

**SÄHKÖSTIMULAATIO BROILERIN TEURASTUSPROSESSISSA JA SEN
VAIKUTUS LIHAN LAATUUN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeenlinna, bio- ja elintarviketekniikka

Kevät, 2023

Tomi Valonen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia sähköstimuloinnin vaikutusta teurastusprosessissa broilerinlihan laatuun. Sähköstimulointia käytetään paljon punaisen lihan teollisuudessa laadunvarmistajana mutta myös osana siipikarjan teurastusprosessia. Opinnäytetyön teettäjä oli elintarvikealan yritys, joka halusi selvittää käyttämättömänä olleen teurastusprosessivaiheen mahdollisia vaikutuksia lihan laatuun ja harkita sen käyttöönottoa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään broilerinlihan laatuun vaikuttavia tekijöitä, lihan ominaisuuksia ja rakennetta sekä eläinruhojen sähköstimuloinnin perusteita. Opinnäytetyötä varten laadittiin koesuunnitelma, jonka mukaan työn empiirinen tutkimus tehtiin. Empiirisessä tutkimuksessa selvitettiin sähköstimulointiprosessin säätöarvoja ja niiden toteutumista. Toteutuneiden arvojen perusteella tarkasteltiin niiden vaikutusta broilerinlihan vedensidontakyvyn ja pH:n muutoksiin. Broilerin ruhojen pH:t mitattiin teurastusprosessin loppupäässä ennen jäädytystä ja uudestaan heti jäädytyksen jälkeen. Teurastusprosessi on nopea ja teuraskoot ovat suuria, joten empiirinen tutkimus suoritettiin satunnaisotannalla. Otantoja tehtiin yhteensä kuusi kappaletta ja niiden tuloksia tulkittiin Studentin t-testin avulla.

Sähköstimuloitujen broilerinruhojen pH-muutoksien eroille ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää eroa. Tutkimuksen aikana sähköstimulointia tuottava prosessi ei ollut täysin toimintakykyinen, koska sen kaksiosaisessa prosessissa vain toinen puoli oli käytettävissä. pH:n mittaamisessa sattui virhemittauksia, jonka vuoksi yhtä otantaa ei voitu käyttää tilastollisessa tutkimuksessa. Sähköstimuloitujen broilerin rintafileiden vedensidontakykyyn voitiin vaikuttaa tilastollisesti merkittäväällä tavalla, sillä sähköstimuloitujen rintafileiden vedensitomiskyky heikkeni käsittelyssä.

The purpose of this thesis was to investigate the effect of electrical stimulation on the quality of broiler meat during the slaughter process. Electrical stimulation is widely used in the red meat industry as a quality assurance measure but also as part of the poultry slaughter process. The thesis was conducted for a food industry company that wanted to investigate the possible effects of an unused process stage on the meat quality and consider its implementation.

The theoretical part of the thesis dealt with factors affecting the quality of broiler meat, the characteristics and structure of the meat, and the basics of electrical stimulation of animal carcasses. A test plan was prepared for the thesis, according to which the empirical study was conducted. In the empirical research, the adjustment values of the electrical stimulation process and their implementation were examined. Based on the actual values, their effect on the water holding capacity and pH changes of broiler meat was analyzed. The pH of the broiler carcasses was measured at the end of the slaughter process before cooling and again immediately after cooling. As the slaughter process is fast and the slaughter sizes are large, the empirical research was conducted using random sampling. A total of six samples were taken, and their results were interpreted using Student's t-test.

There was no statistically significant difference found in the pH changes of electrically stimulated broiler carcasses. During the study, the process producing electrical stimulation was not fully operational, as only one side of its two-part process was available. There were errors in pH measurements, which meant that one sample could not be used in the statistical analysis. The water holding capacity of electrically stimulated broiler breast fillets was statistically significant, as the water holding capacity of electrically stimulated breast fillets decreased during the processing.

Keywords broiler meat, quality, pH, slaughter

Pages 24 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Broilerinlihan laatuun vaikuttavat tekijät.....	2
3	Liha ja sen ominaisuudet.....	3
3.1	Lihaskudokset.....	3
3.2	Lihaksen rakenne	4
3.3	Kemiallinen koostumus.....	5
3.4	Lihalle ominainen väri	6
3.5	Lihan pH	7
4	Eläinruhojen sähköstimulointi.....	8
5	Tutkimus tuotantoprosessissa ja menetelmät	10
5.1	Käytännön haasteet	11
5.2	Tilastolliset menetelmät	12
6	Tutkimuksen tulokset	13
6.1	Sähköstimuloinnin asetusarvot sekä toteutuneet arvot	13
6.2	pH-arvojen muutokset ja fileestä poistuneen nesteen tulokset	14
7	Tulosten tarkastelu.....	20
7.1	Sähköstimulointi ja vedensidontakyky	20
7.2	Sähköstimuloinnin vaikutus pH:n muutokseen	22
8	Johtopäätökset ja pohdinta.....	23
	Lähteet.....	24

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Lihaksen rakenne ja sen sidekudoskalvot (Solunetti, n.d.-b).	5
Kuva 2. Mallikuva opinnäytetyössä käytetystä pH-mittarista (Hanna Instruments, n.d).12	
Kuva 3. B-otanta irtoavan nesteen määrä ja pH:n muutos mittausten välillä (50V, 120Hz)	20

Kuva 4. C-otannan irtoavan nesteen määrä ja pH:n muutos mittausten välillä (normaali tilanne, ei sähköstimulointia)	21
Taulukko 1. Tutkimuksen sähköstimuloinnin mittalaitteiston asetetut arvot ja prosessissa toteutuneet stimuloinnit broilerin ruhoille.....	13
Taulukko 2. A-otannan sähköstimuloinnissa käytettiin 300V ja 200Hz asetusarvoja. Toteutuneet arvot jäivät alhaisiksi asetusarvoista, 120V ja 16Hz. Virhemittaukset ovat korostettu punaisella värillä.	14
Taulukko 3. B-otannan sähköstimuloinnissa käytettiin 50V ja 200Hz asetusarvoja. Toteutuneet arvoissa jännite toteutui 50V suuruisena mutta taajuus jäi 120 hertsiin. .	15
Taulukko 4. C-otannassa ei käytetty sähköstimulaatiota, joten se kuvastaa tutkimuksessa normaalia pH-muutosta teurastus- ja jäähdytysprosessin välillä.	16
Taulukko 5. E-otannan sähköstimuloinnissa käytettiin 200V ja 50Hz asetusarvoja. Toteutuneet arvot jäivät vielä asetusarvoista, 120V ja 24Hz.....	17
Taulukko 6. G-otannassa käytettiin asetusarvoja 100V ja 50Hz. Tämä oli ensimmäinen otanta, jossa asetusarvot toteutuivat kokonaan sekä oli virheetön mittaustuloksissa.	18
Taulukko 7. D-otannassa ei käytetty sähköstimulaatiota, joten se kuvastaa tutkimuksen toista normaalia pH-muutosta teurastus- ja jäähdytysprosessin välillä.	19
Taulukko 8. T-testin testimuuttuja ja kriittiset arvot sähköstimuloinnin vaikutuksesta ph-muutoksiin	22
Kaava 1. Keskiarvon laskemiseen käytettävä kaava	12
Kaava 2. Keskihajonnan laskemiseen käytetty kaava, missä x havaintoarvojen keskiarvo, n=havaintoarvojen lukumäärä	12
Kaava 3. Testimuuttuja lasketaan kaavalla	13

1 Johdanto

Broilerin suosio suomalaisten ruokalautasilla jatkaa vahvaa kasvuaan. Vuonna 2020 Suomessa syötiin 141 miljoonaa kiloa broileria, mikä on viisi prosenttia enemmän kuin vuonna 2019. Suomalaiset ovat ihastuneet broilerin helppoon valmistamiseen ja hyvään makuun. Mikä parasta, suurin osa Suomessa syötävästä broilerinlihasta on kotimaista, sillä broilerin kotimaisuusaste oli vuonna 2020 87,7 prosenttia. (Lihatiedotus, 2021)

Lihan mureutta pidetään tärkeänä ominaisuutena ruuassa ja sen onnistumista on haluttu parantaa sähköstimuloinnilla. Siinä johdetaan sähköä eläimen ruhon läpi, jolloin lihakset alkavat supistua ja näin kuluttamaan lihakseen jäänyttä energiavarastoa, glykogeeniä. Tällä pyritään estämään myöhäisemmässä vaiheessa tapahtuvaa supistumista, kuolonkankeutta, missä lihas jäisi pysyvästi supistuneeseen tilaan ja ollen näin sitkeää. Glykolyysin aikana, kun lihaksen energiavarastoja muutetaan energiaksi, syntyy hapettomissa olosuhteissa maitohappoa, lihaksen pH laskee. (Aalhus ym., 2012, s. 323)

Tutkimuksen kohteena on sähköstimulaatio broilerin teurastusprosessissa ja sen mahdolliset vaikutukset lihan laatuun. Sähköstimulaation vaikutuksista lihanlaatuun ei ole tällä hetkellä tietoa yrityksessä ja kyseinen prosessinvaihe on ollut käyttämättömänä. Opinnäytetyön kirjallisuusosiossa käsitellään perusteita eläinruhojen sähköstimuloinnille. Empiirisessä tutkimuksessa käydään läpi sähköstimuloinnin vaikutusta broilerinlihan laatuun. Tutkimuksen tulosten perusteella arvioitiin prosessin vaikutusta lihan laatuun ja irronneen nesteen määrään.

Opinnäytetyölle laadittiin neljä tutkimuskysymystä:

1. Mihin eläinruhojen sähköstimulointi perustuu?
2. Onko sähköstimuloinnilla vaikutusta broilerinlihan laatuun?
3. Voidaan sähköstimuloinnilla parantaa broilerinlihan laatua?
4. Vaikuttiko sähköstimulaatio lihasta irtoavan nesteen määrään?

2 Broilerinlihan laatuun vaikuttavat tekijät

Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista lihalla on mureus, johon vaikuttavat muuttujat, kuten linnun ikä, ravinto ja lihasten ominaisuudet. Lihaksissa eniten mureuteen vaikuttavat sidekudoksen laatu, lihaskudoksen rakenne sekä entsyymien toiminta kasvun aikana. Mureus ei kuitenkaan ole ollut ongelma broilerinlihalle, kuitenkin tuotantoprosessin automaation kasvaessa ja tuotannon tehostamisessa on huomattu aiheuttavan lihan sitkistymistä. (Papinaho, 1996, s. 9)

Teurastusprosessi alkaa kasvatustilalta, kun teuraslinnut saavuttavat kasvunsa optimaalisen painon. Ennen kuljetusta tilalta teurastamolle lintujen ruokinta lakkautetaan ja aloitetaan paastoaminen. Paaston pituus vaihtelee 8–12 tuntia. Ennen varsinaista teurastusta lintujen stressitila pyritään pitämään mahdollisimman normaalina kuljetuksen ja tehtaalla odottamisen aikana. Stressaantuneet linnut saattavat alkaa räpiköimään ja rikkoa luita. (Papinaho, 1996, ss. 11–14)

Päätainnutusmenetelmät ovat sähkö- ja kaasutainnutus. Sähkötainnutuksen etuna on nopeus ja palautumaton tila sekä ruhon helpompi käsiteltävyys tainnutuksen jälkeen verenlaskussa. Kaasutainnutusta on lähdetty kehittämään, koska sen avulla pystytään linnut ripustamaan koukkuihin tajuttomina. Kun taas sähkötainnutuksessa linnut ripustetaan tajuissaan koukkuihin, mikä aiheuttaa tuskaa ja räpiköintiä. Broileri voi kuluttaa 60 % glykogeenivarastoistaan, mikäli aika ripustettuna pitkittyy ennen tainnutusta. (Papinaho, 1996, ss. 14–16)

Kalttauksessa lintuja pidetään 50–55 asteisessa vedessä 1–2 minuutin ajan. Korkeammissa lämpötiloissa kalttausaika on lyhyempi. Tällä saadaan ruho valmisteltua kynintää varten, jossa sulat irrotetaan ruhosta. Liian korkea lämpötila ja kalttausaika saattavat aiheuttaa lihan sitkistymistä. Kynintä suoritetaan pyörivin kumisormin sekä vedenpaineen avulla. Modernien kynintälaitteiden vaikutusta lihan sitkistymiseen ei ole tutkittu. (Papinaho, 1996, ss. 17–18)

Ruhot jäädytetään joko ilma- tai vesijäähdytyksen avulla. Jäähdyttämällä pyritään kontrolloimaan mahdollisten mikrobien kasvua ruhoissa. Kummasakin jäähdytysmenetelmässä syntyy kuolonkankeutta edeltävää lihassyiden lyhentymistä eli kylmä supistumista. Kylmä supistuminen ei kuitenkaan ole aiheuttanut sitkistymistä

normaaleissa teurastusolosuhteissa, kunhan lihakset ovat edelleen kiinni ruhossa. (Papinaho, 1996, ss. 18–20)

3 Liha ja sen ominaisuudet

Teurasruhosta on silmillä erotettavissa neljä erilaista kudostyyppiä. Näiden kudostyyppien suhteellinen ero toisistaan vaihtelee eri eläinlajeilla. Kudosten suhteellisiin määriin vaikuttavat eläimen ikä, sukupuoli, rotu, ruokinta ja ruhonosa. Kudoslajeja ovat lihaskudos, rasvakudos, luukudos ja sidekudos. (Leino ym., 2007, s. 24)

3.1 Lihaskudokset

Lihaskudos on helppo erottaa ruhon muista kudoksista sen punaisen värin avulla. Ruhossa on lihaksia ainakin 600 erilaista ja ne kiinnittyvät toisiin lihaksiin tai luihin sidekudosten ja jänteiden avulla. Lihaksiston tehtäviin kuuluu liikkeen aikaansaaminen ja muodostaa tukisekä kiinnitysjärjestelmä. Lihaskudokset jaetaan kahteen tyyppiin poikkijuovaisiin ja sileisiin lihaksiin. Kaikki luurankolihakset ovat poikkijuovaisialihaksia mukaan lukien sydän ja kieli. Kaikki poikkijuovaiset lihakset ovat tahdonalaisia, sydäntä lukuun ottamatta. Sileät lihakset sijaitsevat sisäelinten kuten mahan, rakon, suolten ja verisuonten seinämissä ja ne ovat tahdosta riippumattomia. (Leino ym., 2007, s. 24)

Sidekudos yhdistää lihaksia luihin ja toisiin lihaksiin. Se tarjoaa myös suojakerroksen muille kudoksille. Sidekudosta esiintyy lihaksissa, joita eläin käyttää eniten. Esimerkiksi eläimen niska on suurimman osan ajastaan rasituksessa ja sisältää paljon sidekudosta. Sisäfilee on pääasiassa aina lepotilassa ja siinä on vähiten sidekudosta. (Remes, 2013, ss. 156–157) Lihan sidekudospitoisuus vaihtelee 0,5–30 % välillä. Sidekudokset koostuvat kahdesta proteiinista, elastiinista ja kollageenista. Kollageeni on ruhon yleisin proteiini (20–25 % kokonaismäärästä). Se muodostuu lihaskudosten sekaan, on sitkeää ja muistuttaa rakenteeltaan myofibrillia. Lihaa kypsennettäessä se menettää sitkeytensä ja lopulta sulaa vesiliukoiseksi gelatiiniksi. Sulanut kollageeni muuttaa lihan mureaksi. Elastini on kimmoisaa ja verkkomaista. Sitä esiintyy kimmoisuutta ja lujuutta vaativissa ruhonosissa. Nivelsiteet ja jänteet ovat pääasiassa elastiinia. Elastini ei kollageenin tapaan muutu vesiliukoiseen

muotoon kypsentämällä. Lihat, jotka sisältävät elastiinia, jäävät sitkeiksi kypsänä. (Ijäs ym., 2001, s. 26)

Rasvakudosta kertyy ruhon eri osiin ja sijaintinsa perusteella ne voidaan jakaa ryhmiin. Ryhmiä ovat lihaksen sisäinen rasva, lihasten välinen rasva, nahanalainen rasva ja ontelorasvat. Kun rasvaa esiintyy lihaskudoksen sisällä, puhutaan lihan marmoroitumisesta. Rasva on helppo havaita ruhosta, kun se on varastoitunut ihon alle, lihasten tai lihasryhmien väliin tai elinten ympärille. Rasvakudoksen esiintyminen ruhojen eri osissa vaihtelee eläinlajikohtaisesti. Sialla on enemmän ihonalaista rasvaa kuin lihasten välissä ja naudalla tilanne on päinvastainen. Ihmiset ovat alkaneet suosia vähärasvaisempia lihatuotteita. Tämä on johtanut siihen, että teuraseläinten jalostuksen päämääränä on ollut vähärasvaisemmat ruhot. Broilerin pieni rasvapitoisuus on lisännyt sen kulutuksen määrää. (Ijäs ym., 2001, ss. 26–27)

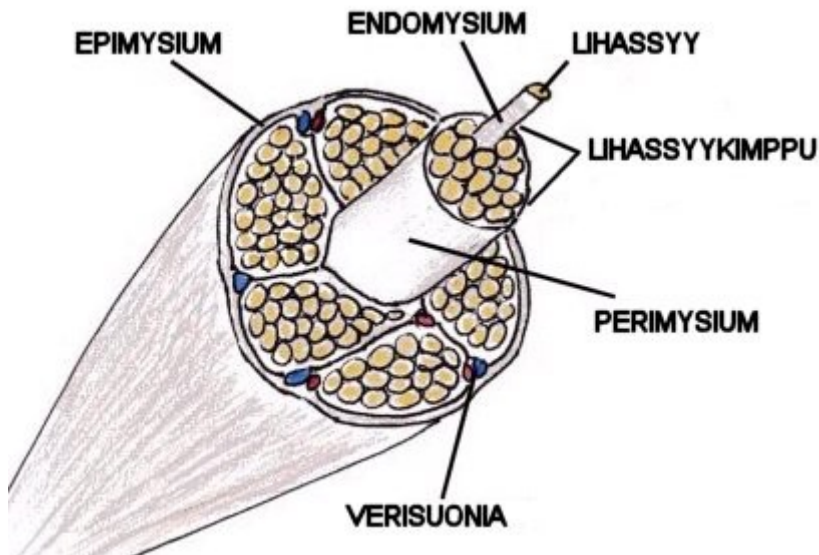
Luut muodostavat elimistön tukirangan. Luukudoksen tehtäviin kuuluu sisäelimiä suojaaminen, liikkuvuuden mahdollistaminen, mineraalisuolojen, kuten kalsiumin, fosfaatin ja magnesiumin varastona toimiminen sekä säätelee minaraaliaineenvaihduntaa. (Solunetti, n.d.-a) Eläinlaji, ikä ja luun sijainti vaikuttavat luun koostumukseen. Putkiluut sisältävät rasvaista luuydintä. Kytkiluiden sisin rakenne on punaista luuhohkaa. Ruhon luupitoisuus on kääntäen verrallinen liha- ja rasvapitoisuuteen. Laihempi ruho sisältää enemmän luuta kuin lihava. (Remes, 2013, ss. 157–158)

3.2 Lihaksen rakenne

Liha omaa kuitumaisen rakenteen. Suurimmat kuidut ovat lihassykimppuja, joiden paksuus on yli yhden millimetrin. Lihassykimput muodostuvat lihassyistä ja niiden halkaisija vaihtelee 0,01–0,1 millimetrin välillä. Lihassyiden sisällä on kymmenistä satoihin lihassäikeitä eli myofibrillejä. Lihassykimppujen rakennetta on havainnollistettu kuvassa 1. Ne ovat halkaisijaltaan hyvin pieniä, 1–2 mikromeriä. Myofibrillit sijaitsevat lihassolun sisällä sarkoplasmassa, jonka tunnetaan myös nimellä lihasneste. Lihassäikeiden sisällä on säännönmukaisia noin 2,5 mikrometrin pituisia yksiköitä, sarkomeereja. Aktiini ja myosiini proteiinit sijaitsevat sarkomeerien sisällä ja ne voivat liukua toistensa lomaan, jolloin

sarkomeerin pituus lyhenee. Sarkomeerin lyheneminen aiheuttaa lihaksen supistumisen.
(Leino ym., 2007, s. 24)

Kuva 1. Lihaksen rakenne ja sen sidekudoskalvot (Solunetti, n.d.-b).



Lihakset eivät pysyisi kasassa ilman kolmea sitovaa sidekudoskalvoa. Koko lihasta ympäröi epimysiumkalvo, joka pitää lihassykimput lihaksen sisällä. Lihassykimppujen ympärillä on perimusiumkalvo, missä sijaitsevat myös lihaksen verisuoniverkosto. Lihaksen pienimpien osien eli lihassolujen välissä sijaitsee kolmas sidekudoskalvo endomysium. (Solunetti, n.d.-b)

3.3 Kemiallinen koostumus

Lihan kemialliseen koostumukseen vaikuttavat ikä, lihaksikkuus, ruhonosa ja eläinlaji. Rasvapitoisuus vaihtelee 1–30 % välillä riippuen eläinlajista ja ruhonosasta. Rasva- ja vesipitoisuus ovat toisistaan riippuvaisia. Rasvaisessa lihassa on vähemmän vettä ja toisinpäin. Rasvattomassa lihassa voi olla jopa 75 % vettä. Valkuaisainepitoisuus lihassa vaihtelee 18–24 % ja sidekudosvalkuaisen määrä 0,5–4 % välillä. Sidekudospitoisuudella on suuret erot ruhon eriosissa, arvokkaimmat ruhonosat sisältävät vähiten sidekudosta. (Leino ym., 2007, s. 27) Lihaskudoksen proteiinipitoisuus lihassa on noin 20 % ja se sisältää kaikkia ihmiselle välttämättömiä aminohappoja. Sidekudoksen proteiinipitoisuus on lihaskudosta heikompi ja sen sulavuus on heikompa ruoansulatuksessa. (Ijäs ym., 2001, s. 2628)

Lihan hiilihydraatit eli glykogeenit ovat 0,8–1,5 % osuus lihasmassasta. Glykogeenin määrällä lihassa on vaikutusta lihassa tapahtuviin muutoksiin teurastuksen jälkeen ja näin vaikuttavat sen laatuun. (Leino ym., 2007, s. 27) Kivennäisaineita lihassa on noin 1 %. Lihaksissa oleva rauta on hemi-muodossa, jota ihmisen keho pystyy helposti hyödyntämään. Hemi-rauta myös edistää aterian muiden rautalähteiden imeytymistä kehoon. Rautaa on eniten sisäelimissä ja veressä. Liha sisältää myös ihmiselle tärkeitä seleeniä, sinkkiä ja kuparia. (Ijäs ym., 2001, s. 29)

Tärkeimpiä vitamiineja, joita liha sisältää ovat B-ryhmään kuuluvat ti-amiini B1, riboflaviini B2 ja B12-vitamiini. Sisäelimistä maksa ja munuaiset sisältävät suuret määrät A-, D-, E- ja C-vitamiinia (korbiinihappoa). Eläinlajeilla on eroja vitamiinipitoisuuksien määriin. (Leino ym., 2007, s. 29)

3.4 Lihalle ominainen väri

Lihan punainen väri syntyy myoglobiinista. Se on hemoglobiinin tapainen proteiini ja rautaa sisältävä rengasmainen yhdiste. Myös myoglobiinin määrä vaihtelee iän, eläinlajin ja ruhonosan mukaan. Lihan väri tummuu eläimen vanhetessa. Mitä enemmän lihasta rasitetaan eläimen liikkuessa, sitä tummempia ne ovat. (Lihatiedotus, n.d.) Esimerkiksi riistaeläinten ja hevosen liha on huomattavasti tummempaa kuin teuraseläinten. (Remes, 2013, s. 161)

Happi on tärkeänä osana lihan väriä, sillä se reagoi myoglobiinin kanssa ja muuttuu oksimyoglobiiniksi. Lihanpinta on usein kirkkaamman punaista väriltään, koska se on kosketuksissa hapen kanssa. Lihaa leikatessa leikkauspinta muuttuu kirkkaammaksi noin puolessa tunnissa. Kun liha on hapettomassa tilassa, kuten tyhjiöpakatussa pakkauksessa, oksimyoglobiini muuttuu harmaaksi myoglobiiniksi. Pakkauksen avatessa liha palautuu hitaasti normaalin punaiseksi. (Remes, 2013, s.161)

Metmyoglobiini muodostaa punaisenruskeaa väriä lihaan kun 60 % myoglobiinista on muuttunut metmyoglobiini muotoon. Metmyoglobiinia alkaa muodostumaan, kun myoglobiini tai oksimyoglobiini altistuu denaturoitumiselle. Denaturoimista aiheuttavat alhainen pH, lämpö, suolat ja UV-säteily. Pitkittynyt varastointi kylmissä olosuhteissa tai

lyhyet pidot kuumissa lämpötiloissa aiheuttavat lihan pinnan kuivumista, mikä lisää suolojen konsentroitumista ja voi aiheuttaa metmyoglobiinin syntymistä. (Lawrie & Ledward, 2006, s. 287)

Bakteeritoiminta lihassa muodostaa vihreän, keltaisen tai harmaan värisiä yhdisteitä, mikä on luonnon tapa varoittaa pilaantuneesta lihasta. Lihaa kypsentaessä väri alkaa muuttua harmaaksi. Värimuutosta on havaittavissa, kun lihan lämpötila on yli 40 °C. 80 °C lämpötilassa liha muuttuu kokonaan harmaaksi, jos sitä ei ole käsitelty natriumnitriitillä. (Remes, 2013, s. 162) Natriumnitriitti reagoi myoglobiinin kanssa ja muodostaa yhdistettä, joka säilyttää lihan punaisen värin. (Ijäs ym., 2001, s. 30)

3.5 Lihan pH

Elävän eläimen lihakset ovat pH-arvoltaan noin 7,2 eli neutraaleja. Vielä kuoleman jälkeen eläimen lihaksiin jää varastoitunutta energiaa lihastärkkelyksenä eli glykokeeninä. (Remes, 2013, s. 158) Kun eläimestä lasketaan veri kuoleman jälkeen, elintoiminnot loppuvat. Ravinteet ja happi eivät enää kulkeudu soluihin. Solut kuitenkin jatkavat lihastärkkelyksen kulutusta pitääkseen lihakset lepotilassa. Anaerobisissa olosuhteissa solujen entsyymit alkavat muodostaa glykokeenistä maitohappoa lihakseen ja lihan pH alkaa laskea. (Ijäs ym., 2001, s. 31) Glykokeeni pitää lihassäikeiden aktiinin ja myosiinin erillään. Kun lihastärkkelys on kulutettu loppuun, aktiini ja myosiini kiinnittyvät toisiinsa muodostaen aktomyosiinia. Lihakset jäykistyvät ja supistuvat muodostaen kuolonkankeutta (rigor mortis). Kuolonkankea liha on todella sitkeää ja silloin sen vedensidontakyky on huonoimmillaan. (Remes, 2013, s. 158)

Kuolonkankeus alkaa muodostua, kun lihan pH laskee 6,0 tai sen alle. Sen muodostuminen hidastuu, jos pH-arvo laskee maitohapon avulla riittävän alas, jolloin lihan omat entsyymit alkavat pilkkoa kuolonkankeutta aiheuttavaa aktomyosiinia. Lihan happamuudella on suuri merkitys sen laatuun, se vaikuttaa säilyvyyteen, mureuteen, väriin ja vedensidontakykyyn. Jos lihan pH-arvo jää kuuteen tai sitä korkeammaksi, se on valkuaisaineita hajottaville bakteereille otollinen kasvualusta. (Remes, 2013, s. 158)

4 Eläinruhojen sähköstimulointi

Sähköisessä stimulaatiossa sähköä johdetaan juuri teurastettujen eläinruhojen läpi. Sähkövirta kiihdyttää *post mortem* -glykolyysiä ja aiheuttaa lihan pH-arvon nopeaa alentumista glykokeenin nopean hajoamisen ansiosta. (Aalhus ym., 2012, s. 91)

Broilerin lihaa on pidetty mureana lihavaihtoehtona. Teurasprosessien automatisoituminen, koneistuminen sekä kustannustehokkuuteen panostaminen ovat nopeuttaneet prosessia. Nopeampi prosessi synnytti sivuvaikutuksen broilerin lihanlaatuun, rintafileissä alettiin havaita sitkistymistä. Sähköstimulaation vaikutusta ehkäistä rintafileiden sitkistymistä alettiin tutkimaan laajasti eräiden tutkijoiden osalta. Punaisen lihan teollisuus oli jo saanut sisällytettyä sähköstimulaation prosessiinsa parantamaan lihan mureutta Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Vuonna 1987 raportoitiin, että korkeajännitteisellä sähköstimulaatio voi mureuttaa kalkkunan ja broilerin rintafileitä. Sähköstimulaatiosta tutkittiin myös lämpökäsittelyn sekä broilerin lihasten jännittämisen yhteisvaikutusta. Kuitenkaan Eurooppaan ei ollut vielä saapunut ainuttakaan teollista broilerin teurastusprosessia, jossa olisi käytössä sähköstimulointi. (Papinaho, 1996, ss. 9, 17)

Sähköstimulaation tarkoituksena on nopeuttaa lihaksissa tapahtuvaa glykolyysiä ja saada pH-arvo laskemaan nopeammin. Näin vältetään kylmäsupistumisen muodostumista jäädytyksen yhteydessä. Sähköstimulaatio naudoilla nopeuttaa kuolonkankeus vaiheen muodostumista niin, että liha on leikattavissa sen ollessa vielä lämmintä. Kylmäsupistuminen broilerin teurastuksessa ei ole yhtä suuri riski kuin naudalla, joten sähköstimulaation tavoitteellaan glykolyysin nopeuttamista ja kylmäsäilytysajan lyhentämistä ennen paloittelua. (Juslin, 2016, s. 20)

Broilerin ruhoa voidaan stimuloida heti 90 sekunnin kuluttua verenlaskun aloituksesta tai kaltaus- ja kynintävaiheen jälkeen. Sähköstimulointia suoritetaan yleensä joko matala- (alle 200 V) tai korkeajännitteisellä (yli 450 V) virran syötöllä. Ruhon läpi menevä virta vaihtelee 0–200 ja 350–500 milliampeerin väliltä, riippuen ruhokohtaisista resistansseista. Matala ampeerinen ja jännitteinen stimulointi nopeuttaa rintalihaksessa tapahtuvaa glykolyysiä ja kuolonkankeuden muodostumista. Mureutumista ei kuitenkaan tapahdu riittävästi, jotta kylmävarastointi voitaisiin jättää pois prosessista. Sähköstimulointi verenlaskun jälkeen, ennen kaltausta, saattaa aiheuttaa ongelmia kyninnässä, jos kuolonkankeus alkaa

muodostua kaltauksessa. Korkeajännitteisessä stimuloinnissa läpimenevä virta aiheuttaa niin suuren supistuksen, että lihassyiden rakenteet hajoavat glykolyysin yhteydessä. Lihassyiden muutokset edistävät mureuden kehittymistä riittävästi, jolloin jäähdytyksestä luuttomaksi leikattu rintafilee on tarpeeksi mureaa 1,5–2 tunnin jälkeen teurastuksesta. Voidaan sanoa, että stimuloinnin tehokkuus kasvaa, kun sähkövirran määrää kasvatetaan. Sähköstimulointiin vaadittava aika prosessissa on korkeajännitteisellä parinkymmenen sekunnin luokkaa ja matalajännitteisellä stimuloinnin käsittelyaika voi kestää jopa minuutteja. Sähköstimuloinnissa ei ole havaittu lihasrepeämiä tai verisuonten purkautumista, eikä sillä ole todettu olevan parantavaa vaikutusta verenlaskuun. (Juslin, 2016, ss. 21–22)

Lähes kaikissa sähköstimulaatiota käsittelevissä julkaisuissa broilerin teurasprosessissa on käytetty sähkötainnutusta ja vesijäähdytystä. Korkeajännitteisen tainnutuksen on todettu hidastavan pH:n alenemista. Vaikka vesijäähdytykseen kuluva aika on ilmajäähdytystä lyhyempi, se hidastaa lihan oman aineenvaihdunnan tehokkuutta, joten glykolyysiä joudutaan nopeuttamaan sähköstimulaation avulla. Ilmajäähdytyksessä kuolonkankeuden kehittyminen on nopeampaa kuin vesijäähdytyksessä ja sen kesto prosessissa on noin kaksi tuntia riippuen laitoksesta. Ilmajäähdytyksen aikana liha ehtii mureutua vesijäähdytystä huomattavasti enemmän. Näin ollen sähköstimulointi ei välttämättä tuo merkittävää parannusta rintafileen mureuteen, jos ne paloitellaan heti jäähdytyksen jälkeen 2,5 tuntia teurastuksesta. (Juslin, 2016, s. 28)

Maailmalla on ollut huoli lihan mikrobiologisesta puhtaudesta, kun käytetään sähköstimulointia teurasprosessissa. Asiaa tutkittiin rokottamalla naudan kaksipäisiin reisilihaksiin ja lapoihin bakteereja. Lihoja stimuloitiin 550 voltilla 16 pulssia 1,8 sekunnin väliajalla. Näytteet stimuloitujen ja ei stimuloitujen välillä sisälsivät samat mikrobi populaatiot. Vaikka pH oli huomattavasti ei stimuloitua alempana, sillä ei ollut vaikutusta mikrobi populaation määrän vähentämiseen. Tutkijat kuitenkin totesivat, että sähköstimulaation aiheuttaman maitohapon syntyminen ja pH:n nopea laskeminen tekevät lihasta epäsuosittavan kasvualustan mikro-organismeille. Voidaan kuitenkin sanoa, ettei sähköstimulaatiolla ole vaikutusta bakteerien lisääntymiseen lihassa. (Aalhus ym., 2012, s. 328–329)

5 Tutkimus tuotantoprosessissa ja menetelmät

Empiirisessä tutkimuksessa selvitettiin sähköstimuloinnin toimintoja ja sen vaikutusta broilerinlihan laatuun. Tutkimus oli kvantitatiivinen ja pyrki vastaamaan tutkimuskysymyksiin ”kuinka paljon eri käsittelyillä oli vaikutusta pH:n muutoksiin, lihan laatuun ja vedensidontakykyyn”.

Valittiin yhdessä alkutuotannon kanssa sopivat tuotantoerät stimuloinnin vaikutuksen testaamista varten. Erän koon tuli olla tarpeeksi suuri, jotta kaikki testit saatiin tehtyä prosessin läpimenon aikana. pH mitattiin broilerin ruhon etupuolelta, rintalihaksen yläpäästä. Alkutuotanto katsoi erät mahdollisimman samanlaisiksi, näin saatiin karsittua mahdollisia muuttuvia tekijöitä kasvatuserien välillä. Näitä olisivat olleet muun muassa eri rehuvalmistaja, kasvatustilan olosuhteet, emoparven ikä, välimatka tilalta teurastamolle sekä teurastusajankohta.

Linnut valittiin testiin satunnaisotannalla, jokaiseen otantaan kuuluu 20 linnun ruhoa. Otantoja suoritettiin 3 kappaletta ja jokaisessa otannassa oli eri stimuloivaikutus lintuun. Ensimmäisessä otannassa ei käytetty stimulointia prosessissa. Toisessa otannassa stimulointi on mukana matalampi voimakkuus. Kolmannessa otannassa ruhoja stimuloitiin korkeammalla voimakkuudella kuin toisessa stimuloinnissa.

Linnut poimittiin linjasta teurastamo-osaston viimeisen työpisteen jälkeen. Ruhot laitettiin ammeeseen odottamaan pH:n mittausta ja punnitusta. Kun otannan kaikki 20 ruhoa oli otettu, siirryttiin mittauspisteelle. Ruhot merkattiin ennen punnitusta ja mittausta. Jokaisen ruhon nilkkaan tuli teippi, jossa luki, mikä otanta ja kuinka mones lintu. Otannat merkittiin esimerkiksi kirjaimin A1, B2 ja C3.

A= suuri stimulointi

B= vähäinen stimulointi

C= ei stimulointia

Tällä tavalla saatiin varmistettua vertailtavuus, kun linnut ripustettiin uudelleen linjaan ja siirtyivät jäähydyksen jälkeen toiselle osastolle. Jokaiselta linnulta kirjattiin mittaukset tuloslomakkeeseen, jossa oli päivämäärä ja erätiedot. Kun otannat oli suoritettu

teurastamon puolella, siirryttiin paloitteluosastolle vastaanottamaan ruhoja. Ruhot tulivat jäähdytyksestä palaosaston omavalvontaan. Omavalvontaa suorittava työntekijä poimi linnut linjasta ja siirsi ne ammeeseen. Ruhot mitattiin välittömästi osastolle saavuttuaan. Kun tulokset olivat saatu ja kirjattu tuloslappuun, ruhot hylättiin hygieniasyistä biojätteeksi.

5.1 Käytännön haasteet

Prosessissa oli kaksivaiheinen sähköstimulointi, ensimmäinen vaihe oli heti verenlaskun jälkeen ja toinen kyninnän jälkeen. Laitteistoa ei ollut käytetty ja ennen empiirisiä kokeita laitteistoa koeajettiin. Huomattiin että ensimmäisen vaiheen stimulointi ei antanut virtaa prosessiin. Kunnossapidolla ei ollut varaosia tähän kyseiseen osaan, joten se päätettiin jättää pois käytöstä testien kannalta. Tällä päätöksellä sähköstimulointi ei toiminut testeissä, sillä tavalla, kuin laitetoimittaja oli sen suunnitellut toimimaan, näin ei saada tutkimukseen välttämättä luotettavaa tietoa prosessin toiminnasta.

Stimulaation käynnistäminen ja sen mittarit olivat eri paikassa, kuin missä itse testi suoritettiin, joten stimulaation arvojen muutoksia kirjasi toinen henkilö. Laitteiston mittareita ja sen antamia tuloksia ei ollut ennen varsinaisia testieriä enempää tutkittu. Testiin käytettiin kahta erivahvuista sähköstimulointia ja vasta testin jälkeen huomattiin, ettei laitteisto kyennyt antamaan säätöarvojen mukaisia arvoja, vaikka ne olivat kaukana laitetoimittajan ääriarvoista.

Ruhojen pH:n mittaamiseen käytettiin työnantajan Hanna Instrumentsin HI-99163 (kuva 2) lihan pH:n mittaamiseen tarkoitettua pH-mittaria, johon tehtiin ohjeiden mukaiset kalibroinnit samana päivänä, kun mittaria käytettiin testeihin. Pian ensimmäisen testin aikana huomattiin, että mittari on todella hidasta mittaamaan pH:ta, mikä viivästytti testin kulkua ja ruhojen odotusaika kertaantui pahoin varsinkin loppupäästä. Kaikki ruhot mitattiin kerralla ennen jäähdytystä ja laitettiin takaisin linjaan. Tämän vuoksi jäähdytyksen jälkeisessä mittauksessa ensimmäisen ja viimeisen ruhon välinen aika kasvoi pitkäksi, mikä mahdollisesti pääsi vaikuttamaan ruhojen pH-tuloksiin.

Kuva 2. Mallikuva opinnäytetyössä käytetystä pH-mittarista (Hanna Instruments, n.d).



5.2 Tilastolliset menetelmät

Kun tarkastellaan pH:n muutosta prosessissa, mitta-asteikkona toimii suhdeasteikko. Tutkimus on kvantitatiivinen ja pyrkii vastaamaan ”kuinka paljon eri käsittelyillä on vaikutusta pH:n muutoksiin?”

Lasketaan pH muutoksien erot kustakin otannasta ja niiden keskiarvot. Tarkastellaan otantojen painohävikkiä säilytyksen jälkeen ja niiden mahdollista yhteyttä pH muutoksiin. Lasketaan otoksien keskiarvot (kaava 1), vaihteluvälit (pienin ja suurin havainto) sekä keskihajonta (kaava 2). Tuloksien tilastollista merkittävyyttä tarkastellaan Studentin t-testin avulla. T-testin testimuuttujaa (kaava 3) verrataan studentin t-jakaumaan.

Kaava 1. Keskiarvon laskemiseen käytettävä kaava

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_{1n}}{n}$$

Kaava 2. Keskihajonnan laskemiseen käytetty kaava, missä \bar{x} havaintoarvojen keskiarvo, n =havaintoarvojen lukumäärä

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Kaava 3. Testimuuttuja lasketaan kaavalla

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

6 Tutkimuksen tulokset

Testipäiviä oli kaksi kappaletta, ensimmäisenä päivänä mitattiin ruhoista pH:n ja otettiin näytteet vedensidontakykyä varten. Toisena testipäivänä mitattiin ainoastaan pH:n muutosta.

6.1 Sähköstimuloinnin asetusarvot sekä toteutuneet arvot

Kummassakin testipäivässä oli kolme otantaa, jotka toteutettiin järjestyksessä vahvempi ja heikompi stimulointi sekä normaali tilanne eli ilman stimulointia. Otannat ja niiden stimulointiarvot ovat koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Tutkimuksen sähköstimuloinnin mittalaitteiston asetetut arvot ja prosessissa toteutuneet stimuloinnit broilerin ruhoille.

Ruhomekintä	Asetusarvot		Toteutuneet arvot	
A	300V	200Hz	120V	16Hz
B	50V	200Hz	50V	120Hz
C	Ei stimulointia			
E	200V	50Hz	120v	24Hz
G	100V	50Hz	100v	50Hz
D	Ei stimulointia			

Ensimmäisen päivän testien otantojen (A-C) jälkeen huomattiin, ettei sähköstimulaation prosessilaitteisto pystynyt toteuttamaan sille asetettuja arvoja. Joten toisena testipäivänä asetusarvoja muokattiin siten, että taajuutta laskettiin reippaasti edellisestä ja jännitteen voimakkuuksien eroja kavennettiin. Taulukosta 1 havaitaan, että asetusarvojen alentamisella päästiin lähemmäs asetusarvoja ja G:n testissä saatiin halutut arvot.

6.2 pH-arvojen muutokset ja fileestä poistuneen nesteen tulokset

Otannan merkittiin kirjaimin A, B, C, D, E ja G eli otantoja otettiin yhteensä kuusi kappaletta. Ensimmäisten kolmen otannan koot olivat 20 kappaletta ja viimeisen kolme 23 kappaletta. Vedensidontakyvyn mittaamista varten, pH:n mittaamisen jälkeen file leikattiin ruhosta sekä kuivattiin mahdollisesta pintakosteudesta. Tämän jälkeen file laitettiin sinetöityyn pussiin ja merkittiin samalla merkinnällä, kuin pH:n mittauksessa. Fileitä säilytettiin 3 asteen lämpötilassa 3 päivää, jonka jälkeen painomuutos mitattiin. Pussi punnittiin ennen avaamista vaa'alla, jonka jälkeen file otettiin pussista niin, että fileen pinnasta saatiin mahdollisimman hyvin neste jäämään pussin sisälle. Tämän jälkeen pussi punnittiin uudelleen ja saatiin painoerotus. Tulokset kirjattiin ja kerättiin aineistoksi. Otantojen tulokset on kirjattu taulukoihin 2–7.

Taulukko 2. A-otannan sähköstimuloinnissa käytettiin 300V ja 200Hz asetusarvoja.

Toteutuneet arvot jäivät alhaisiksi asetusarvoista, 120V ja 16Hz. Virhemittaukset ovat korostettu punaisella värillä.

Ruhomerkintä	pH mittaus teurastamossa	pH-mittaus paloittelussa	pH-muutos	säilytyksen jälkeen (g)	ennen säilytystä (g)	erotus (g)	painonmuutos (%)
A1	6,14	6,47	0,33	226,0	224,5	1,5	0,66
A2	6,33	6,27	-0,06	345,0	340,5	4,5	1,30
A3	6,49	5,98	-0,51	179,0	177,5	1,5	0,84
A4	6,33	6,40	0,07	240,0	238,5	1,5	0,63
A5	6,06	6,48	0,42	205,0	203,5	1,5	0,73
A6	6,46	6,18	-0,28	272,0	267,0	5,0	1,84
A8	6,20	6,14	-0,06	282,0	278,0	4,0	1,42
A9	6,28	6,25	-0,03	195,0	193,5	1,5	0,77
A10	6,32	6,17	-0,15	280,0	273,5	6,5	2,32
A11	6,30	6,25	-0,05	238,0	236,0	2,0	0,84
A12	6,24	6,37	0,13	200,0	198,0	2,0	1,00
A13	6,35	6,40	0,05	204,0	203,5	0,5	0,25
A14	6,44	6,17	-0,27	253,0	251,0	2,0	0,79
A15	6,20	6,28	0,08	252,0	250,0	2,0	0,79
A16	6,52	6,49	-0,03	247,0	242,0	5,0	2,02
A17	6,32	6,30	-0,02	226,0	222,5	3,5	1,55
A18	6,39	6,33	-0,06	170,0	170,0	0,0	0,00
A19	6,10	6,15	0,05	217,0	215,0	2,0	0,92
A20	6,24	6,27	0,03	264,0	261,5	2,5	0,95
keskiarvo	6,30	6,28	-0,02			2,6	1,0
pienin arvo	6,06	5,98	-0,51	170	170	0	0
suurin arvo	6,52	6,49	0,42	345	340,5	6,5	2,32
vaihteluvälin pituus	0,46	0,51	0,93	175	170,5	6,5	2,32

A-otannan mittaustuloksissa tuli useita virhemittauksia, yhteensä 8 kappaletta, sekä ruho A7 ei koskaan tullut toiselle osastolle. Tästä syystä tämän otannan pH-muutoksien tuloksia ei voida käyttää tilastollisessa tutkimuksessa.

Taulukko 3. B-otannan sähköstimuloinnissa käytettiin 50V ja 200Hz asetusarvoja.

Toteutuneet arvoissa jännite toteutui 50V suuruisena mutta taajuus jäi 120 hertsiin.

Ruhomerkintä	pH mittaus teurastamossa	pH-mittaus paloittelussa	pH-muutos	Filepaino säilytyksen jälkeen (g)	Filepaino ennen säilytystä (g)	erotus (g)	painonmuutos (%)
B1	6,42	6,23	-0,19	312,0	301,0	11,0	3,53
B2	6,40	6,17	-0,23	249,0	248,0	1,0	0,40
B3	6,46	6,18	-0,28	233,0	224,0	9,0	3,86
B4	6,35	6,18	-0,17	248,0	245,5	2,5	1,01
B6	6,52	6,19	-0,33	291,0	287,5	3,5	1,20
B7	6,53	6,21	-0,32	315,0	310,5	4,5	1,43
B8	6,36	6,19	-0,17	288,0	279,5	8,5	2,95
B9	6,35	6,16	-0,19	209,0	207,0	2,0	0,96
B10	6,44	6,23	-0,21	209,0	206,5	2,5	1,20
B11	6,59	6,35	-0,24	239,0	232,0	7,0	2,93
B12	6,59	6,45	-0,14	335,5	332,0	3,5	1,04
B13	6,20	6,19	-0,01	198,0	193,0	5,0	2,53
B14	6,32	6,04	-0,28	119,5	117,0	2,5	2,09
B15	6,56	6,17	-0,39	239,5	237,0	2,5	1,04
B16	6,51	6,25	-0,26	263,0	260,0	3,0	1,14
B17	6,48	6,32	-0,16	229,0	226,0	3,0	1,31
B18	6,60	6,15	-0,45	244,5	242,5	2,0	0,82
B19	6,63	6,28	-0,35	277,5	276,0	1,5	0,54
B20	6,51	6,12	-0,39	277,0	275,0	2,0	0,72
keskiarvo	6,46	6,21	-0,25			4,03	1,62
pienin arvo	6,2	6,04	-0,45	119,5	117	1	0,40
suurin arvo	6,63	6,45	-0,01	335,5	332	11	3,86
vaihteluvälin pituus	0,43	0,41	0,44	216	215	10	3,46

B-otannan sähköstimuloinnin jännite toteutui sille asetetussa arvossa ja toimi matalana stimulointina, vaikka taajuus jäikin asetusarvostaan. Rintafileistä irtosi keskiarvallisesti 4 grammaa nestettä ja suhteellinen painohävikki oli 1,61 prosenttia. Lihan pH pysyi sille normaaleissa lukemissa ennen ja jälkeen jäädytyksen, keskiarvallisesti pH putosi jäädytyksen aikana 0,23 yksikköä. Otannassa sattui yksi virhemittaus, jossa pH:n tulos oli kasvanut ensimmäisen mittauksen jälkeen. Kun tuloksista tulkitaan tilastollisin menetelmin, nämä virhetulokset jätetään huomioimatta.

Taulukko 4. C-otannassa ei käytetty sähköstimulaatiota, joten se kuvastaa tutkimuksessa normaalia pH-muutosta teurastus- ja jäähdytysprosessin välillä.

Ruhomerkintä	pH mittaus teurastamossa	pH-mittaus paloittelussa	pH-muutos	Filepaino säilytyksen jälkeen (g)	Filepaino ennen säilytystä (g)	erotus (g)	painonmuutos (%)
C1	6,57	6,02	-0,55	279,0	272,5	6,5	2,33
C2	6,36	6,14	-0,22	194,0	192,5	1,5	0,77
C3	6,27	6,09	-0,18	222,0	220,5	1,5	0,68
C4	6,48	6,18	-0,30	202,0	202,0	0,0	0,00
C5	6,41	6,14	-0,27	242,0	237,5	4,5	1,86
C6	6,50	6,23	-0,27	297,0	295,5	1,5	0,51
C7	6,40	6,22	-0,18	260,0	256,5	3,5	1,35
C8	6,34	6,07	-0,27	227,0	226,5	0,5	0,22
C9	6,29	6,21	-0,08	236,0	234,5	1,5	0,64
C11	6,63	6,07	-0,56	214,0	213,5	0,5	0,23
C12	6,58	6,34	-0,24	257,5	255,5	2,0	0,78
C13	6,52	6,18	-0,34	311,0	310,0	1,0	0,32
C14	6,56	6,47	-0,09	299,0	298,5	0,5	0,17
C15	6,59	6,46	-0,13	234,5	231,5	3,0	1,28
C16	6,55	6,34	-0,21	324,0	321,0	3,0	0,93
C17	6,54	6,34	-0,20	289,5	288,5	1,0	0,35
C18	6,62	6,31	-0,31	279,0	277,0	2,0	0,72
C19	6,43	6,24	-0,19	230,0	229,5	0,5	0,22
C20	6,38	6,21	-0,17	251,5	249,5	2,0	0,80
keskiarvo	6,47	6,22	-0,25			1,92	0,74
pienin arvo	6,27	6,02	-0,56	194	192,5	0	0
suurin arvo	6,63	6,47	-0,08	324	321	6,5	2,33
vaihteluvälin pituus	0,36	0,45	0,48	130	128,5	6,5	2,33
keskivirhe	1,44	1,40	-0,04	51,43	51,32	0,11	0,05

C-otannassa otoksien tulokset vastaavat normaalia muutosta pH:ssa ja rintafileiden nesteenerottumista. Tämän otannan tuloksien mukaan broilerin rintafileistä irtoaa nestettä keskimäärin 0,77 painoprosenttia kolmen päivän säilyttämisen jälkeen. Tulos on huomattavasti pienempi, kuin taulukon 3 rintafileissä. Myös normaalitilanteen rintafileiden pH-tulokset pysyivät normaaleissa, eikä virhetuloksia tullut näissäkään otoksissa kuin yksi kappale. Jäähdytyksen aikana pH putosi keskimääräisesti 0,23 yksikköä, mikä on sama tulos kuin matala stimuloitujen fileiden pH-muutos (taulukko 3). Pelkästään näiden kahden otannan jälkeen voisi päätellä, että stimuloinnilla on vaikutusta broilerinlihan laatuun.

Taulukko 5. E- otannan sähköstimuloinnissa käytettiin 200V ja 50Hz asetusarvoja.

Toteutuneet arvot jäivät vielä asetusarvoista, 120V ja 24Hz.

Ruhomerkintä	pH mittaus teurastamossa	pH-mittaus paloittelussa	pH-muutos
E4	6,35	5,98	-0,37
E5	6,57	6,32	-0,25
E6	6,35	6,16	-0,19
E7	6,34	6,18	-0,16
E8	6,37	6,08	-0,29
E9	6,26	6,04	-0,22
E10	6,30	6,09	-0,21
E12	6,30	6,10	-0,20
E13	6,23	5,88	-0,35
E14	6,27	6,18	-0,09
E15	6,41	6,19	-0,22
E16	6,30	6,05	-0,25
E17	6,17	6,07	-0,10
E18	6,26	5,94	-0,32
E19	6,20	5,90	-0,30
E20	6,22	6,06	-0,16
E21	6,31	6,00	-0,31
E22	6,26	5,92	-0,34
E23	6,24	5,92	-0,32
keskiarvo	6,30	6,06	-0,24
pienin arvo	6,17	5,88	-0,37
suurin arvo	6,57	6,32	-0,09
vaihteluvälin pituus	0,4	0,44	0,28

E-otannassa tavoiteltiin korkea jännitteistä sähköstimulointia 200 voltin jännitteellä ja 50 hertsin taajuudella. Taajuutta laskettiin, kun sen epäiltiin vaikuttavan otantojen A:n ja B:n toteutuneisiin sähköstimulointiarvoihin. Asetusarvoista jäätiin edelleen mutta saatiin toteutettua korkeampaa jännitettä broilerin ruhoihin. Rintafileiden pH:t olivat tässä otannassa melko alhaiset jo ensimmäisessä mittauksessa (keskiarvo 6,28) ja toisessa mittauksessa (keskiarvo 6,11). Tässä käsittelyssä pH muuttui vähemmän kuin aikaisemmissa otannoissa. Voi olla, että korkeampi jännite sai aikaan pH:n muuttumisen jo ennen ensimmäistä mittausta, jolloin ero syntyi jo aikaisemmin kuin vasta jäähdytyksen jälkeen.

Taulukko 6. G-otannassa käytettiin asetusarvoja 100V ja 50Hz. Tämä oli ensimmäinen otanta, jossa asetusarvot toteutuivat kokonaan sekä oli virheetön mittaustuloksissa.

Ruhomerkintä	pH mittaus teurastamossa	pH-mittaus paloittelussa	pH-muutos
G1	6,09	6,00	-0,09
G2	6,33	6,02	-0,31
G3	6,11	6,02	-0,09
G4	6,13	5,90	-0,23
G5	6,02	5,88	-0,14
G6	6,36	6,03	-0,33
G7	6,37	6,07	-0,30
G8	6,36	6,01	-0,35
G9	6,26	6,05	-0,21
G10	6,31	6,17	-0,14
G11	6,27	6,10	-0,17
G12	6,33	5,91	-0,42
G13	6,28	6,20	-0,08
G14	6,42	6,18	-0,24
G15	6,35	5,98	-0,37
G16	6,38	6,15	-0,23
G17	6,17	6,09	-0,08
G18	6,23	6,09	-0,14
G19	6,16	5,98	-0,18
G20	6,35	6,11	-0,24
G21	6,30	5,95	-0,35
G22	6,38	6,01	-0,37
G23	6,20	6,01	-0,19
keskiarvo	6,27	6,04	-0,23
pienin arvo	6,02	5,88	-0,42
suurin arvo	6,42	6,2	-0,08
vaihteluvälin pituus	0,4	0,32	0,34

G-otannan tarkoituksen oli toimia toisen testipäivän matalana sähköstimulointina ja E-otannan korkeana. Kun E-otannan säätöarvot eivät toteutuneet ja G-otannan taas toteutuivat, ei otantojen välille muodostunut kuin 20 voltin jännite-ero. Oli kuitenkin positiivista löytää sellaiset säätöarvot, jotka laitteisto pystyi toteuttamaan. G-otannan ensimmäisten mittauksien pH:n keskiarvo oli 6,27, eroa E:hen vain 0,01 yksikköä. Toisen mittauksen jälkeen pH:t jäivät melko alas (keskiarvo 6,04). Kun stimuloinnin jännitteet (E ja G) eivät paljon poikenneet toisistaan, pH:t olivat lähtötilanteessa samalla tasolla. Mutta taajuus toteutui G:ssä paremmin, on se voinut vaikuttaa pH:n muuttumiseen alemmas, kuin E:n tuloksissa.

Taulukko 7. D-otannassa ei käytetty sähköstimulaatiota, joten se kuvastaa tutkimuksen toista normaalia pH-muutosta teurastus- ja jäähdytysprosessin välillä.

Ruhomeikintä	pH mittaus teurastamossa	pH-mittaus paloittelussa	pH-muutos
D1	6,05	5,48	-0,57
D2	6,13	6,07	-0,06
D4	6,36	6,17	-0,19
D5	6,40	6,17	-0,23
D6	6,43	6,09	-0,34
D7	6,38	6,11	-0,27
D8	6,29	6,12	-0,17
D9	6,28	6,07	-0,21
D10	6,36	6,14	-0,22
D11	6,48	6,18	-0,30
D12	6,43	6,07	-0,36
D13	6,27	6,19	-0,08
D14	6,40	6,06	-0,34
D15	6,46	6,24	-0,22
D16	6,46	6,11	-0,35
D18	6,53	6,29	-0,24
D19	6,24	6,02	-0,22
D20	6,44	6,19	-0,25
D21	6,40	6,00	-0,40
D22	6,35	6,02	-0,33
D23	6,38	6,07	-0,31
keskiarvo	6,36	6,09	-0,27
pienin arvo	6,05	5,48	-0,57
suurin arvo	6,53	6,29	-0,06
vaihteluvälin pituus	0,48	0,81	0,51

D-otanta oli toinen normaalitilanteessa tapahtunut seuranta. Ensimmäisten pH-mittauksien tulokseksi tuli keskiarvallisesti 6,35 ja toisen mittauksen jälkeen 6,06. PH-muutoksen keskiarvo kahden mittauksen välillä oli 0,29 yksikköä. Kun tuloksia vertaa kahteen edelliseen otantaan, pH:n lähtöarvo oli korkeampi mutta se tippui jäähdytyksen jälkeen lähes samalle tasolle. E, G ja D otantojen keskiarvojen tuloksien perusteella sähköstimuloinnilla voitaisiin nopeuttaa pH:n muuttumista ja se tapahtuisi jo ennen jäähdytystä ja lopputulos pH:n arvossa olisi samalla tasolla. Tämä tarkoittaisi sitä, että sähköstimuloinnilla voitaisiin vaikuttaa glykolyysin nopeuteen ja kuolonkankeus tapahtuisi nopeammin.

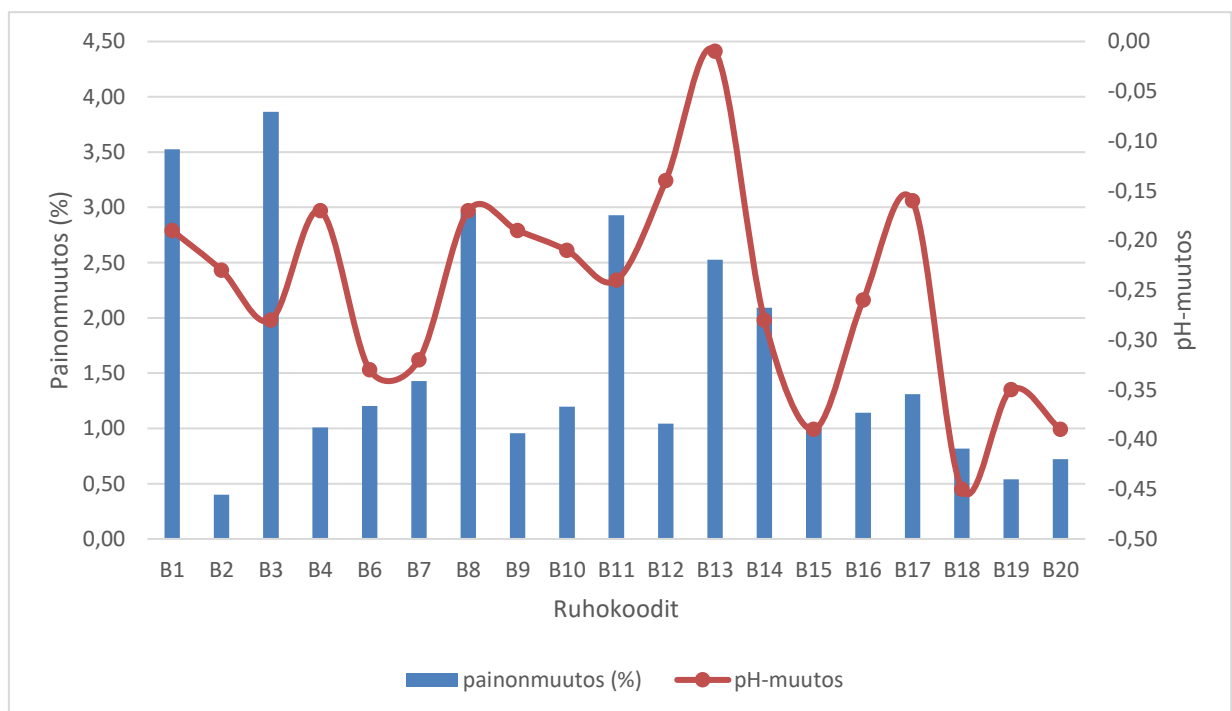
7 Tulosten tarkastelu

Jaetaan tulosten tarkastelu kahteen osaan. Ensin tarkastellaan stimuloinnin vaikutusta lihasta irronneeseen nesteeseen ja havainnollistetaan otoksia pylväsdiagrammin avulla. Sekä sähköstimuloinnin vaikutusta broilerin rintafileen pH-muutoksiin. Tutkitaan, onko aineistoissa tilastollisesti merkittäviä eroja pH:n muuttumisessa ja vedensidontakyvyn toteutumisessa Studentin t-testillä. Ennen tilastollista tutkimusta aineistosta on poistettu virheelliset mittaustulokset, jotka olivat korostettu taulukoissa 2–7 punaisella värillä.

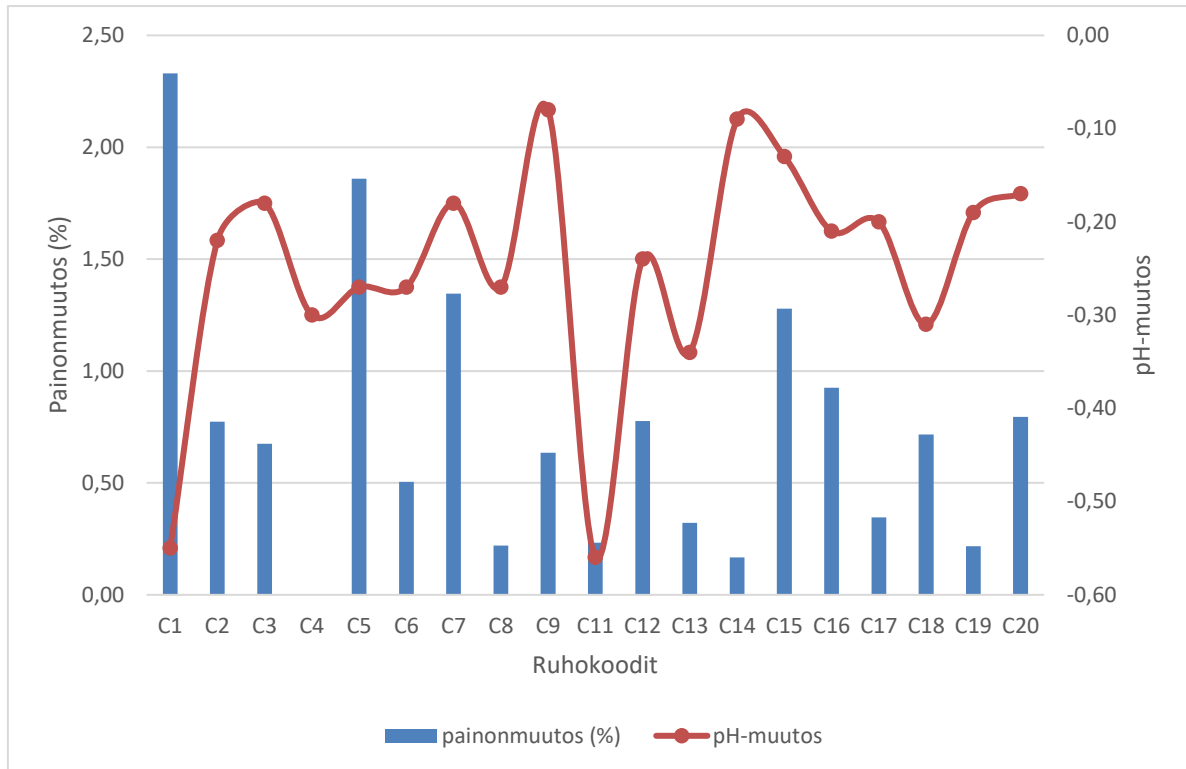
7.1 Sähköstimulointi ja vedensidontakyky

Hyvän vedensidontakyvyn omaavan fileestä ei irtoa tai irtoa hyvin vähän nestettä säilytyksen aikana. Filettä kypsentaessä on myös tärkeää, että vesi pysyy fileessä, eikä irtoa. Jos vettä irtoaa runsaasti kypsennysvaiheessa, liha saattaa jäädä kuivaksi. Voidaan havainnollistaa pH-muutoksen ja vedensidontakyvyn toteutumista pylväs- ja viivadiagrammin yhdistelmällä (kuvat 3 ja 4).

Kuva 3. B-otanta irtoavan nesteen määrä ja pH:n muutos mittausten välillä (50V, 120Hz)



Kuva 4. C-otannan irtoavan nesteen määrä ja pH:n muutos mittausten välillä (normaali tilanne, ei sähköstimulointia)



Kuvissa 3 ja 4 voimme huomata, että irtoavan nesteen määrä ja pH-muutoksen määrä vaihtelevat otoksien välillä. Ideaalissa tilanteessa painonmuutosta eli painohävikkiä tapahtuisi mahdollisimman vähän. Sähköstimuloidussa otannassa noin 1 % painohävikki on suurin joukko mutta näiden otantojen pH-muutokset vaihtelevat. Vastaavasti ei sähköstimulaatioita saaneiden fileiden painohävikkiä muodostui huomattavasti vähemmän mutta hajonta on suurempaa. Myös tämän otannan vähiten painohävikkiä muodostaneiden pH-muutokset vaihtelevat. Keskiarvallisesti sähköstimulointi kasvatti irronneen nesteen määrää mutta pH-muutos pysyi samana.

Studentin t-testissä sähköstimuloidun B-otannan ja stimuloimattoman C-otannan testimuuttujaksi tuli 3,161. Kun tarkastellaan 5 % merkitsevyystasolla kaksisuuntaisessa testissä testimuuttujan pitää olla suurempi kuin 2,045, joten otantojen keskiarvot poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

7.2 Sähköstimuloinnin vaikutus pH:n muutokseen

Sähköstimulointi onnistui paremmin asetusarvojen ja toteutuneiden arvojen suhteen otoksissa E ja G, joten verrataan niitä ei stimuloituihin mittaustuloksiin D ja C. Jotta pH-muutoksilla olisi kaksisuuntaisessa testissä 5 % merkitsevyystasolla tilastollisesti merkitsevää eroa tulee testimuuttujan olla suurempi t-jakauman kriittinen arvo.

Taulukko 8. T-testin testimuuttuja ja kriittiset arvot sähköstimuloinnin vaikutuksesta pH-muutokseen

Otannat t-testissä	Testimuuttuja	Kriittinen arvo
E ja D	0,803	2,026
G ja D	1,262	2,019
E ja C	0,165	2,039
G ja C	0,607	2,030

Taulukossa 8 on nähtävillä, että t-testin testimuuttujat jäävät kaikissa testeissä alle kriittisen arvon. Näin ollen pH-muutokseen ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa oliko ruhoja sähköstimuloitu vai ei. Pitää kuitenkin ottaa huomioon se, että prosessissa kuluu aikaa sähköstimuloinnista ensimmäiseen mittauspisteeseen. Rintafileiden pH on jo siis saattanut alkaa laskea hyvin ennen ensimmäistä mittausta, kuten E-, G- ja D-otantojen mittaustuloksissa huomattiin. Pitkän jäähtymisen aikana 50 voltin matalajännitteellä käsiteltyjen ja käsittelemättömien ruhojen pH:t juuri laskivat enemmän, kuin korkeampaa jännitettä saaneet ruhot. Tämä voi vaikuttaa siihen, ettei pH-muutoksien välillä löytynyt tilastollisesti merkittävää eroa.

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Tutkimuksessa saatiin vastaukset tutkimuskysymyksiin: Onko sähköstimuloinnilla vaikutusta broilerinlihan laatuun, voidaanko sähköstimuloinnilla parantaa broilerinlihan laatua ja vaikuttiko sähköstimulaatio lihasta irtoavan nesteen määrään.

Tutkimuksen perusteella sähköstimuloinnilla oli vaikutusta broilerinlihan laatuun. Vaikutus jäi kuitenkin negatiiviseksi, koska tutkimuksen perusteella sähköstimuloinnilla heikennettiin rintafileiden vedensidontakykyä eli lihasta irtosi nestettä enemmän, jos sitä oli käsitelty sähköstimuloinnilla. Broilerin rintafileiden pH-muutoksiin ei saatu tilastollisesti merkittävää eroa käsittelyjen välillä. Mikä ei välttämättä tarkoita, etteikö sähköstimulointi prosessi vaikuttaisi pH:n muuttumiseen. Voi olla, että varsinkin korkeajännitteisessä sähköstimuloinnissa pH laskee jo ennen tutkimuksen ensimmäistä mittausta, jolloin tämä jää huomaamatta. Tämä tarkoittaisi sitä, että sähköstimuloinnilla voitaisiin nopeuttaa glykolyysiä ja kuolonkankeuden muodostumista. Mutta kyseisestä nopeuttamisesta ei ole hyötyä tässä prosessissa, kun se tapahtuu myös ilman sähköstimulointia pitkän ilmajähdytyksen aikana. Näin ollen sähköstimulointi aiheuttaisi vain turhaa energiankulutusta ja lisäkustannuksia, sekä vedensidontakyvyn heikkenemistä. Tutkimuksen tuloksiin vaikutti myös sähköstimulointiprosessin käyttökapasiteetin vajoaus, kun ensimmäinen vaihe oli pois käytöstä teknisen vian vuoksi, näin ei saatu sellaisia tuloksia kuin laitetoimittaja oli suunnitellut. Myös sopivien säätöparametrien löytyminen vasta tutkimuksen loppuvaiheessa vaikutti sähköstimuloinnin onnistumiseen otantojen välillä.

Jos tutkimusta haluttaisiin jatkaa, korjauttaisiin prosessissa ilmenneet viat toimivaksi kokonaisuudeksi. Korjaamisen jälkeen selvitettäisiin toimivia asetuksia sähköstimulaatiolle. Kun prosessin säätöarvojen rajat on saatu selville, tehtäisiin uusi tutkimus. Uudessa tutkimuksessa olisi parempi saada ensimmäinen mittauspiste lähemmäksi sähköstimulointia. Olisi myös parempi lähteä tutkimaan enemmän sähköstimuloinnin vaikutusta lihan laatuun, kuten vedensidontakykyä ja mureutta, kuin pH:ta. Koska mittausvirheiden riski pienenesi ja otantojen toteuttaminen olisi helpompaa.

Lähteet

- Aalhus, J., Cocolin, L., Guerrero-Legarreta, I., Nollet, L., Purchas, R., Schilling, M., Stanfield, P. & Xiong, Y. (2012). Teoksessa Hui, Y. H. (toim.). *Handbook of meat and meat processing*. Second edition. USA: CRC press.
- Hanna Instruments. (n.d.) hi-99163 foodcare pH meter for meat [kuva].
<https://www.hannainstruments.co.uk/food-and-drink/1837-handheld-meat-ph-meter>
- Ijäs, T., Leino, P. & Åkerström, A. (2001). *Lihankäyttöopas*. Otava.
- Juslin, I. (2016). *Siipikarjanlihan laatu muuttuvassa prosessissa*. Pro gradu -tutkielma. Elintarviketeknologia. Helsingin yliopisto.
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/163724>
- Lawrie, R. A. & Ledward, D. (2006). *Lawrie's Meat Science*. Seventh edition. Abington: Woodhead Publishing Ltd.
- Leino, P., Kohtala, J., Kymäläinen S., Tarvainen, J., & Henriksson, J. (2007). *Liha-alan ammattioppi*. Edita Prima Oy.
- Lihatiedotus. (n.d.). Lihan väri.
<https://www.lihatiedotus.fi/ruokaa-lihasta/valinta-ja-ostaminen/lihan-vari.html>
- Lihatiedotus. (26.3.2021). Broileria kulutettiin viime vuonna ennätysmäärä.
<https://www.lihatiedotus.fi/uutiset/broileria-kulutettiin-viime-vuonna-ennatysmaara-2.html>
- Papinaho, P. (1996). *Physiological and processing factors affecting broiler Musculus pectoralis shear values and tenderness*. Väitöskirja. EKT-sarja 1010. Yliopistopaino.
- Remes, M. (toim.) (2013). *Liha – kaikki lihasta laiturilta lautaselle*. Readme.fi Oy
- Solunetti. (n.d.). Yleistä luusta.
<http://www.solunetti.fi/fi/histologia/luu/>
- Solunetti. (n.d.). Poikkijuovainen lihas. [kuva]
http://www.solunetti.fi/fi/histologia/poikkijuovainen_lihas/