Utjecaj zamrzavanja visokim hidrostatskim tlakom na kvalitetu mesa peradi iz ekološkog uzgoja

Tadić, Mirna

Master's thesis / Diplomski 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:159:287281

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

prehrambeno biotehnološki fakultet

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, srpanj 2016.

Mirna Tadić

689/USH

UTJECAJ ZAMRZAVANJA VISOKIM HIDROSTATSKIM TLAKOM NA KVALITETU MESA PERADI IZ EKOLOŠKOG UZGOJA

Rad je izrađen u Laboratoriju za tehnologiju mesa i ribe na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo i u Laboratoriju za tehnološke operacije na Zavodu za procesno inženjerstvo, Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof.dr.sc. Helge Medić, te uz pomoć dr.sc. Nives Marušić Radovčić, više asistentice.

Zahvaljujem svojoj mentorici prof.dr.sc. Helgi Medić što mi je omogućila izradu ovog rada. Hvala na uloženom trudu i stručnim savjetima.

Hvala dr.sc. Nives Marušić Radovčić, višoj asistentici na pomoći u pripremi i izvođenju eksperimentalnog dijela rada.

Zahvaljujem osoblju Laboratorija za tehnologiju mesa i ribe te osoblju Laboratorija za tehnološke operacije, posebice doc.dr.sc. Svenu Karloviću, na pomoći i susretljivosti.

Na kraju, hvala mojoj obitelji i prijateljima.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnologiju mesa i ribe

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

UTJECAJ ZAMRZAVANJA VISOKIM HIDROSTATSKIM TLAKOM NA KVALITETU MESA PERADI IZ EKOLOŠKOG UZGOJA

Mirna Tadić, 689/USH

Sažetak: *Cilj ovog istraživanja bio je odrediti utjecaj zamrzavanja visokim hidrostatskim tlakom na kvalitetu mesa peradi iz ekološkog uzgoja. Svježi fileti pilećih prsa tretirani su visokim hidrostatskim tlakom (150 MPa/30 min i 250 MPa/60 min) pri -20 °C nakon čega su određeni gubitak na masi, sposobnost vezanja vode, prinos pri kuhanju, te boja i tekstura pilećeg mesa iz ekološkog uzgoja. Dobiveni rezultati pokazuju da tretman visokim hidrostatskim tlakom nije imao značajan utjecaj na gubitak na masi. Viši tlak uzrokuje manji gubitak na masi nego niži tlak, ali i konvencionalne metode zamrzavanja. Povećanjem tlaka smanjuje se sposobnost vezanja vode i prinos pri kuhanju. Porastom tlaka rastu L*, a* i b* vrijednosti. Porastom tlaka povećavaju se tvrdoća, elastičnost i rad potreban za žvakanje mesa.*

Ključne riječi: *visoki hidrostatski tlak, pileća prsa, sposobnost vezanja vode, boja, tekstura*

Rad sadrži: 42 stranice, 8 slika, 3 tablice, 63 literaturna 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. Helga Medić*

Pomoć pri izradi: *dr.sc. Nives Marušić Radovčić, viša asistentica*

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:
1. prof.dr.sc. *Damir Ježek*
2. prof.dr.sc. *Helga Medić*
3. izv.prof.dr.sc. *Ksenija Marković*
4. doc.dr.sc. *Sven Karlović* (zamjena)

Datum obrane: 20. srpnja 2016.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Engineering
Laboratory for Meat and Fish Technology

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

EFFECT OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE FREEZING ON THE QUALITY OF ORGANIC POULTRY MEAT

Mirna Tadić, 689/USH

Abstract: *The aim of this study was to determine the effect of high hydrostatic pressure freezing on the quality of organic poultry meat. Fresh fillets of chicken breasts were treated with high hydrostatic pressure (150 MPa/30 min and 250 MPa/60 min) at -20 °C. Drip loss, moisture uptake, cooking yield and color and texture of organic chicken meat were determined. The results show that high pressure freezing treatment did not have a significant effect on drip loss. Higher pressure causes smaller drip loss than lower pressure or conventional freezing methods. By increasing pressure moisture uptake and cooking yield are reduced. Increasing pressure increases L*, a* and b* values. Increasing pressure increases hardness, elasticity and work for mastication of treated organic chicken meat.*

Keywords: *high hydrostatic pressure, organic chicken breasts, moisture uptake, color, texture*

Thesis contains: 42 pages, 8 figures, 3 tables, 63 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. Helga Medić, Full Professor*

Technical support and assistance: *PhD. Nives Marušić Radovčić, Senior Assistant*

Reviewers:
1. PhD. *Damir Ježek*, Full Professor
2. PhD. *Helga Medić*, Full Professor
3. PhD. *Ksenija Marković*, Associate Professor
4. PhD. *Sven Karlović*, Assistant Professor (substitute)

Thesis defended: 20 July 2016

Sadržaj **stranica**

1. UVOD ……..1

2. TEORIJSKI DIO ……3

2.1. PERAD ……..3

2.1.1. Kemijski sastav mesa peradi ……..4

2.2. EKOLOŠKI UZGOJ PERADI ……..5

2.2.1. Kvaliteta pilećeg mesa iz ekološkog i konvencionalnog uzgoja ……....….6

2.3. ZAMRZAVANJE MESA PERADI ……..……8

2.3.1. Kvaliteta zamrznutog mesa peradi ……..……...9

2.4. VISOKI HIDROSTATSKI TLAK ……..11

2.4.1. Zamrzavanje visokim tlakom - HPLT postupci ……...……12

2.4.2. Djelovanje visokog tlaka na mikroorganizme ……..14

2.4.3. Djelovanje visokog tlaka na osnovne sastojke hrane ……...15

2.4.3.1. Djelovanje visokog tlaka na vodu ……16

2.4.3.2. Djelovanje visokog tlaka na proteine, enzime i lipide mesa ……16

2.4.4. Utjecaj visokog tlaka na parametre kvalitete mesa ……..17

3. EKSPERIMENTALNI DIO ……19

3.1. MATERIJAL ……...19

3.2. METODE RADA ……19

3.2.1. Zamrzavanje visokim hidrostatskim tlakom ……..……...19

3.2.2. Određivanje gubitka na masi (*drip loss*) ……..21

3.2.3. Određivanje sposobnosti vezanja vode (SpVV) i prinosa pri kuhanju (PPK) ……21

3.2.4. Određivanje boje tretiranih uzoraka pilećih prsa iz ekološkog uzgoja ……22

3.2.5. Instrumentalno određivanje teksture tretiranih uzoraka pilećih prsa iz ekološkog uzgoja ……..23

3.3. STATISTIČKA ANALIZA ……24

4. REZULTATI I RASPRAVA ……...……..……...26

4.1. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA GUBITAK NA MASI (*drip loss*) PRI TEMPERATURI OD -20 ºC 27

4.2. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA SPOSOBNOST VEZANJA VODE (SpVV) I PRINOS PRI KUHANJU (PPK) PRI TEMPERATURI OD -20 ºC 29

4.3. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA BOJU PILEĆIH PRSA (L*, a*, b* VRIJEDNOSTI) PRI TEMPERATURI OD -20 ºC 31

4.4. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA TEKSTURU MESA PRI TEMPERATURI OD -20 ºC 33

5. ZAKLJUČCI ……35

6. LITERATURA ……36

1. UVOD

Znanstvenici, farmeri i prerađivači sve više vremena i novca ulažu u uzgoj, kontrolu bolesti, hranidbu, klaoničku obradu i preradu mesa kako bi osigurali ekonomičnu proizvodnju, fiziološki zdravu perad i meso besprijekornog izgleda i dobre kakvoće. Uz to, ulaže se i u određivanje utjecaja proizvodnje i obrade na okus i teksturu mesa peradi (Janječić, 2006).

Potražnja za ekološki proizvedenim mesom peradi, osobito pilećim mesom, u svijetu sve je veća, naročito u razvijenim zemljama (SAD, EU). Potrošači su voljni platiti i značajno višu cijenu za takvo meso. Ekološka proizvodnja pilećeg mesa preferira se ne samo zbog bolje kakvoće mesa, već i zbog održavanja bioraznolikosti. To je jedan od glavnih ciljeva ekološke proizvodnje (Senčić i sur., 2013). Glavno svojstvo pilića iz ekološkog uzgoja je struktura mišićnih vlakana koja ih razlikuje od klasičnih brojlerskih pilića. Njihovo meso je mišićavije i snažno se drži za kosti, a odlikuje ga visok udio proteina, te nizak udio masti.

Zamrzavanje mesa kao metoda konzerviranja ima brojne prednosti u očuvanju svojstava mesa peradi čiji kemijski sastav karakteriziraju visokovrijedni proteini, mineralne tvari i vitamini B kompleksa. Uspoređujući ga s ostalim postupcima konzerviranja, zamrzavanjem se najbolje očuvaju nutritivno vrijedni sastojci mesa. Tijekom zamrzavanja namirnica slobodna voda prelazi u led, a temperatura pri kojoj počinje zamrzavanje ovisi o koncentraciji otopljenih tvari u vodi. Meso se počinje zamrzavati kod -1,5 °C, a pri -2,5 °C oko polovica vode u mesu je u zamrznutom stanju. Na temperaturama između 0 i -5°C frakcija leda u mesu iznosi oko 74 %, kod -10 °C 83 %, kod -20 °C 88 %, dok je kod -40 °C meso gotovo potpuno zamrznuto. Oko 10 % vode ostaje u nezaleđenom stanju (vezana voda), vezana uz strukturne proteine (HAH, 2011).

Kvaliteta zamrznutog mesa prvenstveno ovisi o brzini i temperaturi zamrzavanja, te o kristalima leda koji nastaju tijekom zamrzavanja, njihovom položaju i veličini (HAH, 2011).

Jedna od novih brzih tehnika zamrzavanja mesa je tretiranje mesa visokim hidrostatskim tlakom. Obrada mesa i mesnih proizvoda visokim tlakom obavlja se isključivo kao diskontinuirani proces (Bosiljkov i sur., 2010).

Osnovna prednost primjene visokog hidrostatskog tlaka očituje se u produženju trajnosti hrane uslijed inaktivacije mikroorganizama. Značajka hidrostatskog tlaka je da ne

djeluje na primarnu strukturu proteina i masti, nego na veze koje održavaju sekundarnu i tercijarnu strukturu proteina, uzrokuje promjene na staničnim membranama i želatinizaciju škroba. Može doći i do inaktivacije enzima, promjene probavljivosti i tehnoloških svojstava hrane, ali vitamini, aminokiseline i tvari arome gotovo da nisu podložne djelovanju HHP-a (engl. *High Hydrostatic Pressure*) pa se zadržavaju senzorska svojstva proizvoda (Rendueles i sur., 2011).

Martino i sur. (1998) su pokazali mogućnosti očuvanja strukture mesa prilikom zamrzavanja pod povišenim tlakom, što se objašnjava promijenjenim faznim dijagramom vode.

Iako je Knorr (1993) ustanovio da postupak obrade visokim tlakom može utjecati na boju i teksturu namirnica, informacije o utjecaju visokog tlaka na boju i teksturu pilećeg mesa su oskudne (Del Olmo i sur., 2010) i često kontradiktorne.

Stoga je cilj ovog rada ispitati kako će zamrzavanje visokim hidrostatskim tlakom (150 MPa/30 min, 250 MPa/60 min) pri temperaturi od -20 °C utjecati na kvalitetu mesa peradi iz ekološkog uzgoja na temelju određivanja gubitka na masi (*drip loss*), sposobnosti vezanja vode (SpVV) i prinosa pri kuhanju (PPK), te boje i teksture mesa.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. PERAD

Više čimbenika doprinosi popularnosti mesa peradi, od kojih su najvažniji senzorski, nutritivni i ekonomski, a značajni razvoj peradarske industrije u posljednjih 30-40 godina doveo je meso peradi od ekskluzivnog proizvoda dostupnog limitiranoj grupi potrošača do popularnog, jeftinog i kvalitetnog mesa pristupačnog svima. Ne postoje religijska ograničenja povezana s potrošnjom mesa peradi (Mulder, 1999).

Poprečno prugasto skeletno mišićno tkivo čine mišićne stanice odnosno vlakna. Svako mišićno vlakno je stanica s više jezgara, cilindričnog oblika, promjera 10-100 μm i dužine od nekoliko milimetara do desetak centimetara, ovisno o dužini mišića. Skeletni mišići građeni su od tri osnovna tipa mišićnih vlakana: crvena, bijela i intermedijarna vlakna. Crvena vlakna su sporokontrahirajuća, malog promjera i većeg sadržaja sarkoplazme i mioglobina od ostala dva tipa vlakana, pokazuju visoku aktivnost oksidativnih enzima. Bijela vlakna su brzokontrahirajuća, većeg su promjera, sadrže manje mioglobina i nisku oksidativnu aktivnost enzima u odnosu na crvena vlakna. Pokazuju visoku aktivnost glikolitičkih enzima, pa se nazivaju i glikolitička vlakna. Intermedijarna vlakna su srednjeg promjera, broj mitohondrija je manji u odnosu na crvena vlakna. Zbog svojih metaboličkih svojstava nazivaju se i oksidativno-glikolitička vlakna. Smatraju se podvrstom crvenih mišićnih vlakana (Pearson i Young, 1989). Podjela mesa peradi na svijetlo i tamno meso bazira se na boji mesa, a odnosi se i na relativan odnos crvenih i bijelih vlakana u mišiću. Svijetlo meso podrazumijeva prsne mišiće brojlera i purana, dok se tamno meso odnosi na mišiće nogu. Tamno ili crveno meso brojlera i purana sadrži većinom crvena vlakna u usporedbi sa svijetlim mesom (Barbut, 2002).

Postmortalne promjene mišića ovise o konverziji mišića (živog organa) u meso (jestivo tkivo). Postmortalno iscrpljenje energetskih zaliha u mišiću inicira pojavu *rigor mortis* i demarkaciju između mišića i mesa. Stupanj mišićne kontrakcije kad nastupi *rigor mortis* varira i na njega utječe nekoliko fizioloških putova kao i uvjeti tijekom tehnološkog procesa, a glavni je čimbenik koji određuje mekoću mesa. Najvažnije postmortalne promjene mesa su glikoliza, *rigor mortis*, promjene pH i proteoliza. Poznavanje postmortalnih promjena

mesa neophodno je za upravljanje kvalitetom mesa i mesnih proizvoda, te projektiranje tehnoloških procesa prerade i konzerviranja (Medić i sur., 2009).

Temperatura je kritični čimbenik u postizanju visoke kvalitete mesa tijekom postmortalnih promjena. Optimalna temperatura u tom periodu iznosi između 15 i 20 °C, stoga se preporuča snižavanje temperature mišića odmah nakon iskrvarenja. Međutim, izuzetno brzo snižavanje temperature ispod 0 °C, zamrzavanjem mesa prije *rigor mortis* može rezultirati nastankom rigora odmrzavanja koji rezultira skraćenjem mišićnih vlakana tijekom odmrzavanja, potaknutim otpuštanjem iona kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma u sarkoplazmu zbog oštećenja sarkoplazmatske membrane kristalima leda i u prisutnosti dovoljne količine ATP-a. Ubrzana razgradnja ATP-a i glikogena (unutar 30 minuta odmrzavanja) rezultira naglim skraćenjem mišićnih vlakana (>40 %), dovodi do gubitka vode i žilavosti mišića (Yu i sur., 2005).

2.1.1. Kemijski sastav mesa peradi

Na kemijski sastav mesa peradi utječe niz čimbenika kao što su različita starost, te različita masa životinja (Abeni i Bergoglio, 2001). Analogno, udio masti, proteina i vode se također razlikuju. Razlike u kemijskom sastavu pripisuju se već navedenim razlozima kao i uzgojnoj liniji, načinu hranidbe, fiziološkom stanju životinje i drugim čimbenicima (Medić i sur., 2009).

Meso peradi je dobar izvor visokokvalitetnih proteina, vitamina B i mineralnih tvari. Usporedbom različitih vrsta mesa peradi, puretina je jedno od mesa peradi s najmanje masti (Ferreira i sur., 2000). Kako udio masti raste, udio vode pada, pa se može reći da su udio masti i vode obrnuto proporcionalni. Taj odnos ne utječe bitno na udio proteina. Veći udio masti je povezan i s većom energetskom vrijednošću mesa, no meso peradi se smatra nemasnim u usporedbi s crvenim mesom. Bijelo pileće meso je bogato proteinima, 20 do 23 %, sa i bez kože. Kada se odstrani koža, udio masti pada s 11 na 1,6 %. Nutritivni sastav mesa različitih vrsta peradi sa i bez kože prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Usporedba prosječnog kemijskog sastava i energetske vrijednosti pilećeg i purećeg mesa, sa i bez kože (Barbut, 2002)

Vrsta mesa	Meso	Koža	Udio vode (%)	Udio proteina (%)	Udio masti (%)	Udio pepela (%)	Energetska vrijednost (kJ)
Piletina	Svjetlo	+	68,6	20,3	11,1	0,86	778
		-	74,9	23,2	1,6	0,98	477
Piletina	Tamno	+	65,4	16,7	18,3	0,76	992
		-	75,9	20,1	4,3	0,94	524
Puretina	Svjetlo	+	69,8	21,6	7,4	0,90	665
		-	73,8	23,5	1,6	1,00	481
Puretina	Tamno	+	71,1	18,9	8,8	0,86	670
		-	74,5	20,1	4,4	0,93	523

*izraženo na 100 g mesa sa i bez kože

2.2. EKOLOŠKI UZGOJ PERADI

Prema Uredbi Vijeća (EZ) br. 834/2007, ekološka je proizvodnja sveobuhvatni sustav upravljanja poljoprivrednim gospodarstvima i proizvodnjom hrane koji ujedinjuje najbolju praksu zaštite okoliša, visoku razinu biološke raznolikosti, očuvanje prirodnih resursa, primjenu visokih standarda za dobrobit životinja i proizvodne metode koje su prikladne s obzirom na to da neki potrošači prednost daju proizvodima proizvedenim uz primjenu prirodnih tvari i procesa. Prema tome, ekološka proizvodnja u društvu ima dvostruku ulogu, pri čemu s jedne strane opskrbljuje specifično tržište odgovarajući na potražnju potrošača za ekološkim proizvodima, a s druge strane osigurava javna dobra koja doprinose zaštiti okoliša i dobrobiti životinja, kao i ruralnom razvoju.

Ekološko stočarstvo je dio ekološke poljoprivrede koji teži uzgoju životinja na etološki prihvatljiv način uz očuvanje okoliša i proizvodnju visokovrijednih namirnica u prehrani ljudi. Ekološkim stočarstvom danas se u svijetu bavi razmjerno mali broj ljudi, iako se broj gospodarstava s takvim načinom uzgoja životinja neprestano povećava (Senčić, 2004).

Objekti i površine za držanje životinja na ekološki način moraju biti jasno odijeljene od konvencionalnog uzgoja. Kada se za ekološku proizvodnju prvi puta uspostavlja

proizvodno jato, a nema dostatan broj peradi koji udovoljava za takav uzgoj, mogu se uključiti i grla koja potječu iz konvencionalnih poljoprivrednih gospodarstava. Životinjama se u ekološkoj proizvodnji treba osigurati stalna aktivnost odnosno uvjeti za izražavanje prirodnog ponašanja svojstvenog njihovoj vrsti. Stoga perad nije dopušteno držati u kavezima, dok određenim vrstama (guske i patke) treba osigurati pristup vodenim površinama. Objekti za držanje svih vrsta peradi moraju biti izvedeni na način da mikroklimatske prilike ne štete životinjama. Peradi je potrebno omogućiti izlaz na otvorene površine koje su većinom prekrivene vegetacijom uz nesmetan pristup hranilicama i pojilicama. Objekti za držanje peradi moraju se nakon završenog ciklusa proizvodnje potpuno prazniti, a oprema i unutrašnjost objekta dezinficirati dopuštenim sredstvima. Perad se može hraniti ekološki proizvedenom hranom s vlastitog gospodarstva ili kupljenom hranom s drugog gospodarstva koje se bavi ekološkom proizvodnjom. U ekološkoj proizvodnji nije dopuštena upotreba mesnog brašna, koštanog brašna i GM hrane, te tvari kojima se potiče rast i proizvodnja (antibiotici, stimulatori rasta). Hrana i svježa voda trebaju biti dostupni životinjama cijeli dan. Voda za napajanje mora kvalitetom i količinom zadovoljavati potrebe životinja. Pogoršana kvaliteta vode može negativno utjecati na zdravlje životinja kao i na njihove proizvodne sposobnosti, prirast, nesivost i kvalitetu jaja. U ekološkoj proizvodnji peradi važan segment je preventivna zdravstvena zaštita, a provodi se pravilnom hranidbom, smještajem, cijepljenjem protiv bolesti koje se moraju suzbijati prema važećim zakonskim propisima, te općom higijenom, dezinfekcijom smještajnih objekata i opreme. U liječenju treba što je moguće više primjenjivati prirodne metode (sredstva biljnog, životinjskog i mineralnog podrijetla). Klasično liječenje treba ograničiti na iznimne slučajeve uz precizno vođenje evidencije o dijagnozi bolesti, metodama liječenja, vrstama i količini upotrebljenog lijeka i razdoblju liječenja. Transport peradi treba obaviti u prikladnom prijevoznom sredstvu kako bi se pojava stresa svela na najmanju moguću mjeru. Životinje tijekom prijevoza treba hraniti i pojiti što ovisi o klimatskim prilikama i trajanju transporta (Pavičić, 2005).

2.2.1. Kvaliteta pilećeg mesa iz ekološkog i konvencionalnog uzgoja

Na tehnološku kvalitetu mesa peradi značajan utjecaj ima više čimbenika: način uzgoja, vrsta hrane, temperatura okoliša, transport životinja, načini omamljivanja prije klanja, postupak s trupovima tijekom i nakon klanja, te uvjeti skladištenja. Primjena više razine

dobrobiti (uzgoj, hvatanje životinja prije transporta te postupci pri omamljivanju i klanju) može značajno utjecati na kvalitetu mesa (HAH, 2011).

Intenzivan (konvencionalan) uzgoj pilića, osim brzog rasta i malog utroška hrane za kilogram prirasta, prate i negativne pojave poput BMV sindroma (blijedo, mekano i vodnjikavo meso), ostaci različitih tvari u mesu (antibiotici, kokcidiostatici, pesticidi) i loša briga za dobrobit životinja (Senčić i Kralik, 1993.). Organoleptička (senzorska) svojstva pilećeg mesa iz ekološkog sustava prihvatljivija su od istih kod pilića iz konvencionalnog (zatvorenog) sustava držanja. Istraživanja u svijetu (Castellini i sur., 2002., Kim i sur., 2008.) i u RH (Senčić i sur., 2009) ukazuju na specifičnu kvalitetu pilećega mesa iz ekološke proizvodnje. Senčić i sur. (2009) nisu utvrdili statistički značajne razlike ($p>0,05$) s obzirom na pH vrijednost prsnog mišićja između pilića iz ekološkog i konvencionalnog uzgoja. Pileće meso iz ekološkog uzgoja, u odnosu na ono iz konvencionalnog uzgoja, imalo je značajno ($p<0,05$) bolju sposobnost vezanja vode i vrlo značajno ($p<0,01$) bolju konzistenciju te manju L* vrijednost i veće a* i b* vrijednosti za boju. Kim i sur. (2008) također nisu utvrdili razlike s obzirom na pH vrijednost prsnog mišićja između pilića iz ekološkog i konvencionalnog uzgoja. Prsno mišićje pilića iz ekološkog uzgoja imalo je vrlo značajno ($p<0,001$) manju L* vrijednost, te veće a* i b* vrijednosti za boju, kao i u istraživanju Senčić i sur. (2009). Utvrdili su vrlo značajno ($p<0,001$) veći gubitak mase mesa kuhanjem kod prsnog mišićja pilića iz ekološkog uzgoja u odnosu na onu iz konvencionalnog uzgoja. Castellini i sur. (2002) utvrdili su, pak, značajno niži konačni pH prsnog mesa, slabiju sposobnost zadržavanja vode (%) i veći gubitak mase (%) mesa kuhanjem kod pilića iz ekološkog u odnosu na iste pokazatelje iz konvencionalnog uzgoja. Pileće meso iz ekološkog uzgoja imalo je, također, značajno manju L* vrijednost, a veće a* i b* vrijednosti za boju mesa. U istraživanju Senčić i sur. (2009) pileće meso iz ekološkog uzgoja, u odnosu na ono iz konvencionalnog uzgoja, imalo je vrlo značajno ($p<0,01$) veći sadržaj proteina te vrlo značajno ($p<0,01$) manji sadržaj vode, masti i pepela. Kim i sur. (2008), pak, nisu utvrdili značajne razlike s obzirom na sadržaj vode, proteina i masti, ali su utvrdili značajno ($p<0,05$) više pepela u prsnom mišićju pilića iz ekološkog uzgoja. U istraživanju Castellinija i sur. (2002) prsno mišićje pilića iz organskog (ekološkog) uzgoja imalo je nakon 81. dana tova značajno više vode, a manje masti, dok u pogledu sadržaja proteina i pepela nisu utvrđene značajne razlike.

2.3. ZAMRZAVANJE MESA PERADI

Uvjeti koje meso mora zadovoljiti kako bi se zamrzavanjem sačuvala njegova senzorska svojstva nisu ni u kojem slučaju specifični samo za postupke zamrzavanja, već su najvećim dijelom odraz dobre proizvodne prakse (Varnam i Sutherland, 1995):

1. meso mora biti dobre kvalitete u pogledu mikrobiološke ispravnosti i kemijskog sastava;
2. postupci koji prethode zamrzavanju moraju biti provedeni na način dobre proizvodne prakse;
3. meso mora biti zamrznuto čim prije;
4. ukoliko ne može biti zamrznuto na vrijeme, meso mora biti zaštićeno od kontaminacije i biti na hladnom kako bi se smanjila mogućnost mikrobnog rasta;
5. zamrzavanje mora biti u skladu s unaprijed utvrđenim parametrima;
6. zamrznuto meso mora biti pohranjeno na odgovarajućoj temperaturi kroz cijelo vrijeme pohrane.

Prednosti zamrzavanja odnose se, kao i kod hlađenja, na inhibiciju životnih procesa mikroorganizama kvarenja na niskim temperaturama, iako je letalni učinak neznatan. Na temperaturi nižoj od -8 °C razmnožavanje većine mikroorganizama prestaje, a nakon podizanja temperature na prijašnje vrijednosti mikrobna se populacija obnavlja. Zamrzavanje ne uništava najčešće mikroorganizme kvarenja. Ne smije se zanemariti ni činjenicu da zamrznuto meso pri odmrzavanju izdašno otpušta vodu i tako postaje izvrstan medij za rast bakterija. Pri tome treba misliti i na to da pH mišića koji tijekom zamrzavanja ostaje konstantan naglo pada nakon odmrzavanja, a potom naglo raste i tvori povoljne okolišne uvjete za razmnožavanje bakterija. Stoga, odabir načina zamrzavanja (brzo ili sporo) može biti kritično za proizvode čija kvaliteta počiva na odsutnosti pojedinih bakterija. Tako ni proizvođači ni potrošači ne smiju olako shvaćati mikrobiološku sigurnost zamrznutih proizvoda, a naročito s obzirom na činjenicu da se jednom odmrznuto meso ne smije ponovno zamrzavati. Zamrzavanje nije postupak kojim se poboljšava kvaliteta ili mijenjaju osnovna svojstva mesa ili poboljšavaju senzorska svojstva pri konzumaciji. Zamrzavanje je način konzerviranja i kao takvo podložno je tehnološkim limitima. Ne smije se zanemariti ni

činjenicu da se sam postupak zamrzavanja mora odvijati u tehnološki besprijekornim uvjetima te da održavanje konstantne vlage i temperature u hladnjačama utječe na održivost zamrznutog mesa peradi. Zamrzavanje može utjecati na promjenu senzorskih svojstava, a čimbenici koji dovode do senzorskih promjena zamrznutog mesa najčešće su neprikladno ili predugo skladištenje te nepravilni postupci zamrzavanja mesa. Stoga higijenska kvaliteta zamrznutog mesa definitivno ovisi o načinu i vremenu pohrane, načinu prijevoza i pravilnom čuvanju mesa u maloprodajnim centrima. Meso koje se stavlja u promet zamrznuto ima rok upotrebljivosti do kojeg treba biti potrošeno. Nakon isteka roka trajanja treba biti proglašeno štetnim za zdravlje i neprikladnim za prehranu ljudi, izdvojeno iz prometa i neškodljivo uništeno. Treba istaknuti i činjenicu da postupci zamrzavanja u odgovarajućim znanstveno i stručno prihvaćenim uvjetima ne umanjuju bitno vrijednost i kvalitetu zamrznutog mesa. Ona je najčešće posljedica neodgovarajućih načina pohrane, primarno temperaturnih oscilacija i drugih mikroklimatskih čimbenika. Pogreške i odstupanja u pogledu slabih senzorskih svojstava zamrznutog mesa posljedica su i uzastopnih zamrzavanja i odmrzavanja što dovodi do gubitka sočnosti te mikrobioloških i drugih biokemijskih i fizikalno-kemijskih promjena. Uz sve navedeno, na kvalitetu zamrznutog mesa značajno utječe i postupak odmrzavanja koji često može dovesti do bitnih senzorskih odstupanja i gubitka nutritivne vrijednosti. Čak i u najboljim uvjetima skladištenja ne preporuča se skladištenje zamrznutog mesa peradi iznad godinu dana. Produženje vremena skladištenja postiže se snižavanjem temperature što također usporava kemijske promjene, uglavnom oksidacijsku užeglost koja rezultira pojavom neugodnog mirisa. Ostale promjene su rezultat denaturacije proteina koja uzrokuje promjene teksture mesa (HAH, 2011).

2.3.1. Kvaliteta zamrznutog mesa peradi

Kvaliteta zamrznutog mesa prvenstveno ovisi o brzini zamrzavanja, te o veličini i položaju kristala leda koji nastaju tijekom zamrzavanja. Aktivitet vode u svježem mesu iznosi 0,99, a zamrzavanjem se postupno smanjuje u skladu s formiranjem leda (Gill, 2002).

U pogledu kemijskog sastava, tijekom zamrzavanja mesa najznačajnije promjene u sastavu odnose se na proteine i masti (Asghar i sur., 1988; Soyer i sur., 2010). Rezultati novijih istraživanja pokazuju da se promjene u sastavu zamrzavanog mesa peradi mogu uočiti već nakon 3 mjeseca (Soyer i sur., 2010).

Varnam i Sutherland (1995) ističu da na kvalitetu zamrznutog mesa prije svega utječu promjene nastale na tkivnim strukturama kao posljedica kristalizacije vode i posljedičnog smještaja i veličine kristala. Uslijed tih promjena mijenja se sposobnost vezanja vode mesa (SpVV) što dovodi do cijeđenja i pojave nepoželjnog izgleda mesa, te gubitka sočnosti poslije kulinarske obrade.

Tijekom zamrzavanja nastaju agregacijske reakcije miozina i posljedična tvrdoća mesa, te gubitak sposobnosti vezanja vode. Svojstva miozinskih vlakana utječu na razlike u stabilnosti i održivosti mesa različitih životinjskih vrsta tijekom pohrane u zamrznutom stanju. Sporo zamrzavanje uzrokuje veći gubitak vode pri odmrzavanju i izraženije smanjuje SpVV nego pri brzom zamrzavanju. Također, sporim se zamrzavanjem, u odnosu na brzo, pojavljuju opsežnije proteolitičke promjene i povećanje aktivnosti adenozin-trifosfataze miofibrilarnih proteina (Mackie, 1993).

Promjene u sposobnosti vezanja vode tijekom zamrzavanja dovode do cijeđenja pri otapanju, što je posljedica kretanja vode u izvanstanični prostor i narušavanja miofibrilarne strukture. Dehidracija vlakana i značajno povećanje koncentracije otopine zajedno s narušavanjem miofibrilarne strukture dovode do denaturacije proteina koja izravno utječe na SpVV mesa. Smanjena SpVV utječe na kvalitetu odmrznutog mesa u kojem mišićne stanice nisu sposobne reapsorbirati svu vodu izvanstaničnih prostora (HAH, 2011).

Brzo zamrzavanje rezultira u svjetlijoj boji trupa peradi nego sporije zamrzavanje. Tijekom sporog zamrzavanja koža se suši, skuplja i postaje manje transparentna što rezultira tamnijim vanjskim izgledom nego u slučaju primjene brzog zamrzavanja. Potrošači preferiraju svjetliju boju trupa zamrznute peradi (HAH, 2011).

Isušivanje je, također, negativna biokemijska promjena uzrokovana zamrzavanjem mesa, odnosno gubitkom vode zamrznutih namirnica. Uzrok isušivanja je velika razlika u tlaku vodene pare ovisno o temperaturi. Voda migrira u prostore s nižim tlakom vodene pare. Osim što je uzrokom gubitka na masi namirnice (*drip loss*), isušivanje uzrokuje i ireverzibilne promjene proteina i to najprije mioglobina. Posljedica svega navedenog je promjena boje zamrznutog dugo skladištenog mesa. S produživanjem skladištenja zamrznutog mesa isušivanje zahvaća sve dublje slojeve (Živković, 1986).

Zamrznuto meso koje se pohranjuje na dugo razdoblje također karakteriziraju suhoća, spužvastost, užeglost, promjena boje i arome. Ujedno, dolazi do raspada masti na SMK (slobodne masne kiseline) i glicerol te do oksidativne užeglosti zbog reakcije nezasićenih

masnih kiselina s kisikom iz prostora u kojem se meso skladišti. Pritom nastaju aldehidi, ketoni i kratkolančane masne kiseline, što u konačnici rezultira užeglim okusom i mirisom mesa (HAH, 2011).

Postupak zamrzavanja ima utjecaj na smanjenje kvalitete hrane. Niska temperatura usporava sve enzimatske reakcije. Na uobičajenoj temperaturi zamrzavanja od -20 °C samo se usporava enzimatska aktivnost, a time i promjene kemijskog sastava namirnica, dok je za potpuno zaustavljanje aktivnosti enzima potrebno temperaturu sniziti na -30 °C (HAH, 2011).

Ambalaža je važan čimbenik kvalitete zamrznutog mesa jer može usporiti procese oksidacije u samom mesu, spriječiti dehidraciju, zadržati hlapive spojeve arome, a utječe i na higijensku ispravnost proizvoda te može zaštititi proizvod od fizičkih oštećenja. Često korišteni plastični materijali koji se koriste za pakiranje mesa su polietilen visoke i niske gustoće/polipropilen, PVDC poli(viniliden-klorid)/PVC poli(vinil klorid), EVOH etilen/vinil alkoholna plastika, poliamid (Nylon) i PET poli(etilen-tereftalat). Osim plastičnih materijala, može se koristiti aluminijska i kartonska ambalaža (HAH, 2011).

2.4. VISOKI HIDROSTATSKI TLAK

Primjena visokog tlaka često se navodi kao alternativa termičkoj obradi, a brojne prednosti te tehnologije u usporedbi s klasičnim termičkim tretiranjem očituju se putem (Herceg i sur., 2009):

1. postizanja antimikrobnog učinka uz istodobnu eliminaciju ili znatno skraćivanje postupka zagrijavanja, čime se izbjegava toplinska degradacija komponenti hrane, zadržava se okus, boja i nutritivna vrijednost;
2. ravnomjernog i brzog tretiranja namirnica;
3. smanjene potrebe za dodatkom kemijskih aditiva;
4. stvaranja golemog potencijala za kreiranje novih struktura, okusa i funkcionalnih svojstava hrane ili njezinih komponenata.

Metoda obrade visokim hidrostatskim tlakom podrazumijeva podvrgavanje tekuće ili krute hrane, s ambalažom ili bez nje, djelovanju tlaka od 100 do 800 MPa (1000 MPa).

Temperatura procesa može se kretati od niže od 0 °C do više od 100 °C, a vrijeme izloženosti djelovanju tlaka može varirati od nekoliko sekundi do više od 20 minuta. Djelovanje visokog tlaka uzrokuje promjenu volumena sustava koji se obrađuje, a objašnjava se Le Chatelier-Braunovim zakonom. Prema tom zakonu, kad se na neki sustav koji je u stanju ravnoteže djeluje povećanjem tlaka, sustav reagira tako da nastoji smanjiti tlak i vratiti se u ravnotežu. Posljedično se, pod djelovanjem povišenog tlaka, pospješuju one reakcije koje vode k smanjenju volumena, a mogu se odnositi na bilo koji fenomen u ravnoteži. Tehnologija primjene visokog tlaka učinkovita je sa stajališta potrošnje energije budući da se jednom postignuti željeni tlak može održavati tijekom potrebnog vremena bez dodatnog dotoka energije (Herceg i sur., 2009). Zbog djelovanja visokog tlaka tijekom faze kompresije dolazi do povišenja temperature unutar tretiranog uzorka (adijabatsko zagrijavanje). Intenzitet povišenja temperature ovisi o sastavu uzorka. Za vodu i namirnice koje sadrže zamjetan udjel vode iznosi približno 3 °C/100 MPa, dok za uzorke koji sadrže veću količinu masti, povišenje temperature tijekom tretiranja može biti tri puta veće (6,3-8,7 °C/100 MPa). Namirnice koje se obrađuju visokim tlakom trebaju u pravilu biti pakirane u fleksibilnu ambalažu (vrećice ili plastične boce) koja mora imati mogućnost podnošenja otprilike 15 %-tnog smanjenja obujma u fazi kompresije te povratka u prvobitno stanje u fazi dekompresije (Krešić, 2011).

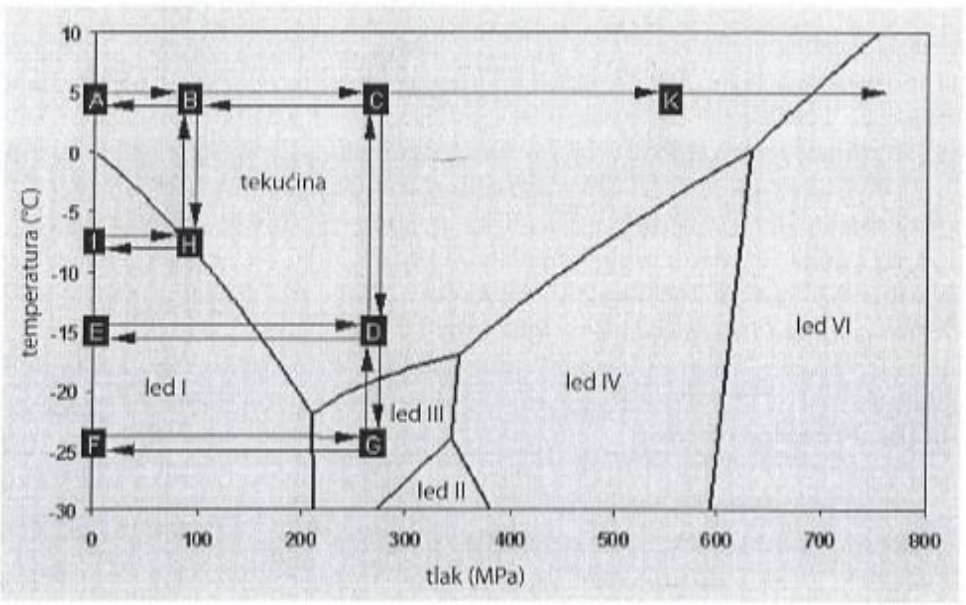
2.4.1. Zamrzavanje visokim tlakom - HPLT postupci

Karakteristični fazni prijelazi vode uključeni u postupke zamrzavanja i odmrzavanja u kombinaciji s visokim tlakom (engl. *High Pressure Low Temperature*, HPLT) predmet su interesa u prehrambenoj tehnologiji u svrhu postizanja što bolje kvalitete zamrznute i odmrznute hrane, te mogućnosti čuvanja hrane na temperaturama nižim od 0 °C bez zamrzavanja. Jedna od glavnih prednosti korištenja visokog tlaka pri zamrzavanju i odmrzavanju hrane je skraćivanje vremena potrebnog za odmrzavanje, nastanak manjih kristala leda te manje oštećivanje stanične strukture, što sve pridonosi boljoj kvaliteti proizvoda (Herceg i sur., 2009). Već je Bridgman (1912) pokazao da voda ostaje u tekućem stanju pri temperaturi od -22 °C ako se nalazi pod tlakom od 207,5 MPa, budući da u skladu s Le Chatelier-Braunovim načelom, reakcija prijelaza vode iz tekućeg stanja u led I (koji je uobičajena forma leda pri atmosferskom tlaku) nije pospješena visokim tlakom. Upravo je to

otkriće otvorilo put k istraživanju mogućnosti primjene postupaka kontrole faznih prijelaza vode koji uključuju visoki tlak i nisku temperaturu.

Osnovni pojmovi koji se povezuju s faznim prijelazima vode poradi djelovanja visokog tlaka jesu (Herceg i sur., 2009):

1. postupci potpomognuti tlakom (engl. *pressure-assisted*): postupci u kojima se promjena faza događa pri konstantnom tlaku;
2. postupci s pomakom (engl. *pressure-shift*): postupci u kojima je promjena faze uzrokovana promjenom tlaka;
3. postupci uzrokovani tlakom (engl. *pressure-induced*): postupci u kojima prijelaz faza započinje kao posljedica djelovanja visokog tlaka, a nastavlja se pri konstantnom tlaku.



Slika 1. Moguće promjene faza vode pod djelovanjem visokog tlaka (Knorr i sur., 1998)

U području visokog tlaka i niske temperature za sustave hrane koji sadržavaju znatnu količinu vode, mogući su različiti putovi koji mogu, ali i ne moraju uzrokovati fazne prijelaze (tekuće/kruto ili kruto/kruto) (Knorr i sur., 1998):

1. čuvanje bez zamrzavanja pri temperaturama nižim od 0 °C (engl. *subzero storage without freezing*) (A→B→C→D→C→B→A);
2. zamrzavanje potpomognuto tlakom (engl. *pressure-assisted freezing*) (A→B→H→I): pri tom se postupku nezamrznuti uzorak najprije tretira visokim tlakom, a zatim se pri konstantnom tlaku snižava temperatura te provodi zamrzavanje; pri tome nastaju različiti tipovi kristala ovisno o uvjetima tlak-temperatura;
3. pomak točke zamrzavanja poradi djelovanja visokog tlaka (engl. *pressure-shift freezing*) (A→B→C→D→E);
4. odmrzavanje potpomognuto tlakom (engl. *pressure-assisted thawing*) (I→H→B→A);
5. odmrzavanje uzrokovano tlakom (engl. *pressure-induced thawing*) (E→D→C→B→A);
6. zamrzavanje u led III (A→B→C→D→G→F) i odmrzavanje leda III (F→G→D→C→B→A);
7. zamrzavanje uzrokovano tlakom (engl. *pressure-induced freezing*) (A→B→C→K); tim je postupkom moguće konstantnim povišenjem tlaka provesti zamrzavanje čak i pri temperaturama višim od 0 °C te tako dovesti do nastanka faze led VI.

Opisani fazni prijelazi vode (tekuće/kruto ili kruto/kruto) uzrokuju nastanak kristala ili promjenu tipa kristala leda (popraćenu promjenom gustoće pojedine faze i promjenom volumena uzorka), a što se odražava na teksturu (mikrostrukturu) uzorka ovisno o svojstvima samog kristala (tip i gustoća, broj, veličina i oblik, stabilnost tijekom skladištenja, itd.). Takvi prijelazi mogu također uzrokovati smrtonosna strukturalna ili metabolička oštećenja mikroorganizama zbog mehaničkog djelovanja tlaka na staničnu ovojnicu, promjene točke taljenja fosfolipida stanične membrane, denaturacije proteina membrane ili denaturacije staničnih enzima.

2.4.2. Djelovanje visokog tlaka na mikroorganizme

Budući da su, općenito, mikroorganizmi inaktivirani kad su izloženi djelovanju faktora koji mijenjaju njihovu staničnu strukturu ili fiziološke funkcije, smatra se da je upravo

puknuće stanične membrane glavni uzrok inaktivacije mikroorganizama poradi djelovanja povišenog tlaka, dok ostali mogući mehanizmi koji dovode do inaktivacije mikroorganizama uključuju povećanje propusnosti stanične membrane te inhibiciju enzima nužnih za preživljavanje i reprodukciju bakterijskih stanica. Osim inaktivacije, visoki tlak također može uzrokovati reverzibilne i ireverzibilne morfološke promjene na stanicama mikroorganizama koje posljedično mogu dovesti do njihove inaktivacije (Herceg i sur., 2009).

Tablica 2. Strukturalne i funkcionalne promjene na mikroorganizmima poradi djelovanja visokog tlaka (prerađeno prema Lado i sur., 2002)

Jakost tlaka	**Strukturalne i funkcionalne promjene**
oko 50 MPa	inhibicija sinteze proteina; redukcija broja ribosoma
do 100 MPa	reverzibilna denaturacija proteina; kompresija zračnih vakuola
oko 180 MPa	granica smrtnosti
oko 200 MPa	oštećenje membrane; znakovi istjecanja staničnog sadržaja
oko 300 MPa i više	ireverzibilna denaturacija proteina; istjecanje staničnog sadržaja

Visoki tlak može potpuno inaktivirati neke stanice mikrobne populacije, dok neke stanice može samo oštetiti. Po završetku tretiranja te subletalno oštećene stanice mogu se oporaviti (npr. za vrijeme skladištenja). Upravo stoga prilikom proučavanja mikrobiološke sigurnosti realnih sustava hrane uz utjecaj komponenata hrane na otpornost mikroorganizama prema djelovanju tlaka, u obzir treba uzeti i oporavak mikroorganizama u hrani nakon tretiranja (Herceg i sur., 2009).

2.4.3. Djelovanje visokog tlaka na osnovne sastojke hrane

Za vrijeme obrade, promjene obujma namirnice dovode do kemijskih reakcija koje izravno utječu na intramolekulske interakcije unutar namirnice. Najčešće dolazi do pucanja slabih vodikovih, ionskih i hidrofobnih veza, dok je učinak na jake kovalentne veze vrlo ograničen i u većini slučajeva one ostaju nepromijenjene. Najjači utjecaj visokih tlakova na sastojke mesa je na mastima, proteinima, enzimima i vodi (Tewari, 2007).

2.4.3.1. Djelovanje visokog tlaka na vodu

Kao posljedica djelovanja tlaka na vodu dolazi do promjena u faznom dijagramu vode, budući da djelovanjem visokog tlaka dolazi do snižavanja temperature ledišta i tališta, ovisno o visini tlaka, a što se odražava i na promjene u temperaturama faznih prijelaza proizvoda koji sadrže veće udjele vode. Praktična važnost utjecaja visokog tlaka na fazne prijelaze vode očituje se u ovome (Herceg i sur., 2009):

1. mogućnosti provođenja brzog i ravnomjernog odmrzavanja biološkog materijala pri niskim temperaturama (između -20 °C i 0 °C);
2. mogućnosti skladištenja biološkog materijala pod povišenim tlakom na temperaturama između 0 °C i -20 °C, a bez nastanka kristala leda;
3. mogućnosti provedbe brzog i ravnomjernog zamrzavanja biološkog materijala ako se on najprije obrađuje na 200 MPa, a potom se ohladi na -20 °C (bez zamrzavanja) te se naglo otpusti tlak. Na ovaj način dolazi do mikrokristalizacije koja u usporedbi s klasičnim zamrzavanjem uzrokuje manje neželjene promjene teksture hrane.

Fenomen faznog prijelaza vode pri povišenom tlaku može imati primjenu u prehrambenoj industriji i to pri postupcima zamrzavanja i odmrzavanja hrane (Krešić i sur., 2011).

2.4.3.2. Djelovanje visokog tlaka na proteine, enzime i lipide mesa

Struktura proteinskih lanaca, pH i temperatura okolnog medija imaju najizraženiji utjecaj na proteine mesa obrađenog visokim tlakom. Tercijarna i kvaterna struktura proteinskih lanaca mijenja se tek primjenom tlakova koji su viši od 100 MPa, dok primarna i sekundarna struktura ostaju nepromijenjene (Galazka i sur., 1996).

Najizraženije promjene događaju se na endogenim enzimima mesa. Utjecaj visokih tlakova na enzimsku aktivnost je dvojak, jer enzimi reagiraju drugačijim mehanizmom nakon ekstrakcije iz namirnice, ali generalno gledajući visoki tlak učinkovito djeluje na aktivaciju i inaktivaciju enzima koja ovisi isključivo o vrijednosti tlaka u cilindru (Hendricx i sur., 1998).

Posljedica utjecaja visokog tlaka na lipide je oksidacija slobodnih masnih kiselina kao i povišenje tališta (Lawrie, 1998).

2.4.4. Utjecaj visokog tlaka na parametre kvalitete mesa

Mišićno je tkivo vrlo osjetljivo na djelovanje visokog tlaka pri niskoj ili umjerenoj temperaturi. U poželjne i potencijalno korisne promjene na mesu poradi djelovanja povišenog tlaka ubrajaju se: omekšavanje tkiva, kontrola enzimatskih reakcija u mišićima, mikrobna inaktivacija, smanjeno prekuhavanje, produljeno vrijeme skladištenja pri sniženoj temperaturi, poboljšano želiranje i sposobnost vezanja vode, snižena temperatura odmrzavanja te poboljšana funkcionalna svojstva proteina i masti (Cheftel i Culioli, 1997).

Jedna od ključnih negativnih posljedica tretiranja visokim tlakom je gubitak boje svježeg mesa koji je posljedica promjena na mioglobinu, a očituje se u porastu žuto-zelene komponente i smanjenju udjela crvene komponente. Prilikom obrade dimljenih proizvoda, bijelog mesa ili ribe nema navedenih negativnih promjena boje (Herceg i sur., 2009).

Modifikacija strukture mesa zbog djelovanja visokog tlaka ovisi o vremenu *post mortem* kada je tlak apliciran. Ukoliko se visoki tlak primijeni u vrijeme rane faze *pre-rigor*, dolazi do kontrakcije mišića i njihovog skraćivanja za 35-50 %. Kada se visoki tlak primijeni u *post-rigor* fazi, nema kontrakcije, ali su uočljive jake modifikacije strukture sarkomera. Ukoliko se meso u *pre-rigor* fazi podvrgne djelovanju tlaka, nastala struktura će biti vrlo nježna i stisnuta, ali učinak će izostati ako se tretiranje visokim tlakom kombinira s komercijalnim postupcima zrenja mesa (npr. *post-rigor* pri niskoj temperaturi) (Krešić i sur., 2011).

Duboko zamrzavanje pri visokim tlakovima postiže se postupnim povećanjem tlaka do 220 MPa i snižavanjem temperature od početnih 0 °C do konačnih -22 °C. Kod namirnica s visokim udjelom vode, kao što je meso, smanjenjem tlaka na atmosferski se postiže vrlo učinkovito odmrzavanje. Tehnika brzog zamrzavanja dovodi do formiranja velikog broja malih kristala leda, dok sporim zamrzavanjem dolazi do stvaranja manjeg broja većih kristala leda. Kod tehnike sporog zamrzavanja dolazi do narušavanja teksture zamrznute namirnice, čime se osim teksturnih narušavaju i organoleptička svojstva. Prednost zamrzavanja visokim tlakom do 220 MPa je ta da voda u namirnici tijekom obrade ostaje u tekućem stanju.

Smanjenjem tlaka se u vrlo kratkom vremenskom intervalu stvaraju vrlo mali homogeni kristali leda koji ne narušavaju teksturu namirnice (Sanz i sur., 1999; Martino i sur., 1998).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJAL

Pri izradi eksperimentalnog dijela korišteni su iskošteni prsni mišići pilića iz ekološkog uzgoja kupljeni na istom mjestu od istog proizvođača (″Peradarstvo Obrubić″).

3.2. METODE RADA

3.2.1. Zamrzavanje visokim hidrostatskim tlakom

Princip metode:

Uzorci piletine pakirani su u PE vrećice i vakuumirani. Prije početka obrade visokim hidrostatskim tlakom kalibrirano je očitanje tlaka i temperature na uređaju. Tlačna tekućina (glikol-voda = 3:1) temperirana je na -20 ± 1 ºC korištenjem izmjenjivača topline i kriostata CC-515 (Huber, Njemačka). Nakon postizanja željene temperature uzorci su ubačeni u tlačnu posudu, te je pokrenut postupak tlačenja:

1. 150 MPa/30 minuta;
2. 250 MPa/60 minuta.

Čitav postupak je potpuno automatiziran preko SCADA sustava, gdje su podešeni željeni parametri tlaka i vremena, te očitavane vrijednosti tlaka i temperature. Svi uzorci obrađeni su u jednom tlačnom ciklusu, pri čemu je brzina podizanja tlaka (kompresije) iznosila 10 $MPa \cdot s^{-1}$, a dekompresije 20 $MPa \cdot s^{-1}$. Nakon završetka postupka, ambalaža je očišćena od tlačne tekućine i uzorci su prije daljnjih ispitivanja pohranjeni u zamrzivaču (-20 ºC).

Uređaj za tretiranje visokim hidrostatskim tlakom:

Za provedbu eksperimenta korišten je uređaj SFP9000 (Stansted Fluid Power, Velika Britanija) volumena 2 L i maksimalnog tlaka od 900 MPa.

Tipični uređaj za tretiranje visokim hidrostatskim tlakom sastoji se od 3 glavna dijela:

1. uređaj za generiranje tlaka (kompresiju);
2. uređaj s tlačnim cilindrom za tretiranje materijala;
3. kontrolni sustav za upravljanje postupkom.



Slika 2. Uređaj za tretiranje visokim hidrostatskim tlakom korišten za provedbu eksperimenta (vlastita fotografija)

Najvažniji dio uređaja je tlačni spremnik koji je obično monolitni, cilindričnog oblika izrađen od legiranog čelika koji može izdržati velika naprezanja (Krešić, 2011). Debljina zida je određena maksimalnim radnim tlakom, promjerom posude i režimom rada za koji je namijenjen, a koji je definiran brojem i vremenom trajanja ciklusa. Nakon što je spremnik napunjen materijalom (u adekvatnoj ambalaži ili bez) koji se želi obrađivati, puni se medijem za prijenos tlaka (Herceg i sur., 2009). Kao medij za prijenos tlaka u obradi hrane obično se upotrebljavaju: voda, smjesa vode i glikola, silikonska ulja, otopina natrijeva benzoata ili razrijeđeni etanol (Krešić, 2011). Sa stajališta sigurnosti hrane, medij za prijenos tlaka mora biti netoksičan te je isključena uporaba mineralnih ulja. Ako se radi o internoj kompresiji, sustav se komprimira pomoću klipa čije pomicanje regulira pumpa. Za primjenu eksterne

kompresije neophodan je pojačivač koji djeluje kao multiplikator tlaka koji se postiže pomoću pumpe za tekućinu. Materijal koji se upotrebljava za izradu ambalaže u kojoj se provodi tretiranje visokim tlakom mora imati mogućnost podnošenja promjene volumena (elastičnost za otprilike 15 % tijekom faze kompresije te povratak u originalni volumen u fazi ekspanzije) bez oštećenja, mijenjanja propusnosti ili promjene bilo kojega drugog svojstva. Budući da visoki hidrostatski tlak djeluje trenutačno i ravnomjerno kroz hranu koja se tretira, veličina pakiranja i oblik ambalaže nisu faktori koji znatno određuju parametre postupka (Herceg i sur., 2009).

3.2.2. Određivanje gubitka na masi (*drip loss*)

Uzorci pilećih prsa iz ekološkog uzgoja izvagani su prije tretmana. Nakon tretiranja uzoraka zadanim tlakovima te nakon konvencionalnog zamrzavanja kontrolnih uzoraka (-20 °C), uzorci su stavljeni na odmrzavanje i nakon odmrzavanja su ponovno izvagani, a potom je pomoću tih podataka izračunat njihov gubitak na masi (engl. *drip loss*).

Gubitak na masi izračunat je prema sljedećoj formuli:

$$drip \quad loss(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_0} x100 \qquad [1]$$

pri čemu su m_0 – masa prsa prije stavljanja u vakuum vrećice, a m_1 – masa prsa nakon odmrzavanja.

3.2.3. Određivanje sposobnosti vezanja vode (SpVV) i prinosa pri kuhanju (PPK)

Sposobnost vezanja vode (SpVV) i prinos pri kuhanju (PPK) određeni su metodom po Van Laack i sur. (2000). Ukratko, 6 g usitnjenog uzorka izvagano je u plastičnu epruvetu od 50 mL. Dodano je 10 mL 3,5 %-tne otopine NaCl i epruveta je zatvorena i protresena 15 s.

Otopina je ostavljena 30 min na 25 °C te potom centrifugirana 15 min, 3,000 x g. Nakon toga je supernatant odbačen, a epruveta je osušena. Potom je epruveta s peletom izvagana i izračunata je sposobnost vezanja vode (engl. *moisture uptake*).

$$SpVV(\%) = \frac{m_{pelet+epruveta} - m_{epruveta} - 6{,}00}{6{,}00} x100 \qquad [2]$$

Nakon vaganja epruvete su začepljene i stavljene na 80 °C tijekom 20 min. Nakon kuhanja izliveni su sokovi, tube su osušene te je izračunat prinos pri kuhanju (engl. *cooking yield*).

$$PPK(\%) = \frac{m_{pelet+epruveta} - m_{epruveta}}{6{,}00} x100 \qquad [3]$$

3.2.4. Određivanje boje tretiranih uzoraka pilećih prsa iz ekološkog uzgoja

Za određivanje boje pilećih prsa korišten je prijenosni spektrofotometar CM-700d (Konica Minolta, Japan) pri čemu je odabrana maska otvora od 8 mm. Uređaj kao izvor svjetla koristi pulsirajuću ksenon lampu dizajniranu tako da daje standardni difuzni izvor svjetla D65. Neovisno o valnoj duljini svjetlo reflektirano od uzorka skuplja se u integrirajućoj sferi te se normalizira prema izvoru svjetla reflektancije. Zbog toga je prije mjerenja uređaj kalibriran čisto bijelim standardom (100 %-tna refleksija) čime su dobivene L*, a* i b* vrijednosti. Prilikom određivanja boje mesa, uzorak je postavljen tako da prekriva cijeli otvor maske, a kao rezultat dobivena je reflektancija uzorka u čitavom području vidljivog spektra te L*, a* (zeleno-crveno) i b* (plavo-žuto) vrijednosti.



Slika 3. Spektrofotometar korišten prilikom određivanja boje mesa (Anonymous, 2016)

3.2.5. Instrumentalno određivanje teksture tretiranih uzoraka pilećih prsa iz ekološkog uzgoja

Prilikom instrumentalnog određivanja teksture mesa korišten je analizator teksture (engl. *Texture Analyser*) TA-HD plus (Stable Micro Systems, Velika Britanija).

Priprema uzorka:

Korištenjem digitalne pomične mjerke i oštrog noža (skalpela) izrezan je uzorak svježeg pilećeg mesa dimenzija 15 mm x 20 mm x 10 mm (širina x dužina x visina). Temperatura uzorka je do početka ispitivanja održavana na konstantnoj temperaturi od 4 ± 1 °C.

Kalibracija uređaja:

Prije početka serije ispitivanja nužno je provesti kalibraciju uređaja kako bi sustav mogao odrediti vezu između signala (električni otpor) i postignute sile. Kalibracija je provedena korištenjem programa Exponent. U programu su odabirom opcija *T.A. - Calibrate - Calibrate Force* i *T.A. - Calibrate – Calibrate Height* kalibrirane sila ili visina.



Slika 4. Uređaj korišten za instrumentalno određivanje teksture mesa (vlastita fotografija)

Analiza uzorka i rezultata:

Nakon instalacije postolja i sonde, uzorak je postavljen na sredinu metalnog postolja. U programu Exponent brzina prodiranja sonde podešena je na 1 mms^{-1} uz dubinu prodiranja od 15 mm. Računalo je postavljeno tako da počinje zapisivati vrijednosti kada sonda dođe u kontakt s uzorkom pri čemu minimalna izmjerena sila potrebna za početak mjerenja iznosi 0,001 N. Instrumentom je izmjeren jedan puni TPA (engl. *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 0,001 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 korištena u istraživanju je N. Elastičnost je izračunata kao udaljenost koju je sonda prešla od početka prodiranja do lomljenja uzorka te je izražena u mm. Za dobivanje vrijednosti adhezivnosti uzorka izmjerena je površina iznad krivulje ovisnosti sile o putu, nastale tijekom izvlačenja sonde iz samog uzorka. Rad potreban za prvi zagriz u materijal izračunat je kao površina ispod krivulje ovisnosti sile o putu, sve do krajnje točke prodora sonde u uzorak. Rad se izražava u N•m, odnosno u J, ali je u istraživanju, kao što je to uobičajeno u praksi,

korišten N•mm ili mJ (Lu i Abbot, 2004; Kilcast, 2004). Metodom prodiranja sondom dobiveni su tvrdoća, elastičnost i rad.

3.3. STATISTIČKA ANALIZA

Statistički izračun postignutih podataka određen je jednosmjernom analizom varijance (engl. *one-way ANOVA test*) uz razinu značajnosti 5 % ($P<0,05$) statističkim programom SPSS 12.0.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je ispitati kako će zamrzavanje visokim hidrostatskim tlakom (150 MPa/30 min, 250 MPa/60 min) pri temperaturi od -20 °C utjecati na kvalitetu mesa peradi iz ekološkog uzgoja na temelju određivanja gubitka na masi (*drip loss*), sposobnosti vezanja vode (SpVV) i prinosa pri kuhanju (PPK), te boje i teksture mesa.

Slika 5. grafički prikazuje rezultate utjecaja visokog hidrostatskog tlaka na gubitak na masi (*drip loss*) pri temperaturi -20 °C.

Na slici 6. i slici 7. grafički su prikazani rezultati utjecaja visokog hidrostatskog tlaka na sposobnost vezanja vode (SpVV) i prinos pri kuhanju (PPK) pri temperaturi od -20 °C.

Slika 8. grafički prikazuje rezultate utjecaja visokog hidrostatskog tlaka na boju pilećih prsa (L*, a*, b* vrijednosti) pri temperaturi od -20 °C.

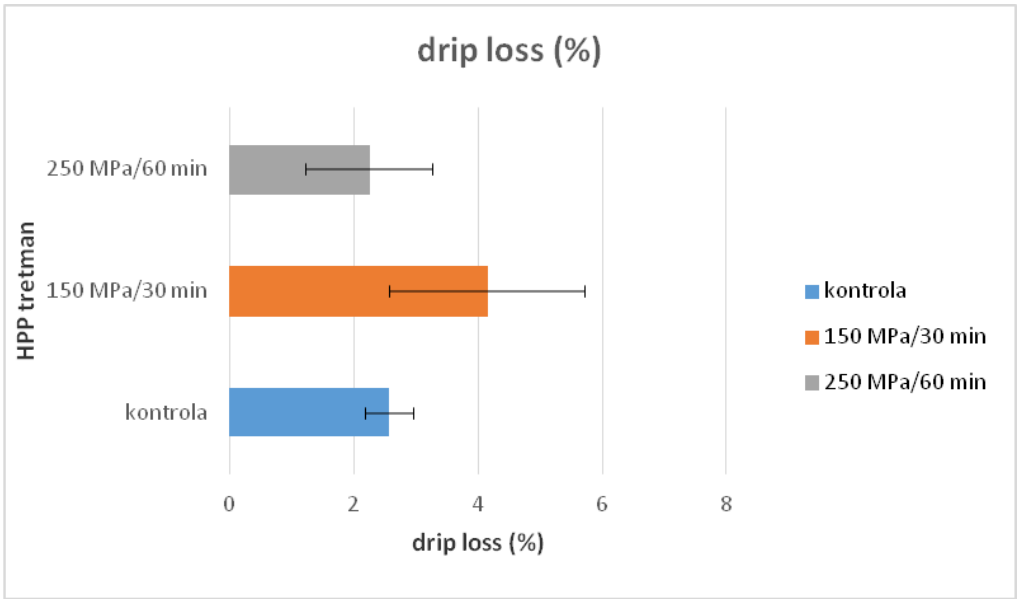
U tablici 3. prikazani su rezultati utjecaja visokog hidrostatskog tlaka na teksturu mesa (tvrdoća, elastičnost, rad) pri temperaturi od -20 °C.

4.1. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA GUBITAK NA MASI (*drip loss*) PRI TEMPERATURI OD -20 °C

Gubitak na masi (iscjedni ili kapaoni gubitak) (*drip loss*) je tekućina koju ispusti svježe meso putem pasivne eksudacije. Brzina zamrzavanja mesa može imati značajan utjecaj na količinu iscjetka prilikom otapanja. Ako je meso zamrznuto u vrlo kratkom vremenu, kvaliteta mesa nakon odmrzavanja može biti bolja uz manje količine iscjetka u odnosu na meso koje je zamrzavano polako. Brzo zamrzavanje potiče formiranje malih kristalića leda, dok sporo zamrzavanje pogoduje nastanku većih kristala leda. Veliki kristali leda uzrokuju veće širenje i mogu prouzročiti rupture staničnih membrana. Većina tih kristala leda stvara se izvan mišićne stanice jer je koncentracija otopina u ekstracelularnom prostoru manja, a time je niža i točka ledišta. No, zbog „nazubljene“ i hrapave površine i oblika, kristali leda mogu uzrokovati značajna oštećenja stanične membrane (Karolyi, 2004).

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 5. vidljivo je da primjena tlaka od 250 MPa u trajanju od 60 minuta uzrokuje manji gubitak na masi nego kad se primjenjuje tlak od 150 MPa u trajanju od 30 minuta, ali i kad se primjenjuje metoda konvencionalnog zamrzavanja. Tlak od 250 MPa dovodi do gubitka na masi od 2,24 %. Tlak od 150 MPa uzrokuje gubitak na masi od 4,14 %, dok konvencionalno zamrzavanje uzrokuje gubitak na masi od 2,56 %. Ne postoji statistički značajna razlika između kontrolnih uzoraka te uzoraka tretiranih tlakovima od 150 MPa i 250 MPa.

Rezultati ovog istraživanja najvećim dijelom su u skladu s rezultatima Korzeniowski i sur. (1999) koji su tretiranjem svinjskog mesa visokim tlakom utvrdili da primjena višeg tlaka od 400 MPa uzrokuje manji gubitak na masi (4 %) nego kad se primjenjuje niži tlak od 200 MPa (7 %), odnosno isti gubitak na masi (4 %) kod uzoraka koji nisu tretirani visokim tlakom, te rezultatima Kruk i sur. (2011) koji su tretiranjem pilećeg mesa visokim tlakom pokazali da između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih tlakom od 300 MPa ne postoji statistički značajna razlika na gubitku mase kuhanjem.



Slika 5. Grafički prikaz ovisnosti gubitka na masi (%) o HPP tretmanu (engl. *High Pressure Processing*)

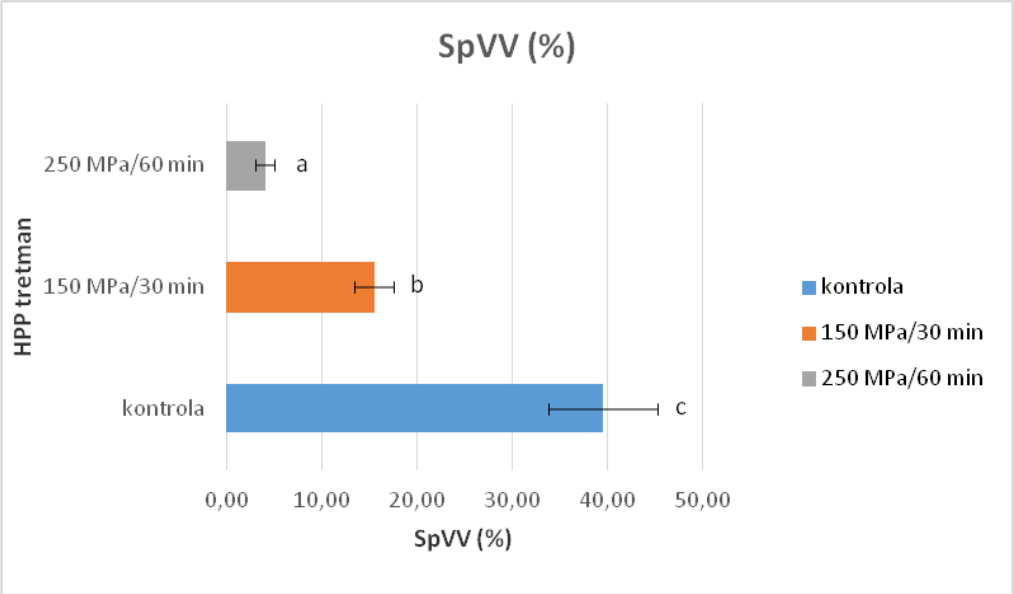
4.2. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA SPOSOBNOST VEZANJA VODE (SpVV) I PRINOS PRI KUHANJU (PPK) PRI TEMPERATURI OD -20 °C

Sposobnost vezanja vode (SpVV) u mesu je u stvari sposobnost mišića da *post mortem* zadrže vodu spontano i pod utjecajem vanjskih čimbenika, poput gravitacije ili termičke obrade (Karolyi, 2004). Princip je takav da što je količina izdvojene vode iz mesa veća, to je sposobnost mesa da zadrži vodu manja i obratno. Slabija SpVV u mesu nije poželjna jer dovodi do brojnih ekonomskih gubitaka: umanjena je nutritivna vrijednost mesa (gubitak dijela proteina, vitamina i minerala u iscjetku), lošije su prerađivačke osobine mesa, veći je gubitak mase prije prodaje (kalo) te je slabija prodaja mesa (odbojno djelovanje iscjetka na potrošače). Osim toga, proizvođačima, prerađivačima i potrošačima je u cilju imati meso što je moguće bolje kakvoće, a samim time i meso koje ima veću SpVV. Sposobnost vezanja vode je kompleksno svojstvo na koje utječu brojni fiziološki čimbenici (pH, vrsta životinje, pasmina, spol, dob, tjelesna masa pri klanju, tip mišića i njegova anatomska pozicija), zatim uzgojni uvjeti (sustav držanja, postupci sa životinjama prije klanja) te čimbenici vezani uz klanje i daljnje preradbene procese kao što su omamljivanje, uvjeti hlađenja, zamrzavanje i odmrzavanje, zrenje, pakiranje i dr. (Hertog-Meischel i sur., 1997).

Prema rezultatima dobivenim za sposobnost vezanja vode (slika 6.) te prinos pri kuhanju (slika 7.) vidljivo je da tretman zamrzavanjem visokim hidrostatskim tlakom utječe na navedene parametre. Povećanjem tlaka smanjuje se sposobnost vezanja vode i prinos pri kuhanju. Ipak, tlak od 150 MPa imao je manji utjecaj na smanjenje vrijednosti parametara, te sposobnost vezanja vode kod tih uzoraka iznosi 15,47 %, a vrijednost za prinos pri kuhanju je 89,45 %. Sposobnost vezanja vode kontrolnih uzoraka iznosi 39,56 %, dok je prinos pri kuhanju 110,25 %. Tlak od 250 MPa više je utjecao na vrijednosti sposobnosti vezanja vode te prinosa pri kuhanju. Kod tih uzoraka SpVV iznosi 4,02 %, a PPK 80,50 %. Statističkom obradom podataka utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika za SpVV vrijednosti za sve uzorke. Također, postoji statistički značajna razlika za PPK vrijednosti između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih tlakovima, dok između uzoraka tretiranih tlakovima od 150 MPa i 250 MPa ne postoji statistički značajna razlika.

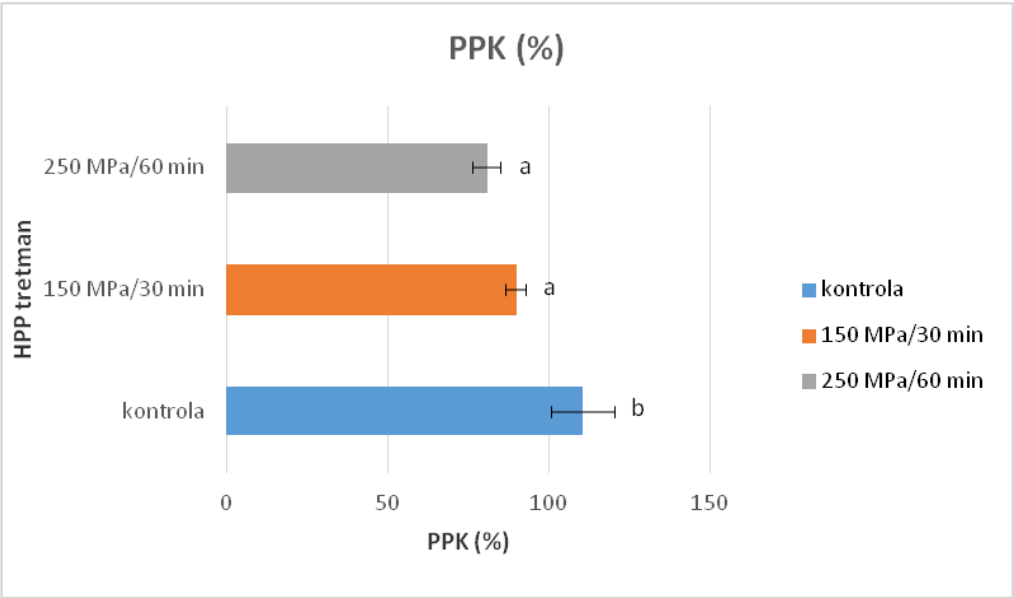
Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima Omana i sur. (2011) koji su tretiranjem pilećih prsa visokim tlakom pokazali da se povećanjem primijenjenog tlaka statistički

značajno smanjuje sposobnost vezanja vode mesa i potvrđuju tvrdnju Campus i sur. (2010) da je sposobnost vezanja vode u negativnoj uzajamnoj vezi s visokim tlakom. McArdle i sur. (2010) smatraju da do smanjenja SpVV mišićnog tkiva prilikom tretiranja visokim tlakom dolazi zbog denaturacije miofibrilarnih i sarkoplazmatskih proteina.



*različita slova - a, b, c označavaju statistički značajnu razliku, p<0,05

Slika 6. Grafički prikaz ovisnosti sposobnosti vezanja vode (%) o HPP tretmanu



*različita slova - a, b označavaju statistički značajnu razliku, p<0,05

Slika 7. Grafički prikaz ovisnosti prinosa pri kuhanju (%) o HPP tretmanu

4.3. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA BOJU PILEĆIH PRSA (L*, a*, b* VRIJEDNOSTI) PRI TEMPERATURI OD -20 °C

Studije su pokazale kako boja pilećeg mesa značajno utječe na ponašanje potrošača te njihovu odluku o kupovini mesa (An i sur., 2004). Pri tome je pokazano kako većina potrošača tijekom kupovine preferira pileće meso intenzivnije pigmentacije (Ponsano i sur., 2002).

Boja mesa koja se u sustavu CIELAB opisuje sljedećim značajkama: L* (svjetlina), a* (crvena komponenta) i b* (žuta komponenta) zamjetno se mijenja zbog djelovanja visokog tlaka (Krešić i sur., 2011).

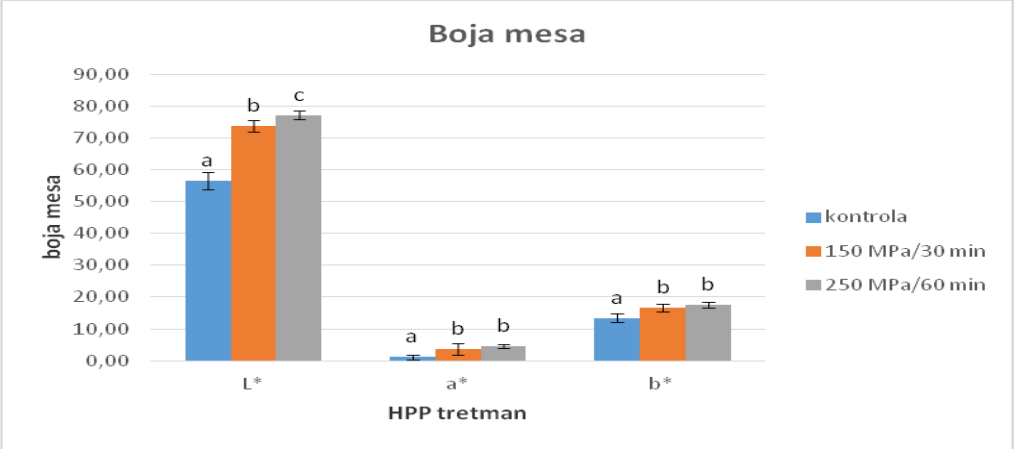
Na slici 8. prikazani su rezultati procjene boje pilećeg mesa. L* (svjetlina) vrijednost raste kako raste primijenjeni tlak. Meso s većom L* vrijednosti nakon tretmana ima svjetliju boju u odnosu na netretirani uzorak. Prema tome, najsvjetliju boju imali su uzorci tretirani tlakom od 250 MPa u trajanju od 60 minuta i njihov L* iznosi 77,22. L* vrijednost uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa iznosi 73,81, dok kontrolni uzorci imaju najnižu L* vrijednost (56,55). Statističkom obradom podataka utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika za L* vrijednosti za sve uzorke.

Iz slike 8. vidljivo je da a* (crvene) vrijednosti rastu porastom tlaka. a* vrijednost kontrolnih uzoraka iznosi 1,20; uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa 3,59 i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa 4,51. Postoji statistički značajna razlika za a* vrijednosti između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih tlakovima, dok između uzoraka tretiranih tlakovima od 150 MPa i 250 MPa ne postoji statistički značajna razlika.

Iz slike 8. vidljivo je da b* (plavo-žute) vrijednosti rastu porastom tlaka. b* vrijednost kontrolnih uzoraka iznosi 13,41; uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa 16,63 i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa 17,52. Postoji statistički značajna razlika za b* vrijednosti između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih tlakovima, dok između uzoraka tretiranih tlakovima od 150 MPa i 250 MPa ne postoji statistički značajna razlika.

Rezultati ovog istraživanja u skladu su s rezultatima Rodriguez-Calleja i sur. (2012) i Kruk i sur. (2011) koji su tretiranjem filea pilećih prsa visokim tlakom pokazali da se povećanjem tlaka povećavaju L*, a* i b* vrijednosti, te potvrđuju tvrdnje brojnih istraživača da visoki hidrostatski tlak statistički značajno utječe na boju pilećeg mesa. Povećanje L*

(svjetline) vrijednosti mesa tretiranog visokim tlakom, tzv. „efekt izbjeljivanja“, uzrokovano je denaturacijom mioglobina i/ili otpuštanjem/premještanjem hema (Carlez i sur., 1995) i koagulacijom sarkoplazmatskih i miofibrilarnih proteina (Goutefongea i sur., 1995). Prema Jung i sur. (2003), enzimi koji reduciraju metmioglobin (smeđi pigment) u oksi/deoksimioglobin (crveni pigmenti) su aktivirani pri tlakovima do 350 MPa i uzrokuju povećanje a* vrijednosti; pri višim tlakovima ti enzimi bili bi deaktivirani (smanjivanje crvene komponente). Dobiveni rezultati za a* i b* vrijednosti ne odgovaraju rezultatima istraživanja Omana i sur. (2011) koji su utvrdili da se a* vrijednosti smanjuju s povećanjem apliciranog tlaka pri svim temperaturama, odnosno da se b* vrijednosti značajno ($P<0,05$) reduciraju s povećanjem apliciranog tlaka pri temperaturi od 20°C. Cheah i Ledward (1996) smatraju da je moguće da su kontradiktorni rezultati između različitih istraživanja glede a* i b* vrijednosti posljedica procesa reverzibilne denaturacije mioglobina tijekom skladištenja.



*različita slova - a, b, c označavaju statistički značajnu razliku, $p<0,05$

Slika 8. Grafički prikaz ovisnosti boje mesa o HPP tretmanu

4.4. UTJECAJ VISOKOG HIDROSTATSKOG TLAKA NA TEKSTURU MESA PRI TEMPERATURI OD -20 °C

Porastom tlaka dolazi do snižavanja ledišta vode s 0 °C koliko iznosi pri atmosferskom tlaku, na -21 °C pri tlaku od 210 MPa. Ukoliko se provede zamrzavanje hrane pod uvjetima povišenog tlaka, voda ostaje u tekućem stanju. Nakon otpuštanja tlaka, dolazi do brze i ravnomjerne kristalizacije vode i nastanka malih kristala leda, što pozitivno utječe na konzistenciju i teksturu proizvoda koji se tretira (adijabatsko hlađenje) (Krešić i sur., 2011).

Tretman visokim hidrostatskim tlakom uzrokuje denaturaciju proteina, agregaciju ili želiranje (Cheftel i Culioli, 1997) što može rezultirati mekšim ili tvrđim mesom, ovisno o rigor stanju mesa, tlaku (Ma i Ledward, 2004), temperaturi (Galazka i Ledward, 1998) i trajanju tretmana (Sun i Holley, 2010).

Istraživanje Chambers i Bowers (1993) pokazalo je da je potrošačima tvrdoća najznačajnije svojstvo teksture mesa i da ona diktira komercijalnu vrijednost mesa.

U tablici 3. prikazani su rezultati teksture pilećeg mesa. Porastom tlaka povećava se tvrdoća mesa što nije poželjna promjena. Najveću tvrdoću imaju uzorci tretirani tlakom od 250 MPa i ona iznosi 217,61 N. Uzorci tretirani tlakom od 150 MPa imaju tvrdoću 184,62 N, dok najmanju tvrdoću imaju uzorci zamrznuti konvencionalnom metodom i ona iznosi 150,35 N. Statističkom obradom podataka utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa, dok između uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa i kontrolnih uzoraka, odnosno uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa, ne postoji statistički značajna razlika.

Iz rezultata za teksturu mesa (tablica 3.) vidljivo je da elastičnost mesa raste s porastom tlaka. Elastičnost uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa iznosi 23,73 mm, dok elastičnost uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa iznosi 21,64 mm. Elastičnost kontrolnih uzoraka iznosi 21,04 mm. Postoji statistički značajna razlika između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa, dok između uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa i kontrolnih uzoraka, odnosno uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa, ne postoji statistički značajna razlika.

Rezultati dobiveni za rad koji je potreban za zagriz mesa (tablica 3.) pokazuju da se povećanjem tlaka povećava rad što nije poželjna promjena. Najveću vrijednost za rad imaju

uzorci tretirani tlakom od 250 MPa i ona iznosi 187900,57 mJ. Uzorci tretirani nižim tlakom (150 MPa/30 min) imaju vrijednost rada 132064,94 mJ, a kontrolni uzorci 85608,37 mJ. Postoji statistički značajna razlika između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa, dok između uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa i kontrolnih uzoraka, odnosno uzoraka tretiranih tlakom od 150 MPa i uzoraka tretiranih tlakom od 250 MPa, ne postoji statistički značajna razlika.

Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja Villacis i sur. (2008) koji su tretiranjem purećih prsa tlakom iznad 150 MPa utvrdili da se povećanjem tlaka povećavaju svojstva teksture mesa (tvrdoća, gumenost, rad potreban za žvakanje, kohezivnost), te rezultatima Kruk i sur. (2011) koji su tretiranjem filea pilećih prsa tlakom iznad 300 MPa ustanovili da se povećanjem tlaka (450 MPa) značajno povećavaju vrijednosti tvrdoće i rada potrebnog za žvakanje mesa. Sličan utjecaj povećanja tlaka na tvrdoću mesa primijećen je i kod ribljeg mesa (Master i sur., 2000), te goveđih mišića (Ma i Ledward, 2004).

Tablica 3. Rezultati utjecaja HPP tretmana na teksturu mesa

HPP tretman	Tvrdoća [N]	Elastičnost [mm]	Rad [mJ]
Kontrola	$150,35 \pm 25,07^{a}$	$21,04 \pm 0,90^{a}$	$85608,37 \pm 11633,93^{a}$
150 MPa/30 min	$184,62 \pm 17,17^{ab}$	$21,64 \pm 1,82^{ab}$	$132064,94 \pm 37646,64^{ab}$
250 MPa/60 min	$217,61 \pm 37,14^{b}$	$23,73 \pm 1,55^{b}$	$187900,57 \pm 69728,97^{b}$

*različita slova - a, b označavaju statistički značajnu razliku, $p<0,05$

5. ZAKLJUČCI

Na temelju dobivenih eksperimentalnih podataka i provedene rasprave može se zaključiti sljedeće:

1. Povećanjem tlaka smanjuje se gubitak na masi (*drip loss*). Ne postoji statistički značajna razlika između kontrolnih uzoraka te uzoraka tretiranih tlakovima od 150 MPa i 250 MPa.
2. Povećanjem tlaka smanjuje se sposobnost vezanja vode i prinos pri kuhanju. Postoji statistički značajna razlika za SpVV vrijednosti za sve uzorke.
3. Visoki hidrostatski tlak statistički značajno utječe na boju pilećeg mesa. Povećanjem tlaka povećavaju se L*, a* i b* vrijednosti.
4. Djelovanjem visokog hidrostatskog tlaka mijenja se tekstura mesa. Za sva tri ispitivana parametra teksture (tvrdoća, elastičnost i rad) postoji statistički značajna razlika između kontrolnih uzoraka i uzoraka tretiranih višim tlakom (250 MPa).

6. LITERATURA

Abeni, F., Bergoglio, G. (2001) Characterization of different strains of broiler chicken by carcass measurements, chemical and physical parameters and NIRS on breast muscle. *Meat Sci*. **57**, 133-137.

An, G.H., Song, J.Y., Chang, K.S., Lee, B.D., Chae, H.S., Jang, B.G. (2004) Pigmentation and Delayed Oxidation of Broiler Chickens by the Red Carotenoid, Astaxanthin, from Chemical Synthesis and the Yeast, *Xanthophyllomyces dendrorhous*. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* **17**, 1309-1314.

Anonymous (2016) Konica Minolta spektrofotometar <http://sensing.konicaminolta.asia/wp-content/uploads/2011/04/cm700d_intro.jpg>. Pristupljeno 05. srpnja 2016.

Asghar, A., Gray, J.L., Buckley, A.M., Pearson, A.M., Booren, A.M. (1988) Perspectives on warmed-over-flavor. *Food Technol*. **42**, 102-108.

Barbut, S. (2002) Poultry products processing, CRC Press, Boca Raton.

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.

Bridgman, P.W. (1912) Water, in the liquid and five solid forms, under pressure. *Proc. Am. Acad. Arts. Sci. XLVII.* **13**, 439-558.

Campus, M., Addis, M.F., Cappuccinelli, R., Porcu, M.C., Pretti, L., Tedde, V. i sur. (2010) Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. *J. Food Eng*. **96**, 192-198.

Carlez, A., Veciana-Nogues, T., Cheftel, J.C. (1995) Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *LWT - Food Sci. and Technol*. **28**, 528-538.

Castellini, C., Mugnai, C., Dal Bosco, A. (2002) Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Sci.* **60**, 219-225.

Chambers, E., Bowers, J.R. (1993) Consumers perception of sensory qualities in muscle foods. *Food Technol*. **47**, 116-120.

Cheah, P.B., Ledward, D.A. (1996) High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Sci*. **43**, 123-134.

Cheftel, J.C., Culioli, J. (1997) Effects of high pressure on meat, A review. *Meat Sci*. **46**, 211-236.

Del Olmo, A., Morales, P., Avila, M., Calzada, J., Nunez, M. (2010) Effect of single-cycle and multiple-cycle high-pressure treatments on the colour and texture of chicken breast fillets. *Innov. Food Sci. and Emerg. Technol*. **11**, 441-444.

Ferreira, M.M.C., Morgano, M.A., de Queiroz, S.C., Mantovani, D.M.B. (2000) Relationships of the minerals and fatty acid content in Processed turkey meat products. *Food Chem*. **69**, 259-265.

Galazka, V.B., Ledward, D. (1998) High pressure effects on biopolymers. U: Functional properties of food macromolecules (Hill, S.E., Ledward, D. i Mitchell, J.R., ured.), Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, str. 278-301.

Galazka, V.B., Sumner, I.G., Ledward, D.A. (1996) Changes in protein-protein and protein polysaccharide interactions induced by high pressure. *Food Chem*. **57**, 393-398.

Gill, C.O. (2002) Microbial control with cold temperatures. U: Control of foodborne microorganisms (Juneja, V.K. i Sofos, J.N., ured.), Marcel Dekker, New York, str. 55-74.

Goutefongea, R., Rampon, V., Nicolas, N., Dumont, J.P. (1995) Meat color changes under high pressure treatment. U: Proceedings of the 41st ICoMST, Vol. 2, American Meat Science Association, San Antonio, str. 384-387.

Hrvatska agencija za hranu (2011) Znanstveno mišljenje o kvaliteti zamrznutog mesa peradi (pilećeg i purećeg), Osijek.

Hendricx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., Weemaes, C. (1998) Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends Food Sci. Tech.* **9**, 197.

Herceg, Z., Režek Jambrak, A., Krešić, G., Rimac Brnčić, S. (2009) Procesi konzerviranja hrane, Golden marketing-Tehnička knjiga, Zagreb.

Hertog-Meischkel, M.J.A., Laack, R.J.L.M., Smulders, F.J.M. (1997) The water-holding capacity of fresh meat. *Vet. Quart.* **19**, 175-181.

Janječić, Z. (2006) Mekoća mesa peradi. *Meso* **8**, 196-197.

Jung, S., Ghoul, M., de Lamballerie-Anton, M. (2003) Influence of high pressure on the color and micobial quality of beef meat. *LWT – Food Sci. and Technol*. **36**, 625-631.

Karolyi, D. (2004) Sposobnost vezanja vode u mesu. *Meso* **6**, 26-30.

Kilcast, D. (2004) Measuring consumer perceptions of texture: an overview. U: Texture in Food, Vol. 2 Solid Foods (Kilcast, D., ured.), Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, str. 3-28.

Kim, D.H., Cho, S.H., Kim, J.H., Seong, P.N., Lee, J.M., Hah, K.H., Lim, D.G. (2008) Differences in meat quality between organically produced broiler muscles. 54 International Congress of Meat Science and Technology, Cape Town.

Knorr, D. Schlueter, O., Heinz, V. (1998) Impact of high hydrostatic pressure on phase transition of foods. *Food Technol*. **52**, 42-45.

Knorr, D. (1993) Effects of high-hydrostatic pressure processes on food safety and quality. *Food Technol*. **47**, 156-161.

Krešić, G., Lelas, V., Režek Jambrak, A., Herceg, Z. (2011) Primjena visokog tlaka u postupcima obrade hrane. *Kem. Ind*. **60**, 11-19.

Kruk, Z.A., Yun, H., Rutley, D.L., Lee, E.J., Kim, Y.J., Jo, C. (2011) The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control* **22**, 6-12.

Korzeniowski, W., Jankowska, B., Kwiatkowska, A. (1999) The effect of high pressure on some technological properties of pork. *Electron. J. Pol. Agric. Univ*. **2**, 1-8.

Lado, B.H., Yousef, A.E. (2002) Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microb. Infect*. **4**, 433-440.

Lawrie, R.A. (1998) Lawrie's Meat Science, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge.

Lu, R., Abbott, J. (2004) Force/Deformation Techniques for measuring texture. U: Texture in Food, Vol. 2 Solid Foods (Kilcast, D., ured.), Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, str. 109-145.

Ma, H.J., Ledward, D.A. (2004) High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. *Meat Sci*. **68**, 347-355.

Mackie, I.M. (1993) The effects of freezing on flesh proteins. *Food Reviews Int*. **9**, 575-610.

Martino, N., Otero, L., Sanz, P.D., Zaritzky, N.E. (1998) Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. *Meat Sci*. **50**, 303-313.

Master, A.M., Stegeman, D., Kals, J., Bartels, P.V. (2000) Effects of high pressure on colour and texture of fish. *High Press. Res*. **19**, 109-115.

McArdle, R., Marcos, B., Kerry, J.P., Mullen, A. (2010) Monitoring the effects of high pressure processing and temperature on selected beef quality attributes. *Meat Sci*. **86**, 629-634.

Medić, H., Vidaček, S., Sedlar, K., Šatović, V., Petrak, T. (2009) Utjecaj vrste i spola peradi te tehnološkog procesa hlađenja na kvalitetu mesa, *Meso* **11**, 222-231.

Mulder, R.W.A.W. (1999) Hygiene during transport, slaughter and processing. U: Poultry Meat Science, Poultry Science Symposium Series, vol. 25 (Richardson, R.I. i Mead, G.C., ured.) CABI Publishing, New York, str. 277-284.

Omana, D.A., Plastow, G., Betti, M. (2011) Effect of different ingredients on color and oxidative characteristics of high pressure processed chicken breast meat with special emphasis on use of β-glucan as a partial salt replacer. *Innov. Food Sci. and Emerg. Technol*. **12**, 244-254.

Pavičić, Ž., Balenović, T., Hadžiosmanović, M., Mikulec, Ž., Tofant, A., Vučemilo, M. (2005) Uzgoj peradi na ekološki prihvatljiv način. *Meso* **7**, 38-41.

Pearson, A.M., Young, R.B. (1989) Muscle and Meat Biochemistry, Academic Press, San Diego.

Ponsano, E.H.G., Pinto, M.F., Garcia-Neto, M. (2002) Evaluation of *Rhodocyclus gelatinosus* for broiler pigmentation. *J. Appl. Poultry Res*. **11**, 77-82.

Rendueles, E., Omer, M.K., Alvseike, O. i sur. (2011) Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: a review. *LWT Food Sci. Technol.* **44**, 1251-1260.

Rodriguez-Calleja, J.M., Cruz-Romero, M.C., 0'Sullivan, M.G., Garcia-Lopez, M.L., Kerry, J.P. (2012) High-pressure-based hurdle strategy to extend the shelf-life of fresh chicken breast fillets. *Food Control* **25**, 516-524.

Sanz, P.D., De Elvira, C., Martino, M., Zaritzky, N., Otero, L., Carrasco, J.A. (1999) Freezing rate simulation as an aid to reducing crystallization damage in foods. *Meat Sci*. **52**, 275-278.

Senčić, Đ., Samac, D., Kalić, G., Baban, M. (2013) Kvaliteta trupova i mesa pilića kokoši pasmine hrvatica iz ekološkog tova. *Meso* **5**, 372-375.

Senčić, Đ., Samac, D., Antunović, Z., Novoselec, J., Kalić, G. (2009) Kvaliteta pilećeg mesa iz ekološkog i konvencionalnog tova. *Meso* **11**, 110-113.

Senčić, Đ. (2004) Pojam i zakonske odredbe ekološkog stočarstva. *Gospodarski list* **163**, 50.

Senčić, Đ., Kralik, G. (1993) Hranjiva vrijednost i problem kakvoće pilećeg mesa. *Stočarstvo* **47**, 173-179.

Soyer, A., Ozalp, B., Dalmis, U., Bilgin, V. (2010) Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food Chem*. **120**, 1025-1030.

Sun,, X.D., Holley, R.A. (2010) High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products. *J. Food Sci*. **75**, 17-23.

Tewari, G. (2007) High-Pressure Processing of Foods. U: Advances in Thermal and Non-Thermal Food Preservation (Tewari, G. i Juneja, V.K., ured.), Blackwell Publ., New York, str. 203-241.

Uredba Vijeća (EZ) br. 834/2007 (2007) *Službeni list Europske Unije* L 189/1, Bruxelles.

Van Laack, R.L.J.M., Liu, C.H., Smith, O., Loveday, H.D. (2000) Characteristics of Pale, Soft, Exudative Broiler Breast Meat. *Poultry Sci.* **79**, 1057-1061.

Varnam, A., Sutherland, J.M. (1995) Meat and products – technology, chemistry and micorbiology. Vol. 3, Chapman Hall, London.

Villacis, M.F., Rastogi, N.K., Balasurbramaniam, W.M. (2008) Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT Food Sci. and Technol*. **41**, 836-844.

Yu, L.H., Lee, E.S., Jeong, J.Y., Paik, H.D., Choi, J.H., Kim, C.J. (2005) Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of prerigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Sci*. **71**, 375-382.

Živković, J. (1986) Higijena i tehnologija mesa. Kakvoća i prerada, Tipografija „Đakovo“, Đakovo.