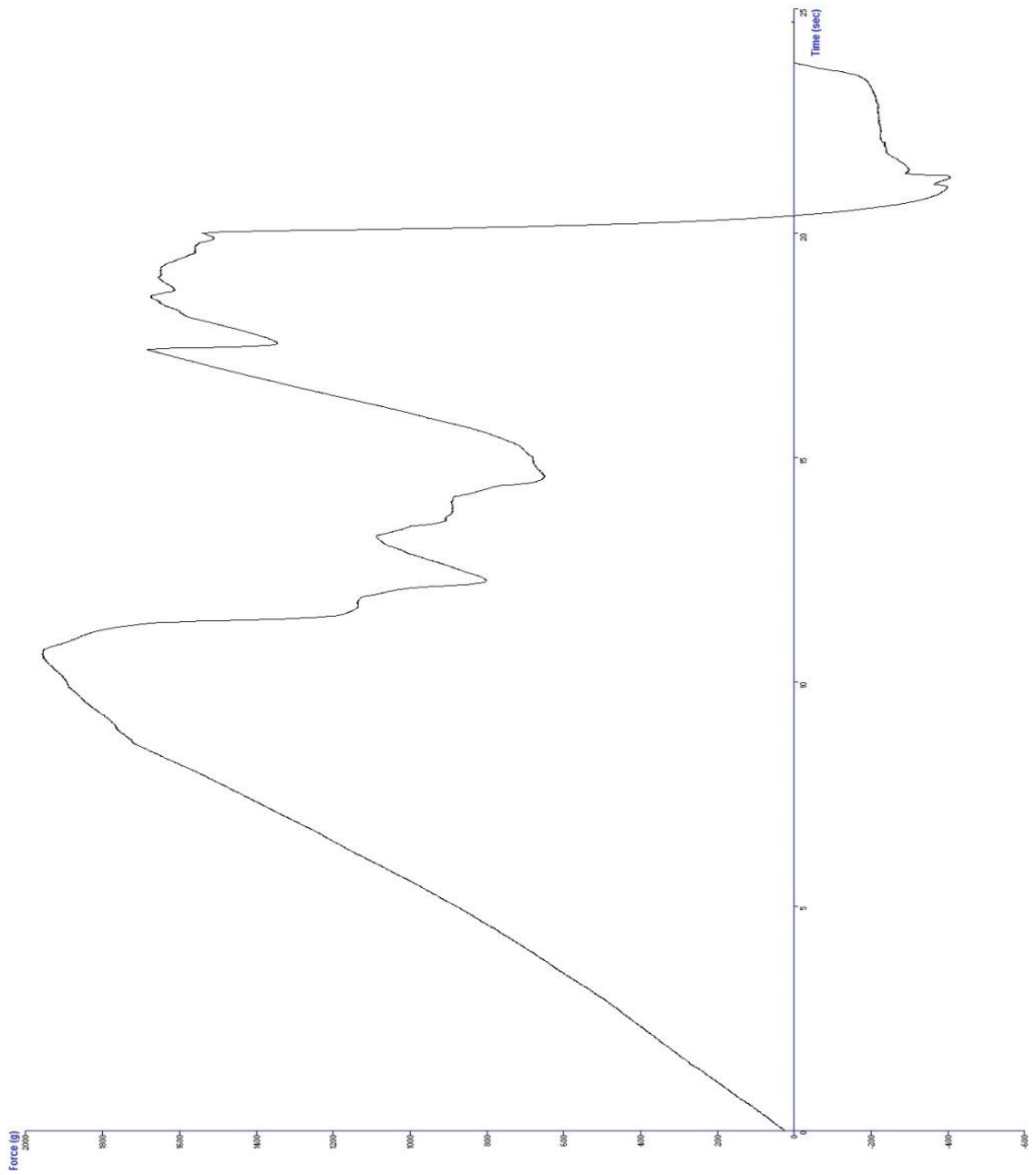
Slika 6. Uređaj za analizu boje CM-3500d (Konica-Minolta,Japan)

## **4. REZULTATI I RASPRAVA**

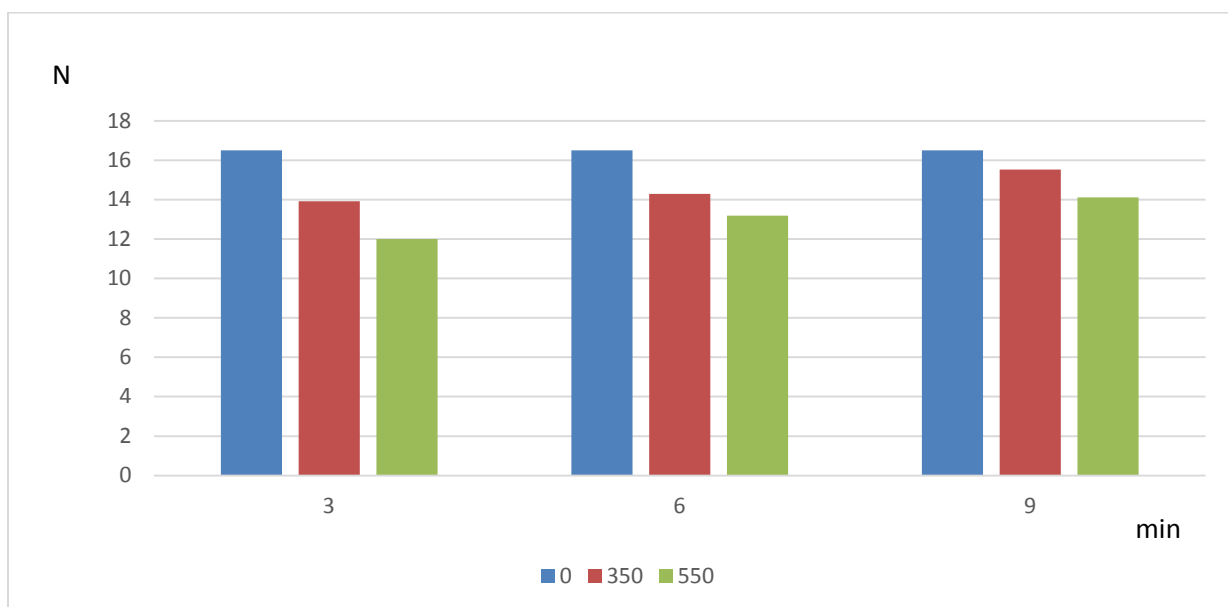
## 4.1. Tekstura

Tablica 2. Eksperimentalni rezultati teksture

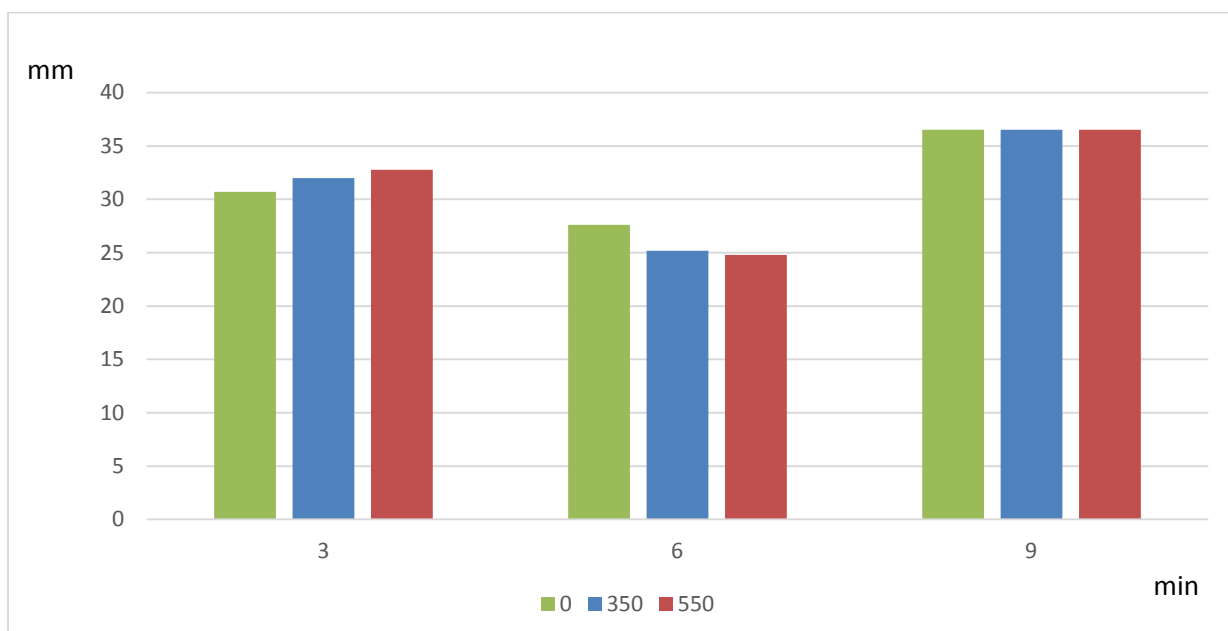
Test ID		Tvrdoća N	Elastičnost mm	Rad g.sec
0 MPa				
Start Batch 0 min 0 dan -				
0 min 0 dan – 1		15,718	40	13015,295
0 min 0 dan – 2		15,698	29,545	14794,312
0 min 0 dan – 3		18,109	40	21448,257
Average:	AVERAGE("BATCH")	16,508	36,515	16419,288
S.D.	STDEV("BATCH")	1,3862	6,0362	4445,123
350 Mpa				
Start Batch 3 min 0 dan				
3 min 0 dan – 1		15,131	32,955	13987,073
3 min 0 dan – 2		13,82	40	12752,498
3 min 0 dan – 3		12,815	23,046	7372,301
Average:	AVERAGE("BATCH")	13,922	32,000	11370,624
S.D.	STDEV("BATCH")	1,161	8,517	3517,241
Start Batch 6 min 0 dan	0 dan			
6 min 0 dan – 1		16,997	32,455	12765,053
6 min 0 dan – 2		13,387	37,634	15726,226
6 min 0 dan – 3		12,529	28,195	12707,371
Average:	AVERAGE("BATCH")	14,304	32,761	13732,883
S.D.	STDEV("BATCH")	2,371	4,727	1726,526
Start Batch 9 min 0 dan -				
9 min 0 dan – 1		17,69	37,304	18173,651
9 min 0 dan – 2		16,687	31,235	11789,562
9 min 0 dan – 3		12,23	23,606	7395,431
Average:	AVERAGE("BATCH")	15,536	30,715	12452,881
S.D.	STDEV("BATCH")	2,906	6,864	5419,640
550 MPa				
Start Batch 3 min 0 dan				
3min 0 dan -1		18,388	27,445	7033,71
3min 0 dan-2		17,427	26,975	6349,535
3min 0 dan -3		18,817	21,106	5196,38
Average:	AVERAGE("BATCH")	18,211	25,175	6193,209
S.D.	STDEV("BATCH")	0,712	3,532	928,587
Start Batch 6 min 0 dan				
6 min 0 dan-1		9,03	23,986	5875,617
6 min 0 dan-2		14,877	25,706	12608,25
6 min 0 dan-3		15,648	24,756	11136,853
Average:	AVERAGE("BATCH")	13,185	24,816	9873,573
S.D.	STDEV("BATCH")	3,619	0,862	3539,632
Start Batch 9 min 0 dan				
9 min 0 dan-1		19,417	26,585	11775,318
9 min 0 dan-2		16,284	28,535	8890,015
9 min 0 dan-3		6,627	27,715	3431,083
Average:	AVERAGE("BATCH")	14,11	27,612	8032,139
S.D.	STDEV("BATCH")	6,667	0,979	4237,75



Slika 7. Teksturni profil uzorka obrađenog pri 550MPa



Slika 8. Utjecaj vremena obrade visokim hidrostatskim tlakom i tlaka na tvrdoću uzoraka



Slika 9. Utjecaj vremena obrade visokim hidrostatskim tlakom i tlaka na elastičnost uzoraka

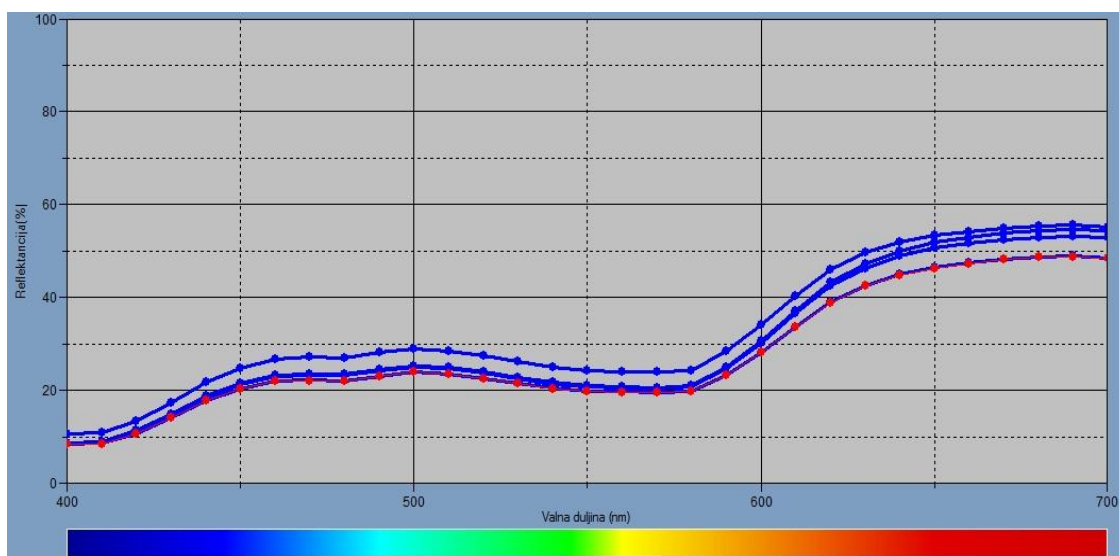


Instrumentalnom analizom teksture ispitani su tvrdoća i elastičnost namirnice prije i nakon tretiranja visokim hidrostatskim tlakom. Uzorci tretirani pri 350 i 550MPa pokazuju mali, ali statistički značajan pad tvrdoće. Do pada dolazi samom primjenom visokog hidrostatskog tlaka te porastom tlaka dolazi do sve značajnijeg pada tvrdoće ispitivanih uzoraka. Vrijeme obrade ne utječe značajno na pad tvrdoće. Razlog promjene u tvrdoći je promjena u proteinskoj strukturi mesa (sekundarnoj i tercijarnoj) zbog utjecaja tlaka na slabije veze (vodikove, van der Waalsove) i blage denaturacije. Sočnost, elastičnost i žvakavost mesa se povećavaju tretiranjem visokim hidrostatskim tlakom.

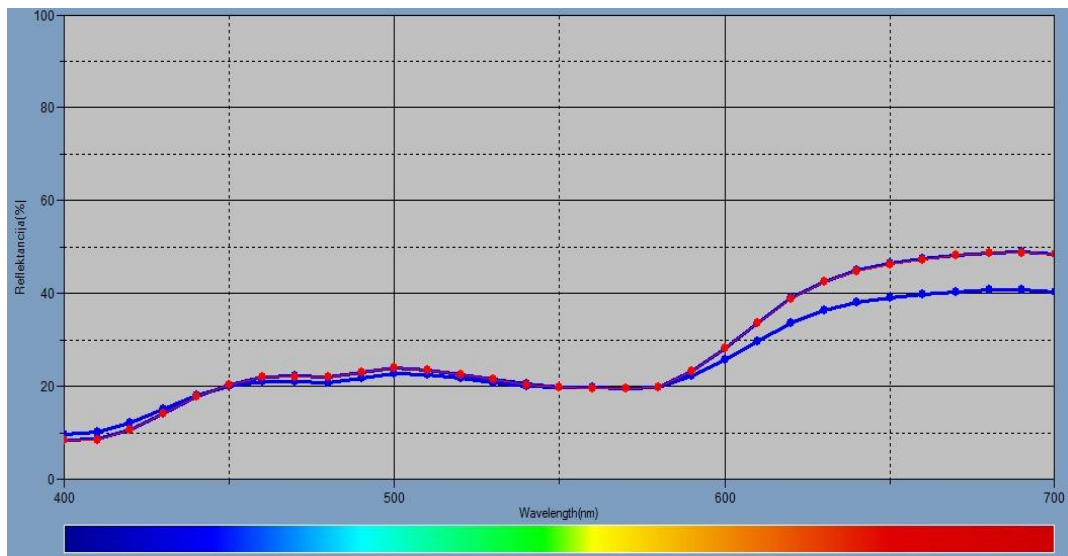
## 4.2. Boja

Tablica 3.  $\Delta E^*$  vrijednosti izračunate s netretiranim uzorkom

Data Name	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	$\Delta E^*$
0 min referentna	55,73	10,46	8,94	-
350 MPa 3 min	60,49	10,17	9,11	4,77
350 MPa 6 min	57,46	11,88	9,59	2,33
350 MPa 9 min	57,12	11,65	9,57	1,93
550 MPa 3 min	52,61	9,69	9,23	3,22
550 MPa 6 min	54,05	8,52	7,79	2,81
550 MPa 9 min	62,62	6,04	7,64	8,29



Slika 10. Spektralni dijagram netretiranog uzorka s tretiranim uzorkom pri 350 MPa



Slika 11. Spektralni dijagram netretiranog uzorka s tretiranim uzorkom pri 550 MPa

Analizom boje mesa u kolorimetru CM-3500d je vidljivo da nije došlo do značajne promjene boje mesa tretiranog pri 350 i 550 MPa. Nije došlo do degradacije boje te E (odstupanje  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti od referentnog uzorka) pokazuje da se detektirana promjena boje ne može vidjeti golim okom.

## **5. ZAKLJUČAK**

Na temelju provedenog eksperimenta te dobivenih rezultata može se zaključiti:

- Tretiranje mesa visokim hidrostatskim tlakom pri 350 i 550 MPa ima minimalan utjecaj na teksturu mesa, odnosno tvrdoću i elastičnost.
- Tvrdoća uzoraka raste porastom vremena obrade visokim tlakom. Rast tvrdoće je minimalan, te ga je moguće utvrditi jedino instrumentalnom metodom.
- Tvrdoća uzoraka pada povećanjem primijenjenog tlaka.
- Elastičnost pokazuje slični odziv na obradu visokim tlakom, pri čemu je najveća pri maksimalnom tlaku i maksimalnom vremenu obrade.
- Provedena analiza boje mesa tretiranog tlakovima od 350 i 550 MPa pokazuje da nije došlo do degradacije boje.
- Optimalni parametri obrade bili su 350 MPa tijekom 9 minuta.

## **6. LITERATURA**

1. Koprivnjak, O. (2014) Kvaliteta, sigurnost i konzerviranje hrane, 1. izd., Studio TiM, Rijeka
2. NCBI (2010) . NCBI-National Center for Biotechnology Information ,  
<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20492191>> . Pristupljeno 06. lipnja 2016.
3. Elgasim, E.A., Kennick W.H. (1982) Journal of Food Structure. Effect of High Hydrostatic Pressure on Meat Microstructure, SEM Inc., AMF O'Hare ,Chicago, str.75-82.
4. Sun, X.D., Holley,R.A. (2010) High Hydrostatic Pressure Effects on the Texture of Meat and Meat Products. *Journal of Food Science* **75**, 1-6. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01449.x
5. Rosenthal, A.J. (1999) Food Texture: Measurement and Perception, 5. izd., Aspen Publishers, Inc., Maryland
6. Myers, K. (2012) Evaluation of hydrostatic pressure, meat species, and ingredients to control *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat, 1. izd., Iowa State University, Iowa
7. Banić, T. (2010) Tomislav Banić – Home Page,  
<<http://www.tomychef.com>>. Pristupljeno 30.06.2016.
8. HE (1999) Leksikografski Zavod Miroslav Krleža. HE – Hrvatska Enciklopedija,  
<<http://www.enciklopedija.hr/>>. Pristupljeno 30.06.2016.
9. Lelas, V. (2006) Nove tehnike procesiranja hrane. *Mljekarstvo*.**56**, 311-330.
10. Krešić, G., Lelas, V., Režek Jambrak, A., Herceg, Z. (2011) Primjena visokog tlaka u postupcima obrade hrane. *Kem. Ind.* **60**, 11-19.
11. Bosiljkov, T., Tripalo, B., Ježek, D., Brnčić, M., Karlović, S. (2010) Princip rada i primjena visokih tlakova u prehrambenoj industriji. *Kem. Ind.* **59**, 539-545.
12. PBF (2016) Sveučilište u Zagrebu. PBF – Prehrambeno - Biotehnološki Fakultet,  
<<http://www.pbf.unizg.hr/>>. Pristupljeno 15.05.2016.
13. Jeličić, I., Lisak, K., Božanić, R. (2012) Utjecaj visokog hidrostatskog tlaka, ultrazvuka i pulsirajućeg električnog polja na sastojke i svojstva mlijeka. *Mljekarstvo*. **62**, 3-13.
14. Karlović, S. (2007) Određivanje teksturnih svojstava i matematičko modeliranje sušenja voća potpomognutog ultrazvukom visokog intenziteta. Doktorski rad. Zagreb: Prehrambeno-biotehnološki fakultet.