

Janne Niskala

Sianruhon optimaalinen jäähdytys

Opinnäytetyö

Kevät 2011

Tekniikan yksikkö

Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä: Janne Niskala

Työn nimi: Sianruhon optimaalinen jäähdytys.

Ohjaaja: Pasi Junell

Vuosi: 2011 Sivumäärä: 36 Liitteiden lukumäärä: 0

Teurastuksen jälkeen sian ruhot tulee jäähdyttää mahdollisimman nopeasti mikrobiologisen laadun turvaamiseksi, massahävikin pienentämiseksi ja läpimenon lisäämiseksi. Sianruhot voidaan jäähdyttää niin sanotulla pikajäähdytyksellä, jolloin sian ruhot kulkevat heti teurastuksen jälkeen pakkastunnelissa, noin -20 asteessa. Tämä prosessi kestää 1,5 tuntia. Sen jälkeen ruhot siirtyvät kylmävarastoon, ja pinnan kohmeus ja sisätilan lämpö tasaantuu vielä noin 15 tuntia. Kun ruhon lämpimin kohta on saavuttanut 7 °C asteen, teurastus katsotaan päättyneeksi ja ruho voidaan jatkokäsitellä.

Tuotantolaitosten on tärkeää täyttää seuraavat jäähdytyksen kriteerit: 1. lainsäädännöllisten vaatimusten täyttäminen 2. ruhon massahävikin minimointi 3. lihasten kylmäsupistumisen välttäminen ja 4. läpimenon lisääminen. Tutkimukset osoittavat että mitä nopeammin ruho saadaan jäähdytettyä, sitä pienempi on massahävikki. Ruhon jäähdytystä nopeutettaessa ongelmaksi nousevat laaturvirheet, ensimmäisenä ulkofileen kylmäsupistuminen. Käytännössä siis jäähdytyslaitteet pitää siis asettaa niin kylmälle kuin mahdollista, kylmäsupistumisen rajoille. Näin voidaan pienentää jäähdytyksessä esiintyvää massahävikkiä.

Toinen jäähdytykseen liitetty hävikki on varastointihävikki. Varastointihävikkiä ilmenee kun ruho joutuu odottamaan ruhovarastossa vielä sen jälkeenkin, kun lämpötila on laskenut seitsemään asteeseen. Varastointihävikki kasvaa, jos esimerkiksi teurastamon läpimeno on suurempi kuin sikaleikkaamon läpimeno. Näin varastoon kertyy ruhoja, jotka joutuvat olemaan varastoituna pitkäänkin. Taloudellisesti olisi optimaalisinta jos ruhot pystyttäisiin siirtämään heti kun tarvittava lämpötila on saavutettu. Lihanohjauksen optimoimisella saavutettaisiin varastointihävikin minimointi.

Avainsanat: Jäähdytys, sika, teurastus.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Food Processing and Biotechnology

Author: Janne Niskala

Title of thesis: The optimal chilling of carcasses

Supervisor: Pasi Junell

Year: 2011

Number of pages: 36

Number of appendices: 0

The thesis was made to study the level of mass loss in Finnish pork processing factory. Weight, pH, internal temperatures and storage temperatures were measured from nine carcasses. The measurements were performed with thermal camera, carcass scale, pH meter and temperature logger.

After slaughter, pig carcasses are chilled from 41 °C to 7 °C. Before carcasses reach this temperature, they cannot be processed further. To lower the internal temperature this much, approximately 8 MJ of thermal energy must be removed from the carcasses. This energy must be removed quickly enough to ensure fast processing and low mass loss. However, if the carcasses are chilled too rapidly, quality problems, such as cold-shortening of the muscles begin to appear. Also the operating costs are higher when carcasses are chilled more than needed.

For efficient carcass cooling, pork processing factories must find optimized cooling that fills legislative requirements, minimizes weight loss, avoids cold-shortening and at the same time, achieves fast processing. Economical factors must be noticed. Optimal cooling is reached by increasing the power of cooling to the limit where cold-shortening appears.

Keywords: Carcass, cooling, pig, pork, slaughter.

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
1 JOHDANTO.....	6
2 RUHON JÄÄHDYTYS.....	7
2.1 Yleistä	7
2.2 Jäähdytys ja mikrobiologia	7
2.3 Jäähdytyksen tavoitteet.....	8
2.4 Ruhon jäähdytyksen termodynamiikka.....	9
2.4.1 Haihtuminen.....	10
2.4.2 Konvektio	11
2.4.3 Lämmön johtuminen.....	12
2.4.4 Lämpösäteily.....	14
3 TEURASTUKSEN JÄLKEISET MUUTOKSET LIHAKSESSA	16
3.1 Yleistä	16
3.2 pH-arvon lasku	16
3.3 Rigor mortis ja kylmäsupistuminen.....	17
3.4 PSE-liha (pale, soft, exudative)	18
4 PAINOHÄVIKKI.....	20
4.1 Vedensidontakyky	20
4.2 Haihtumishävikki	22
5 MITTAUKSET JA TULOKSET	23
5.1 Mittausmenetelmän kuvaus.....	23
5.2 Mittaustulosten esittely	24
5.3 Mittaustulosten pohdinta	29
5.4 Vesisuihkutuksen vaikutus jäähtymiseen	31
5.5 Yhteenveto.....	32
6 LÄHTEET	34
LIITTEET	36

Käytetyt termit ja lyhenteet

Aktiini	Proteiini, jota esiintyy runsaasti lihassoluissa
Denaturoituminen	Valkuaisaineen eli proteiinin kvaternaari-, sekundaari- tai tertiäärirakenteen tuhoutumista, jonka seurauksena proteiini menettää biologisen toimintakykynsä.
Endomysium	Sidekudoskerros, joka ympäröi lihassyyn
Filamentti	Lihaksen supistuessa aktivoituva lihassäikeen osa
Isoelektrinen piste	pH-arvo, jossa proteiinin elektronegatiivisuusero on nolla. Tässä pisteessä proteiinit yleensä saostuvat.
Myofibrilli	Kunkin lihassyyn supistuva osa koostuu pitkittäissuuntaisista myofibrilleistä. Myofibrillit taas muodostuvat aktiini- ja myosiinifilamenteista
Myofilamentti	Ohuista (aktiini-, troponiini- ja tropomyosiini) ja paksuista (myosiini II) proteiinisäikeistä muodostuva lihassolun supistuva rakenteellinen yksikkö.
Myosiini	Proteiini, jota esiintyy lihaksissa
Patogeeninen	Sairautta aiheuttava loinen, bakteeri, virus tai prioni.
Sarkoplasma	Lihassolun solulima.
Suhteellinen kosteus	Kuinka paljon vesihöyryä voi olla ilmassa tietyssä lämpötilassa

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan jäähdytyksen eri vaikutuksiin sian ruhoihin. Ruhon jäähdytys on kriittinen piste lihan hygienian ja laadun kannalta. Taloudellisesta näkökulmasta tärkeimmät tekijät ovat jäähdytyksessä tapahtuva painohävikki sekä jäähdytyksen käyttökustannukset. Tässä työssä myös tutkittiin yhdeksää eri sikaa suomalaisessa sikateurastamossa. Jäähdytykseen menevistä ruhoista mitattiin lämpötilaa, massahävikkiä sekä pH-arvoa.

Lähtökohtaisesti eläinten ruhot tulee jäähdyttää mikrobiologisten riskien vähentämiseksi. Myös elintarvikelainsäädäntö asettaa tiukat rajat jäähdytyksen tehokkuudelle. Teurastettuun eläimen ruhoon on varastoitunut suuri määrä lämpöenergiaa. Lämpöenergia tulee poistaa ruhoista mahdollisimman nopeasti. Tällöin saavutetaan parempi mikrobiologinen laatu, suurempi läpimeno sekä pienempi painohävikki.

Jäähdytyksen tehokkuuden rajat taas asettavat tehokkaan jäähdytyksen käyttökustannukset sekä mahdolliset negatiiviset vaikutukset lihan laatuun. Liha ei saa jäätyä. Sianlihan ominaisuuksien ansiosta ruhot voidaan jäähdyttää aluksi pika-jäähdytyksellä, minkä jälkeen ruhot siirtyvät kylmävaraston puolelle jäähtymään.

Vääränlaisen jäähdytyksen vaikutuksia ovat muun muassa laadun tai värin muutokset, mikrobiologiset muutokset, painohävikki ja kutistuminen. Painohävikki on taloudellisesti tärkein tekijä ruhon jäähdytyksessä. Yleisesti mitä nopeammin ruho jäähdytetään, sitä vähäisempi on painohävikki ja myyntiaika pidempi. (Bowater 2001, 2.)

2 RUHON JÄÄHDYTYS

2.1 Yleistä

Ruho ja elimet tulee jäähdyttää välittömästi punnituksen jälkeen kauttaaltaan lämpötilaan, joka on alle 7 °C. Ennen kuin tämä lämpötila on saavutettu, ruhoa ei saa siirtää jäähdyttämöstä eikä käsitellä sitä muutoinkaan. Perinteinen tunnelijäähdytys sisältää aluksi lämpötilan -15 °C – -25 °C ja nopean ilmankierron 1–1,5 tunnin ajan. Lapa ei saa jäätyä, mutta ruhon ohuimmat kohdat mahdollisesti jäätyvät. Tämän jälkeen ruho siirtyy -5 °C – -10 °C varastoon. Kun pinta on kylmä, ruho siirretään 0 °C – 4 °C varastoon. Varastossa on hidaskiertoinen ilmankierto painohävikin välttämiseksi. Sen jälkeen alkaa lämmön tasaantuminen. Sian teurastus lasketaan päättyneeksi silloin, kun se on jäähdytetty lämpötilaan 7 °C. (Puolanne 2005, 40.)

2.2 Jäähdytys ja mikrobiologia

Terveiden eläinten ehjät kudokset ovat pääsääntöisesti steriilejä; kuitenkin muutettaessa eläviä eläimiä lihaksi jonkin tasoista ruhojen mikrobiologista kontaminaatiota voidaan odottaa. Teurastuksen aikana ruhot voivat ristikontaminoitua eläimen ulkoisten pintojen, työntekijän vaatteiden, käsien tai työvälineiden, muiden ruhojen, teurastamon ympäristön ja laitteiston sekä suolistuksessa mahdollisesti roiskuvien ruumiinnesteiden kautta. Ruhojen kontaminaatiota tapahtuu prosessin aikana, vaikka prosessin hygienian ylläpitämiseen on kehitelty seuranta- ja tehdaskohtaisia strategioita. Ruhon kontaminaation väistämättömyys on yksi lihateollisuuden kriittisin turvallisuus- ja laatuhaaste. Suurin osa mikro-organismeista, jotka siirtyvät ruhoon teurastuksessa, ovat ei-patogeenisiä, pilaantumista aiheuttavia bakteereja. Kuitenkin potentiaalinen patogeenien läsnäolo on huolenaihe kuluttajan terveyden kannalta. Kauppoihin menevät patogeeneja sisältävä raa'at lihatuotteet voivat aiheuttaa suuria taloudellisia menetyksiä yritykselle, ruuan aiheuttamia sairauksia

kuluttajalle tai jopa kuoleman. Jotta voidaan tehokkaasti vähentää ruhojen mikrobiologista kontaminaatiota, on tärkeää, että ruhon pinnalla olevien mikrobien nopeaa lisääntymistä voidaan kontrolloida ja vähentää. Siten on välttämätöntä, että teurastuksen jälkeen ylläpidetään riittävä jäähdytys. (Sofos & Nikolaos 2005, 364.)

Lihasten metabolisen aktiivisuuden takia ruhon keskilämpötila voi nousta noin 40 asteeseen heti teurastuksen jälkeen. Tyypillisesti ruhot jäähdytetään ennen prosessointia; kuitenkin jäähtyminen 40 asteesta tarjoaa mahdollisuuden etenkin kylmää sietävien, pilaantumista aiheuttavien ja patogeenisten bakteerien nopeaan kasvuun. Tuoteturvallisuuden kannalta ihanteellista on, että ruho jäähdytetään niin nopeasti kuin mahdollista, siten minimoiden mikroflooran kasvu ruhon pinnalla. (Sofos & Nikolaos 2005, 365.)

Ruhon massahävikin minimoimiseksi ja mikrobien kasvun hidastamiseksi ruhon pintalämpötila pitää laskea mahdollisimman nopeasti. Vaikka jäähdytyksen tai pakastamisen tarkkoja vaikutuksia ei täysin ymmärretä, tiedetään, että matalat lämpötilat pidentävät mikro-organismien kasvun lag-vaihetta, jolloin mikrobit eivät lisäännä, vaan sopeutuvat uusiin olosuhteisiin. Näin ruhon mikrobiologinen kuormitus vähenee. Kun lämpötilaa lasketaan lähelle jäätymispistettä, bakteerien sisälle muodostuu jääkristalleja, jotka voivat vahingoittaa ja tappa bakteereja. Lisäksi matala lämpötila aiheuttaa kemiallisia muutoksia bakteerin solukalvoon, mikä johtaa mikrobin pysyvään fyysiseen vaurioon. (Sofos & Nikolaos 2005, 366.)

2.3 Jäähdytyksen tavoitteet

Tärkeät kriteerit ruhon jäähdytyksessä ovat: 1. lainsäädännöllisten vaatimusten täyttäminen, 2. ruhon massahävikin minimointi, 3. lihasten kylmäsupistumisen välttäminen ja 4. jäähdytykseen tarvittavan ajan minimointi, ja siten läpimenon lisääminen. Ottaen huomioon näiden tekijöiden vuorovaikutuksen, yrityksen on olennaista löytää näiden tekijöiden tasapaino, joka optimoi jäähdytysprosessin. Tällainen jäähdytys saavuttaa tarvittavan läpimenon, minimoiden massahävikin ja vält-

tää kylmäsupistumisen, ja tärkeimpänä, estää mikrobien nopean kasvamisen. (Sofos, Nikolaos 2005, 365.)

Jäähdytyksessä ruhot on lihahygienia-asetuksen (16/EEO/2001) mukaisesti jäähdytettävä välittömästi teurastuksen jälkeen korkeintaan 7 °C, jonka on todettu estävän tehokkaasti joidenkin suolistopatogeenien kasvua. Viileässä säilyvien (psykrotrofisten) bakteereiden kasvu hidastuu, mutta ei esty. (Vaarojen arviointi ja kriittisten hallintapisteiden määrittäminen, 11.) Ruhon lämpötila siis voi korkeimmillaan olla seitsemän astetta, ennen kun se voidaan poistaa jäähdytyksestä myyntiin tai jatkoprosessointiin.

Vaikka nopea lihaskudoksen jäähdytys vaikuttaa ideaaliselta käytännössä, siihen liittyy kuitenkin muutamia isoja ongelmia. Liian nopea jäähtyminen voi aiheuttaa kylmäsupistumisen ja lihasrakenteiden tuhoutumista. (Sofos & Nikolaos 2005, 367.) Lisäksi liian tehokas jäähdytys lisää käyttökustannuksia.

2.4 Ruhon jäähdytyksen termodynamiikkaa

Aineen rakenneosaset (molekyylit, atomit) ovat jatkuvassa liikkeessä (lämpöliike). Mitä vilkkaammin rakenneosaset liikkuvat, sitä suurempi on aineen lämpötila. Lämpöenergia on siis aineen atomien liikettä. Lämpötila sen sijaan on suure, mikä ilmaisee lämpöenergian määrän. Lämpötilaa mitataan eri asteikoilla, joista tärkeimmät ovat celsius ja kelvin-asteikot. (Kerkkänen, [Viitattu 15.4.2011].)

Ominaislämpö eli aineen energiasisältö täytyy tietää, jos halutaan laskea, paljonko jäähdytyksessä vapautuu energiaa. Latenttilämpö kertoo olomuodon (höyry, neste, kiinteä) muutoksissa vapautuvan tai sitoutuvan energian. (Hautala & Peltonen 2007, 160.) Ruhosta on poistuttava riittävästi lämpöä (n. 8 MJ) mahdollisimman nopeasti. Nopean jäähdytyksen etuina ovat hyvä lihan hygieeninen laatu ja pieni jäähdytystilan tarve. (Puolanne 2005, 40.)

2.4.1 Haihtuminen

Kun nestepinta on kosketuksissa kaasun kanssa, nesteen sisällä yksittäisiin molekyyliin vaikuttavat voimat ovat likimain tasapainossa. Nesteen pinnalla sen sijaan molekyyliin vaikuttaa nestepintaa vasten kohtisuora voima, joka pyrkii estämään molekyylin irtautumisen kaasufaasiin. Molekyylien värähtelyenergia on kuitenkin jakautunut satunnaisesti, joten nesteessä on yksittäisiä molekyyliä, joiden värähtelyenergia on riittävä irrottamaan ne nesteestä höyryksi kaasufaasiin. Vastaavasti kaasufaasista palaa nesteeseen tietty määrä molekyyliä. (Höyrystyminen, [viitattu 16.5.2011].)

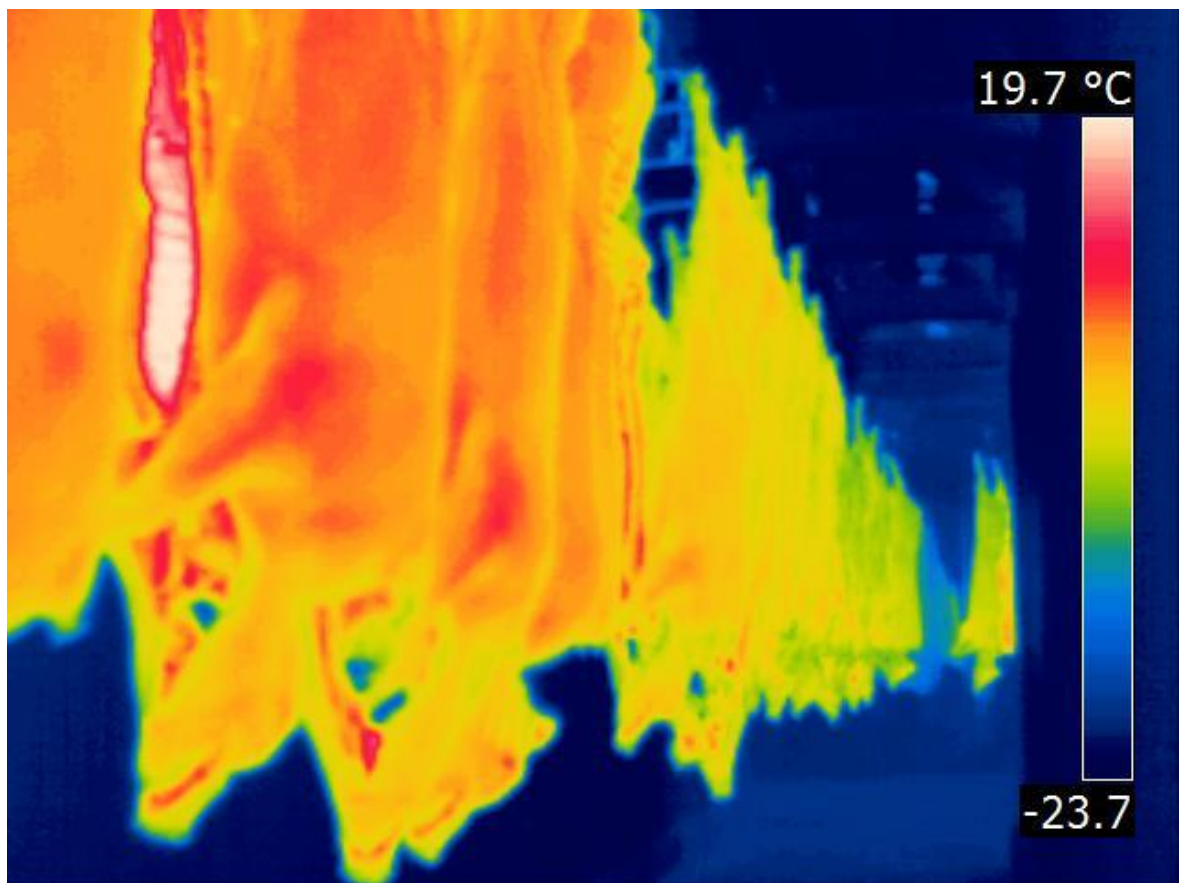
Kun kaasufaasin sisältämä höyryn osapaine on pienempi kuin suurin osapaine, jonka kaasu voi tässä lämpötilassa sitoa, nesteestä haihtuu enemmän molekyyliä kaasufaasiin kuin mitä kaasufaasista palaa nesteeseen. Nettovaikutuksena nestettä höyrystyy, ja latenttilämpö kertoo höyrystymisessä vapautuvan energiamäärän. Koska höyrystyvien molekyylien värähtelyenergia on keskimääräistä suurempi, nesteen lämpötila samalla laskee. Toisin kuin kiehumisessa, nesteen ja höyryn paineet eivät ole silloin samat. Nesteen paine on höyrynpainekäyrän yläpuolella, ja höyryn osapaine kaasufaasissa voi olla höyrynpainekäyrällä (tasapainotila, jolloin suhteellinen kosteus $\varphi = 100\%$) tai sen alapuolella. (Höyrystyminen, [viitattu 16.5.2011].)

Haihtuminen myös sitoo lämpöenergiaa ruhon pinnalta, joten mitä enemmän vettä siitä haihtuu, sitä enemmän pinta myös jäähtyy. Korkean ilmavirtauksen ansiosta ruhon pinta haihduttaa kaiken mahdollisen veden, ja ruhon pinnalle muodostuu niin sanottu kuivumiskerros. Pikajäähdytystunnelin suhteellinen kosteus, eli määrä kuinka paljon kosteutta on mahdollista olla ilmassa, on 100 % silloin, kun tunnelin lämpötila on matalampi kuin ulkolämpötila. Kuitenkin ruhon pinnan läheisyydessä lämpötila on korkeampi ja suhteellinen kosteus on ruhon lähipinnalla pienempi kuin 100 %, mikä mahdollistaa haihtumisen. Haihtunut höyry tiivistyy lumeksi ja jääksi jäähdyttämöön, koska se ei mahdu ilmaan. Talvella kovalla pakkasella pikajäähdyttämön suhteellinen kosteus on kuitenkin pienempi kuin 100 %, mikä aiheuttaa suuremman haihtumisen ruhojen pinnalta.

2.4.2 Konvektio

Lämpö voi siirtyä nesteissä ja kaasuissa virtauksen mukana eli konvektiolla. Konvektio jaetaan vapaaseen ja pakotettuun. Kun vettä lämmitetään, lämpötilaero saa veden virtaamaan esimerkiksi lämmityspatterissa. Tämä on vapaata konvektiota, samoin ilman virtaus lämpöpatterin ohi tai ilman kierto ikkunalasien välissä. Jos lämmitysjärjestelmään lisätään pumppu, kyseessä on pakotettu konvektio. Systemiin on lisätty ulkoista energiaa. (Hautala & Peltonen 2007, 173.)

Ruhosta saadaan poistettua suuri määrä lämpöenergiaa, kun sen pintaan puhalletaan kylmää ilmaa. Tällöin on myös kyse pakotetusta konvektiosta. Pika-jäähdytyksen jälkeen pinnan ja sisä-osien lämpötilaerot ovat jopa yli 30 astetta.



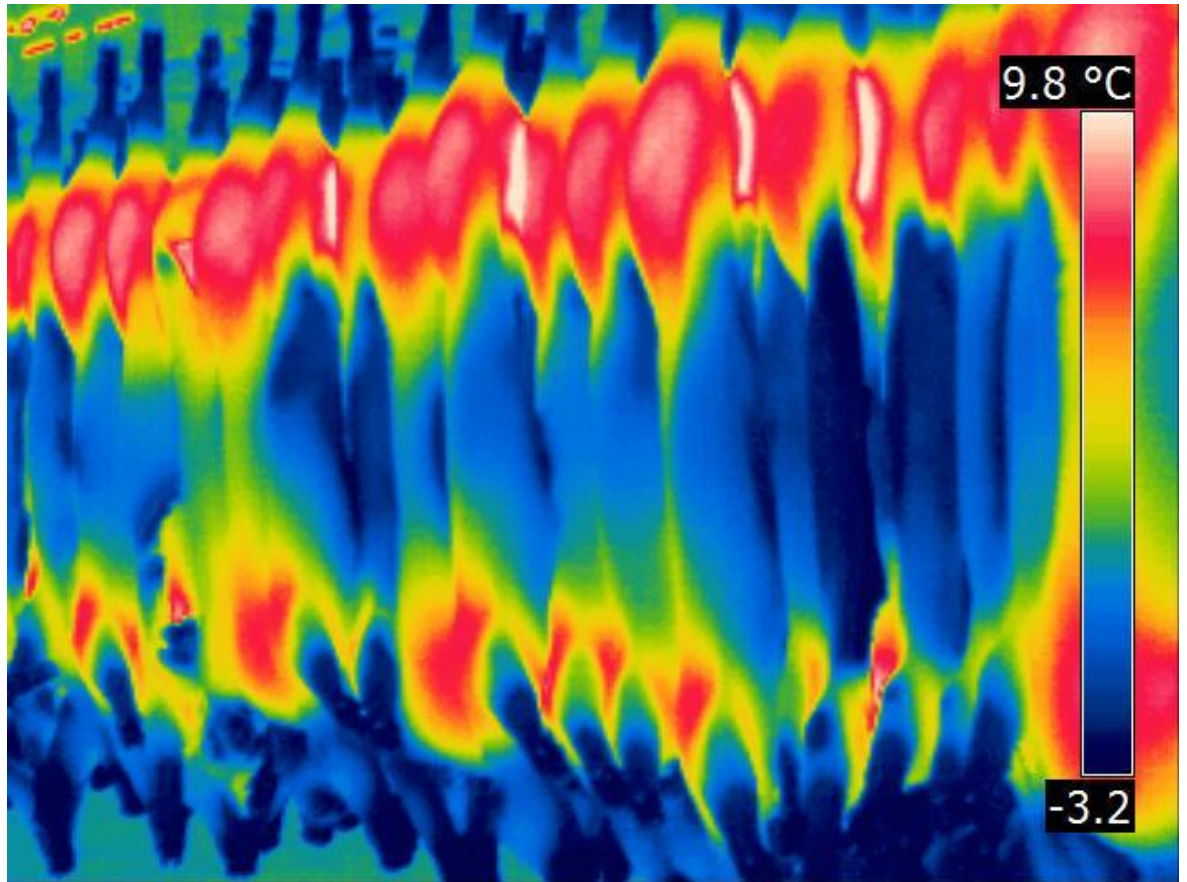
Kuvio 1. Lämpökamerakuva ruhoista pikajäähdytystunnelin alkupäässä.

Ruhon pintalämpötila laskee nopeasti -20 °C tunnelissa, missä on korkea ilmavirtaus. Kuviossa 1 tämä ilmiö on hyvin esillä. Ruhon poistuessa pikajähdytyksestä, sen pinta on osittain jäässä, mutta syvimmissä kohdissa sisälämpötila on vielä useita kymmeniä asteita. Ilmavirtaus lisää ruhon pinnalla tapahtuvaa nesteen haihtumista. Siksi ilmavirtausta yleensä rajoitetaan ruhovaraston puolella, kun nopea pinnan jäähdytys on saavutettu. Kuvan ottamiseen käytetyn lämpökameran virhemarginaali on 2 °C .

2.4.3 Lämmön johtuminen

Kun kappaleen toista päätä lämmitetään eli päähän tuodaan lämpöenergiaa, kappaleessa olevien atomien kineettinen energia lisääntyy ja lämpötila nousee. Syntyy lämpötilaero, joka pyrkii tasoittumaan. Lämpö siirtyy kappaletta pitkin johtumalla. Lämpö johtuu sen takia, että vierekkäin olevat molekyylit vaihtavat energiaa. Metalleissa myös elektronit vaihtavat energiaa. Siksi metallit johtavat hyvin lämpöä. (Hautala & Peltonen 2007, 165.)

Mitä kylmemmäksi ruhon pinta saadaan, sitä nopeammin ruhon sisä-osiot jäähtyvät. On myös tärkeää, että ruhoilla on varastossa riittävästi tilaa ja että ne eivät koske toisiinsa. Jos ruhot ovat toisissaan tiiviisti, lämmön tasaantuminen pidentyy.



Kuvio 2. Lämpökamerakuva ruhovarastosta. Noin 5 tuntia teurastuksesta, muutama tunti pikajähdytyksen jälkeen

Kuviossa 2 näkyy hyvin lämpötilan johtuminen. Pikajähdytyksen jälkeen ruhon pinta on jäänyt. Muutaman tunnin kuluttua syvimät kohdat eli kinkku ja lapa johtavat lämpöä ruhon sisältä myös pintaan. Ruhot, joilla on suuri rasvaprosentti eristyvät paremmin pikajähdytykseltä.

Johtuminen on hidasta ja siihen vaikuttaa ruhon koostumus (vesi, rasva ja lihas). Varaston lämpötila pääsääntöisesti on 2 °C - 4 °C astetta. Sisälämpötila laskee hiljalleen varastoinnin aikana. Vuorokauden kuluttua teurastuksesta ruhojen lämpötila on tasaantunut huomattavasti, ja kinkun syvin kohta on normaalisti laskenut alle viiden asteen.

2.4.4 Lämpösäteily

Kaikki absoluuttisen nollapisteen (0 K) yläpuolella olevat kappaleet lähettävät sähkömagneettista säteilyä, joka kuljettaa mukanaan energiaa. Jos tämä energia absorboituu toiseen kappaleeseen, kappaleeseen siirtyy lämpöä. Säteily etenee valon nopeudella. (Hautala & Peltonen 2007, 174.)

Säteily voi ainetta kohdatessaan heijastua, mennä läpi tai absorboitua aineeseen. Ainoastaan absorptiossa aine lämpenee. Säteilyn aallonpituus pienenee kun lämpötila kasvaa. Samanaikaisesti lämpösäteilyn kuljettama energiamäärä lisääntyy. (Hautala & Peltonen 2007, 175.)



Kuvio 3. Lämpökamerakuva ruhosta ennen jäähdytystä

Koska säteilyn aallonpituus suurenee lämpötilan laskiessa, sen merkitys ruhon jäähtymiselle on melko pieni. Vain jäähdytyksen alkuvaiheessa, kun ruhon lämpö-

tila on korkea, lämpösäteily on huomattavissa lämpimimmissä pisteissä. Kuviossa 3 näkyy sian ruho ennen jäähdystä. Lämpimimmät alueet ovat sian sisäosissa, alueella mistä suolet on poistettu. Kuviossa 1; jäähdytyksen alkuvaihe, näkyy hyvin sian sisäpuolen ja ulkopuolen lämpöeron. Sisäpuolen lämpö säteilee toista ruhon puoliskoa vasten ja säilyttää lämpöenergiaa paremmin kuin ulkopuoli.

3 TEURASTUKSEN JÄLKEISET MUUTOKSET LIHAKSESSA

3.1 Yleistä

Teurastuksessa verenkierto ja hermoärsykkeet lakkaavat ja solu jää yksin toimimaan. Solun sisäiset säätelyjärjestelmät jäävät jäljelle, ja solu pyrkii toimimaan kuten se toimisi eläimen eläessäkin hapenpuutteessa eli verenkierron ollessa hetkellisesti riittämätön. pH-arvo, happi, ravinteet ja lämpötila ovat tekijöitä, joihin lihas solu reagoi. (Puolanne 2005, 29.)

Lihasten väliset erot glykolyysin nopeudessa johtuvat pääosin niiden erilaisesta energiametaboliasta. Lihakset voidaan ryhmitellä vaaleisiin nopeasti supistuviin glykolyyttisiin lihaksiin ja tummiin hitaasti supistuviin oksidatiivisiin lihaksiin. Stressitilanteessa vaaleat lihakset tuottavat energiaa herkemmin anaerobisella glykolyysillä tummien lihasten pyrkiessä ylläpitämään toimintaansa aerobisesti. (Yläajos ym. 2006, 1.)

Teurastuksen jälkeen happea riittää noin 1–10 minuutin ajan, minkä jälkeen alkaa anaerobinen energiantuotanto ja pH-arvo laskee. ATP:t kuitenkin kuluu koko ajan lihaksen perusaineenvaihdunnan toteuttamiseksi, lämmöntuoton ja membraanipotentiaalien ylläpitämiseksi. (Puolanne 2005, 29.)

Verenpoiston eli piston jälkeen hengitys lakkaa melko nopeasti, mutta sydän lyö ja veri virtaa jonkin aikaa. Eläin on ”toimintakykyinen”, vaikka noin 50 % verestä on valunut pois. Verenpaine kuitenkin laskee eikä se ole enää mitattavissa noin minuutin kuluttua pistosta. (Puolanne 2005, 29.)

3.2 pH-arvon lasku

Teurastuksen jälkeen lihakset tuottavat energiaa pääasiassa anaerobisella glykolyysillä eli pilkkomalla glykogeenia useiden välivaiheiden kautta laktaatiksi. Laktaa-

tin kertymiseen johtavan reaktiosarjan seurauksena solun pH-arvo laskee. Sekä pH-arvon laskunopeudella että saavutettavalla loppu-pH-arvolla on suuri vaikutus lihan laatuun, väriin ja vedensidontakykyyn. (Ylä-Ajos, Ruusunen & Puolanne 2006, 1.) Sianliha saavuttaa normaalilla glykolyysillä lopullisen pH:n 6–12 tunnin kuluttua teurastuksesta. (Honikel 2004, 392.)

Lihan pH-arvon lasku itsessään ei huononna lihaa vaan muodostaa lihakseen lihan tyypilliset ominaisuudet. Normaalin pH-arvon laskun myötä lihan säilyvyys paranee ja sen maku muotoutuu lihalle ominaiseksi. Sen sijaan hyvin nopea pH-arvon lasku lihan ollessa vielä lämmintä ei ole toivottavaa, sillä se aiheuttaa lihan proteiinien denaturoitumista ja PSE- (pale, soft, exudative) lihaksi kutsutun laatuvirheen muodostumisen. (Glykogeenidebranching-entsyymin aktiivisuus 2006.)

3.3 Rigor mortis ja kylmäsupistuminen

Kun ATP:tä on enää jäljellä noin 10 % alkuperäisestä määrästä, aktiinin ja myosiinin välille muodostuneet sidokset eivät enää katkea, vaan lihaksen sarkomeerit jähmettyvät. Lihas menettää venymiskykynsä, ja siitä alkaa rigor mortis eli kuolonkankeus. Vähitellen kaikkien mahdollisten sidoskohtien välille syntyy aktomyosiinisidos. Normaalityypisessä (jos lopullinen pH-arvo on noin 5,5) rigor mortis alkaa pH-arvon ollessa 5,8–6,3 lämpötilasta riippuen. (Puolanne 2005, 30.)

Jos lihas jäädytetään alle 10 °C ennen rigor mortiksen alkamista, lihasta tulee sitkeää. Tätä ilmiötä kutsutaan kylmäsupistumiseksi. Mitä lähempänä nollaa astetta liha on ennen rigoria, sitä voimakkaampi ilmiö on. Ongelma onkin akuutimpi sellaisissa tilanteissa, joissa rigorin muodostuminen viivästyy, ja jos pieniä lihasalueita jäädytetään voimakkaasti. Sian ja siipikarjan ruhot eivät alistu kylmäsupistumiselle helposti, koska niiden rigor käynnistyy nopeasti teurastuksen jälkeen. (Warriss 2010, 115.)

Nykyaikainen, nopea jäädytys voi jäädyttää joitakin lihaksia, etenkin niitä, jotka ovat lähellä ruhon pintaa niin nopeasti, että kylmäsupistumista esiintyy myös sioilla

ja siipikarjalla. Ruhon eri lihakset altistuvat eri tavalla kylmäsupistumiselle luontaisen metaboliaerojen takia, joten esimerkiksi ulkofile on todella herkkä kylmäsupistumiselle, kun taas sisäfile ei altistu juuri ollenkaan. Painavimmat ja isomman ravaprocentin ruhot eivät altistu kylmäsupistumiselle niin paljon kuin pienet ja rasvatomat ruhot. (Warriss 2010, 115.)

3.4 PSE-liha (pale, soft, exudative)

PSE-nimitys tulee lihaa kuvaavista englannin kielen sanoista pale (vaalea), soft (pehmeä) ja exudative (vetinen). Perinteisesti PSE-lihaksi luokitellaan liha, jonka pH-arvo on 5,8 tai alle 45 minuuttia teurastuksen jälkeen eli teurastamon punnituspisteessä. PSE-ongelmaa voi esiintyä lähinnä sioilla. Suomessa sikojen rasvapitoisuus on 20 vuodessa laskenut noin 20 %, mutta samassa ajassa ruhopaino on noussut noin 15 kg. Lisäksi siat teurastetaan nuorempina kuin aikaisemmin. Edellinen on mahdollista paitsi tehokkaalla ruokinnalla myös jalostuksella. Sioilla on entistä enemmän valkoisia lihassoluja, jotka ovat kookkaita. Valkoisissa lihassoluissa hapellinen toimintakyky on kuitenkin huomattavasti punaisia lihassoluja huonompi, jolloin aineenvaihdunta muuttuu helpommin hapettomaksi eli anaerobiseksi ja tällöin maitohappoa muodostuu lihaksiin. (Leiponen, [viitattu 16.5.2011].)

PSE-lihalla tiedetään olevan kaksi syntymistietä. Sian rasittuessa juuri ennen teurastusta esimerkiksi teurastamossa tainnutukseen ajossa, äkillinen rasitus saa aikaan voimakkaan stressireaktion. Tämä aiheuttaa nopeasti energia-aineenvaihdunnan muuttumisen anaerobiseksi, jolloin maitohappoa syntyy lihaksiin erittäin paljon. Tässä tilanteessa suoritettu teurastus vain kiihdyttää maitohapon muodostumisprosessia. Nopea maitohapon muodostuminen lihaksiin aiheuttaa pH-arvon laskun. pH:n normaalia nopeampi lasku yhdessä lämpimän lihan kanssa vaikuttavat myofibrilliproteiineihin (myosiini ja aktiini) denaturoivasti eli niiden normaalia rakennetta hajottavasti. Myosiini ja aktiini ovat keskeisiä proteiineja lihan vedensidontakyvyssä ja niiden denaturoituminen heikentää vedensidontakykyä. Vaalea valo heijastuu takaisin lihasta sitä voimakkaammin, mitä enemmän

siinä on vettä pinnalla eli mitä huonompi on vedensidontakyky. Tästä johtuu PSE-lihan vaaleus normaaliin lihaan verrattuna. (Leiponen, [viitattu 16.5.2011].)

Edellinen on perinteinen selvitys PSE-lihasta. 1990-luvun alussa jalostuksella saatiin sikojen stressiherkkyyttä aiheuttavia tekijöitä poistettua suomalaisesta sikakannasta. Lisäksi sian käsittelyä teurastamoissa parannettiin. Nykyisin ei siis erittäin nopeaa maitohapon muodostumista juuri tapahdu. Silti PSE-lihaa esiintyy. (Leiponen, [viitattu 16.5.2011].)

Jo aikaisemmin todettu eläinaineksen muutos valkosoluisempaan suuntaan aiheuttaa sen, että maitohapon muodostuminen ja pH:n lasku jatkuvat vielä 45 minuutin jälkeenkin teurastuksesta. Ongelman aiheuttaakin alhainen loppu-pH (24 tuntia tainnutuksesta), jolloin lihan pH voi hyvinkin olla alle 5,5, kun se normaalissa lihassa on 5,5–5,7. Mitä alhaisempi on lihan loppu-pH, sitä huonompi on vedensidontakyky ja sitä vaaleammalta liha näyttää. Nykyään lihan alhainen loppu-pH on siis suurempi riski kuin erittäin nopea pH:n lasku. Tähän voidaan vaikuttaa ilmeisesti ainoastaan rodunjalostuksella. Myös stressitekijöillä on vieläkin keskeinen merkitys PSE-lihan synnylle, mutta hyvä teurastamokäsittely ja stressiherkkyystekijöiden poistuminen sikakannasta ovat oleellisesti vähentäneet niiden painoarvoa. (Leiponen, [viitattu 16.5.2011].)

Teurastuksen jälkeen sianlihalle ominaisen korkean lämpötilan ja matalan pH:n ansiosta tarvitaan nopea jäähdytys suositeltuun lihaksen sisälämpötilaan: 10 °C 12 tunnin kuluttua ja 2 °C - 4 °C 24 tunnin kuluttua. Näin voidaan vähentää PSE-lihan muodostumista. Pikajäähdytys voi olla tehokas keino PSE-lihan muodostumisen estämiseksi, mutta se voi aiheuttaa laatuongelmia koska ruhon kylmällä pinnalla ja lämpimällä lihaksella ruhon sisällä on suuri lämpötilaero. (Savell, Mueller & Baird 2004, 1.)

4 PAINOHÄVIKKI

Jäähdytyksen aikana tapahtuva painohäviö on suurimmaksi osaksi kosteutta. Kosteutta häviää ruhosta haihtumalla ilmaan ja valumalla pisaroina maahan. Haihtuminen on hävikin kannalta suuressa osassa jäähdytyksen alkuvaiheessa, niin sanotussa shokkijäähdytyksessä. Valumahävikki tulee esiin vasta ruhovarastossa, kun pinnan ja sisäpuolen lämpötila on tasaantunut. Jäähdytyksessä tapahtuva hävikki onkin pääasiassa haihtumista, ja valumahävikki alkaa käytännössä lämmön tasaantumisvaiheessa.

4.1 Vedensidontakyky

Liha voi menettää nestettä leikkauspintojen kautta, sitä voi kuumennettaessa puristua ulos lihasta tai sitä voi haihtua. Toisaalta lisättäessä veden mukana suolaa, fosfaatteja tms. valmistus- tai lisääaineita veden määrä lihassa voi taas prosessin aikana nousta. Lihan vedensidontakyvyllä tarkoitetaan lihan kykyä pidättää omaa tai lisättyä vettä jotakin vaikutusta tai voimaa vastaan. (Leiponen, [viitattu 10.4.2011].)

Teurastushetkellä rasvattomassa lihassa on noin 75 % vettä, mutta riippuen lihan myöhemmästä käsittelystä siihen voi imeytyä tai siitä voi puristua ulos nestettä. Tällaiset muutokset vaikuttavat lihan taloudelliseen arvoon, koska liha myydään painon mukaan. Lisäksi lihan vesipitoisuus ja veden sijainti lihan sisällä vaikuttavat merkittävästi lihan ominaisuuksiin ja laatuun. On esimerkiksi täysin mahdollista, että kahdesta lihapalasta, joissa on sama vesipitoisuus, toinen on pehmeä ja vetinen ja toinen kiinteä ja kuiva. (Leiponen, [viitattu 10.4.2011].)

Valtaosa lihan sisältämästä vedestä sijaitsee lihassyiden sisällä. Syytä ympäröivät solukalvo ja endomysium, jotka eivät täysin estä veden siirtymistä lävitseen. Vaikka solukalvo rikottaisiinkin, vesi ei tule ulos lihassyistä. Lihassy ei siis ole kuin umpinainen astia, joka sulkee veden sisäänsä, vaan pikemmin kuin pesusieni, joka imee vettä avoimena oleviin onkaloihinsa. Suurin osa lihaksen sisältämästä ve-

destä on vapaata vettä. Proteiineihin sitoutuneen veden määrä on vain noin 5 %. Siksi vain pieni osa lihaksen vedensidontakyvystä voidaan selittää yksittäisten proteiinien kyvyllä sitoa vettä. (Leiponen, [viitattu 10.4.2011].)

Filamentit ja muut solunsisäiset rakenteet, kuten mitokondriot ja lysosyymit, ovat sulautuneet sarkoplasmaan. Tämä plasma sisältää proteiineja, suoloja ja muita pienimolekyylipainoisia yhdisteitä. Oletetaan että noin 20 % solun vedestä on sarkoplasmassa; pääosa sijaitsee kuitenkin myofibrillissä, eli lihassolun alkusäikeessä ja ne koostuvat lukuisista myofilamenteista. Vesi on filamenttien välissä ja sisältä (Honikel 2004, 392.)

Valtaosa vedensidontakyvystä johtuu proteiinien ja edelleen filamenttien muodostaman rakenteen ominaisuuksista. Veden lisääntyminen tai väheneminen johtuu myofibrillien tilavuudenmuutoksista. Nesteen määrän lisääntyessä myofibrillien sisällä olevat filamentit työntyvät toisistaan etäämmälle, jolloin enemmän nestettä mahtuu suurentuneeseen filamenttien väliseen tilaan. Vastaavasti nesteen väheneminen johtuu filamenttiverkoston kutistumisesta ja siitä seuraavasta nesteen puristumisesta myofibrillien sisältä. (Leiponen, [viitattu 10.4.2011].)

Teurastuksen jälkeinen myofibrillien kutistuminen, aiheuttaa veden siirtymistä pysyvästi myofilamenteista sarkoplasmaan. Tämä vesi ei enää ole immobilisoitunutta vettä filamenttien välissä, vaan muuttuu vapaaksi vedeksi joka valuu melko helposti lihasta pois. Veden siirtyminen korostuu kuoleman jälkeen kun pH laskee 7.0:sta, 5.5:een, aiheuttaen myofilamenttien kutistumista entisestään. (Honikel 2004, 392.)

Lihan vedensidontakyky on voimakkaasti riippuvainen lihan pH:sta. Huonoimmillaan vedensidontakyky on pH 5:ssä, jolloin myofilamenttien sähköinen nettovaraus on nolla. Tällöin aktiini ja myosiini ovat hyvin lähellä toisiaan. Tätä pH-arvoa kutsutaan kyseessä olevien proteiinien isoelektriseksi pisteeksi. Kun pH nousee isoelektrisen pisteen yläpuolelle, nettovaraus kasvaa, jolloin filamentit työntyvät toisistaan kauemmaksi ja vedensidontakyky paranee. Ns. normaalin lihan loppu-

pH on 5,2–5,9. Näiden lihojen välillä on kuitenkin jo huomattava ero vedensidontakyvyssä. (Leiponen, [viitattu 10.4.2011].)

Lämpötilan noustessa lihasproteiini alkaa denaturoitumaan, jolloin lihas kutistuu ja proteiinirakenteet tuhoutuvat, ainakin osittain. Tällöin nestettä puristuu lihasta ulos. Lihassa on paras vedensidontakyky lämpötilan ollessa mahdollisimman lähellä nollaa astetta. Vedensidontakyky on merkittävin lihavalmisteiden talouteen ja laatuun vaikuttava tekijä. (Leiponen, [viitattu 10.4.2011].)

4.2 Haihtumishävikki

Jäähtymisnopeuteen ja massahävikkiin vaikuttavat useat muuttujat ympäristön ja ruhojen suhteen; mukaan lukien ympäristön lämpötila, ilmavirta, suhteellinen kosteus, ruhon paino ja rasvakerros. Nopeus, millä ruho menettää massaa haihtumisen kautta, on riippuvainen pinta-alasta, haihtumiskertoimesta ja pinnan ja ilman höyrynpaineen erosta. Suhteellisella kosteudella on isompi merkitys ruhon painohävikkiin kuin ilman lämpötilalla tai ilmavirralla. Suhteellisen kosteuden väheneminen nostaa massahävikkiä. On suositeltavaa että ilmavirta vähenee kun suurin osa ruhon lämmöstä on poistettu pinnalta, koska sen jälkeen ruhon jäähtyminen määräytyy lihan lämmönjohtumisesta, pinnan jäähtymisen sijasta. (Sofos, Nikolaos 2005, 368.)

Painohävikki on suoraan verrannollinen pinta-alaan, ja pinta-alan vaikutus vähenee kun ruhon paino kasvaa; siten haihtumishävikki vähenee prosentuaalisesti kun ruhon koko kasvaa. Tämä vaikutus on sidoksissa myös rasvaprocenttiin, painavammissa ruhoissa on useimmiten myös isompi rasvaprocentti, joten kevyemmästä ruhosta haihtuu useimmiten enemmän kosteutta jäähdytyksen aikana kuin painavasta ruhosta, jolla on paksu rasvakerros. Tähän syynä on todennäköisimmin rasvakudoksen eristysominaisuudet. (Sofos, Nikolaos 2005, 370.)

5 MITTAUKSET JA TULOKSET

5.1 Mittausmenetelmän kuvaus

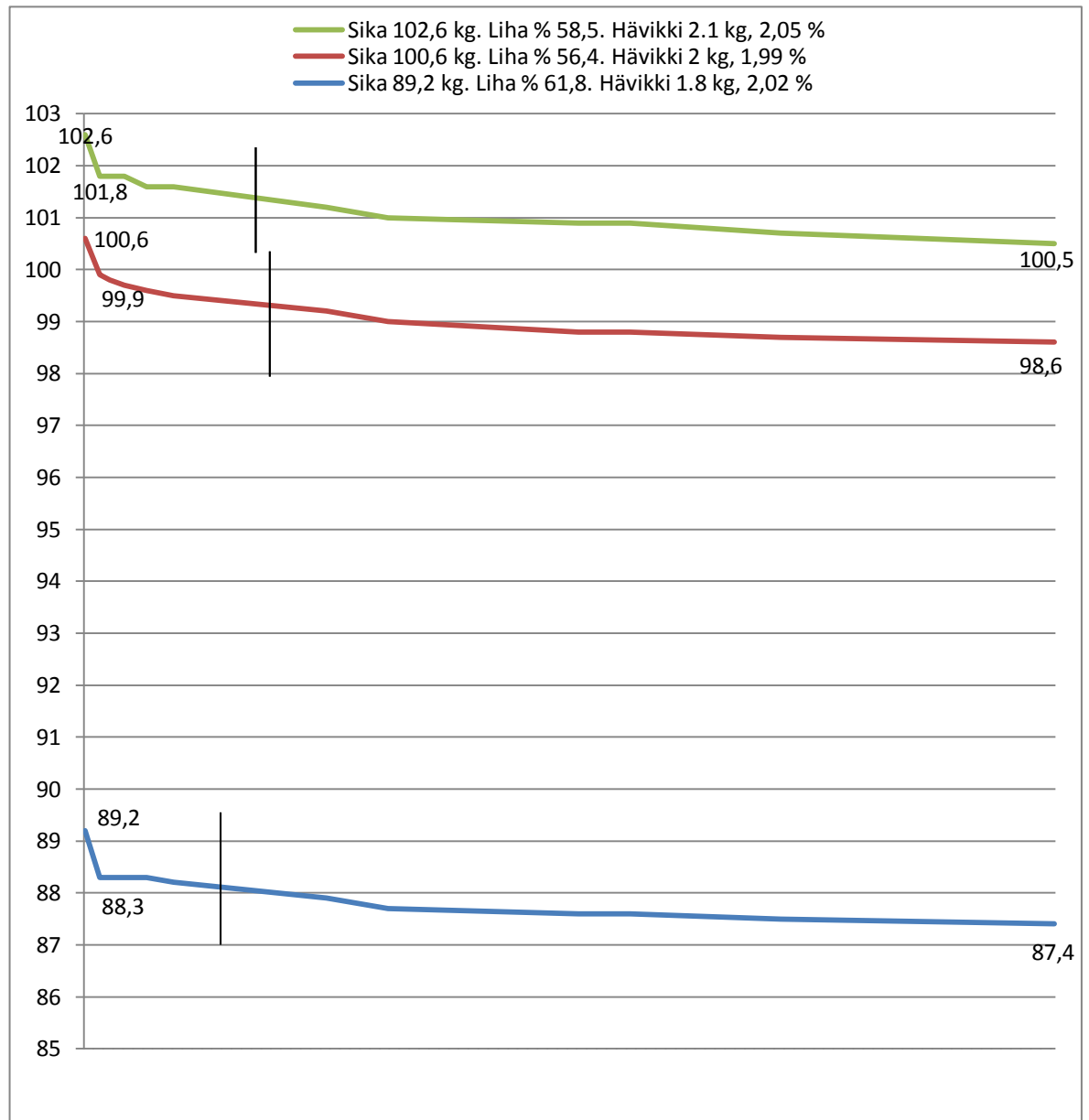
Tutkimuksessa mitattiin lämpötilaa, pH-arvoa, painoa ja varastointilämpötilaa sika-teurastamossa ja ruhovarastolla. Tutkimuksia tehtiin kolmesta eri siasta, kolmena eri päivänä. Mittauspäivät olivat 4.4.2011, 5.4.2011 ja 11.4.2011. Yhteensä mittauksia suoritettiin yhdeksästä eri siasta. Erityisesti mielenkiinnon kohteena oli jäähdytyksessä ja varastoinnissa tapahtuva hävikki. Kuutta sikaa varastoitiin viisi päivää ja kolmea sikaa neljä päivää ja samanaikaisesti ruhon painoa, lämpötilaa ja pH-arvoa mitattiin.

Ensimmäiseen punnitukseen käytettiin teurastamon järjestelmästä saatavaa painoa ennen jäähdytystä. Seuraava punnitus suoritettiin pikajäähdytyksen jälkeen ruhovaraston punnituspisteessä. Tällä ruhopuntarilla tehtiin kaikki muut punnitukset. Nämä punnituspisteet ovat käytössä mitattaessa myyntiin menevien ruhojen painoja, joten ne kalibroidaan säännöllisesti ja kalibroinnit kirjataan.

Lämpötilamittaukset tehtiin kolmella piikillisellä lämpötilaloggereilla, jotka laitettiin sian sisäpaistiin, ruhon syvimpään kohtaan. Tämä on kohta, jossa lämpöenergia säilyy pisimpään. Kun tämän pisteen lämpötila on alle seitsemän, muidenkin pisteiden lämpötila on varmasti alle seitsemän. Lämpötilaloggerit olivat juuri kalibroйдut ennen mittauksia.

pH-mittarissa käytössä oli lihaan tarkoitettu mittauspää, ja mittari kalibroitiin aina ennen kuin pH-mittauksia suoritettiin. pH-arvoa mitattiin sisäpaistista, noin 5 cm:n syvyydestä.

5.2 Mittaustulosten esittely

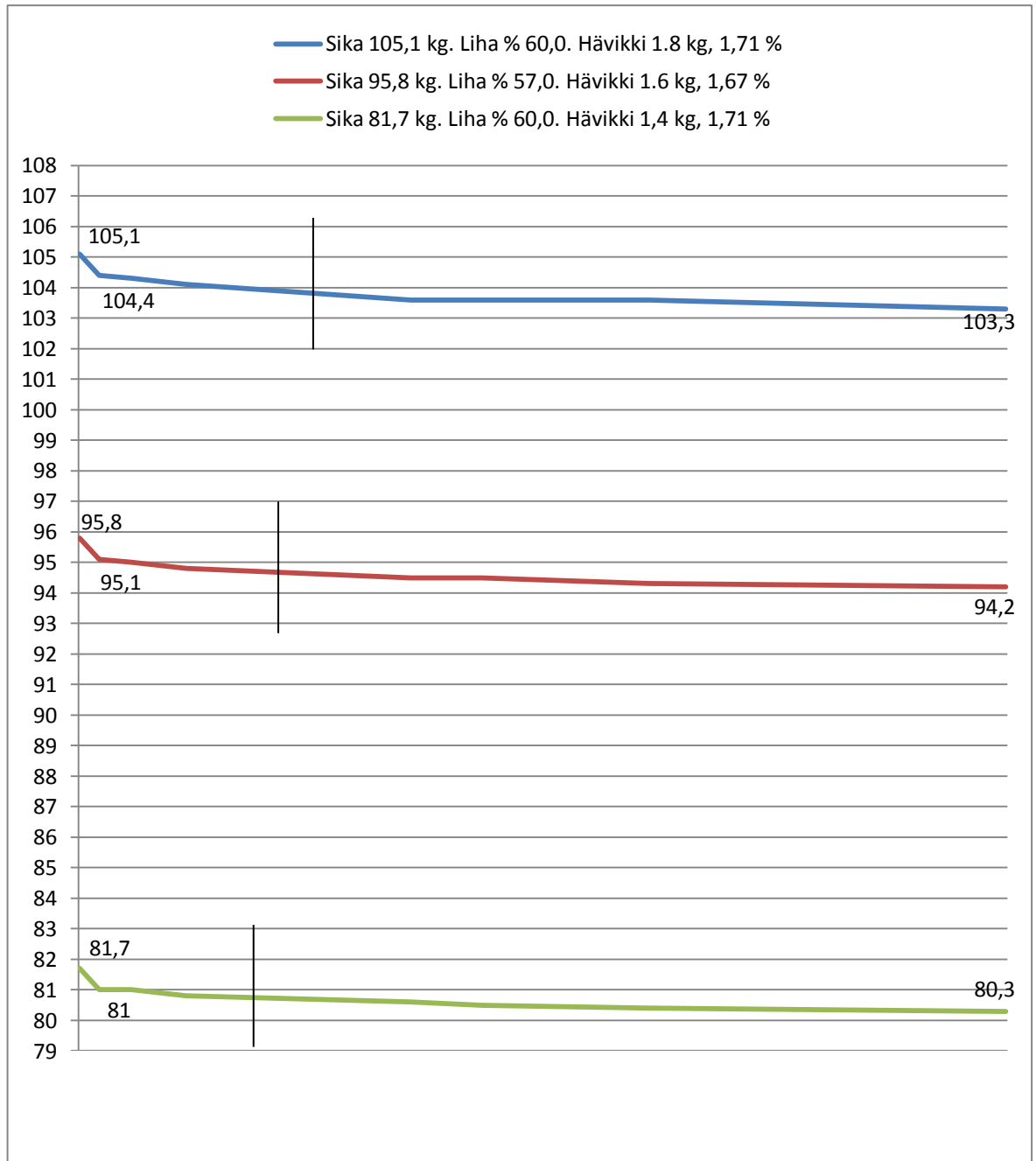


Kuvio 4: 4.4 - 8.4 tehdyt punnitukset, varastointiaika 4 vuorokautta.

Ensimmäinen 1,5 tuntia on pikajähdytyksen osuus. Se näkyy Kuvio 4:ssa suurena massan putoamisena. Pikajähdytyksessä vettä haihtuu huomattavia määriä. Ruhojen painot putosivat pikajähdytyksessä 0,8 kg, 0,7 kg ja 0,9 kg, suurimmasta ruhosta pienempään.

Pikajäähdetyksen jälkeen alkaa tasaantumisvaihe. Massahävikki näyttää pysähtyvän muutamiksi tunneiksi. Tämä johtuu jäätyneen ruhon pinnan sulamisesta. Kun pinta on sulanut, neste pääsee puristumaan sisä-osista pinnalle, josta osa haihtuu ilmaan ja osa valuu maahan.

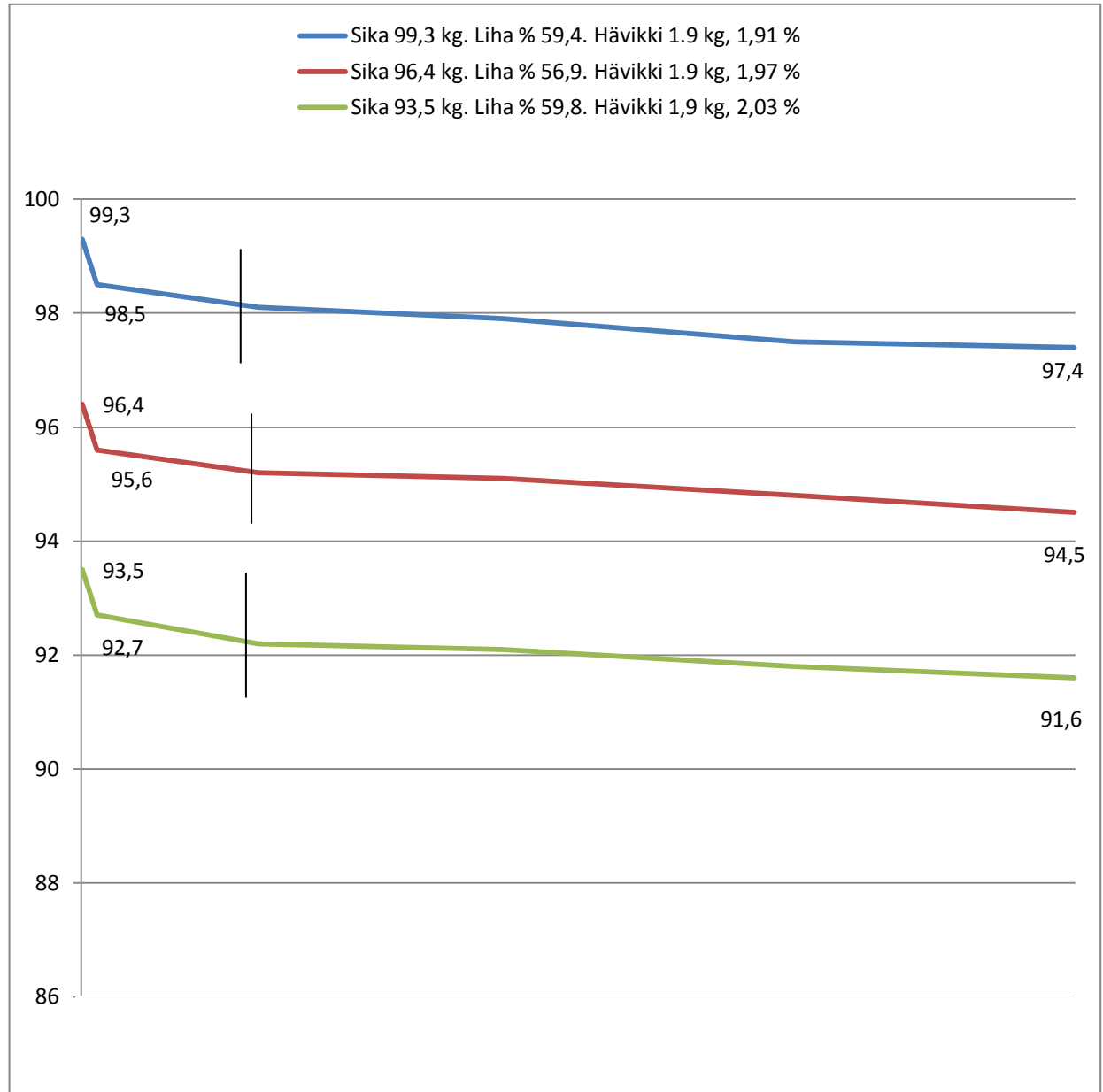
Pystysuora viiva kuvaa kohtaa jolloin sisälämpötila on saavuttanut seitsemän astetta ja jäähditys katsotaan päättyneeksi. Jäähdityshävikiksi mitattiin 1,27 %, 1,29 % ja 1,35 %. Koska keskimmaisella sialla on pieni lihasprosentti, eristävää rasvaa on enemmän. Tämän takia jäähtyminen on hitaampaa, vaikka ruhopaino on pienempi. Noin 30 tunnin kohdalla painohävikki hidastuu entisestään, todennäköisesti valuman pientymisen takia. Painohävikkiä on lähes lineaarinen. Muutoksia 30 tunnin jälkeiseen haihtumiseen aiheuttaa ruhovaraston ilmankosteus sekä lämpötila. Varastointihävikiksi laskettiin 0,24 kg, 0,21 kg ja 0,17 kg vuorokaudessa.



Kuvio 5: 5.4 - 8.4. tehdyt punnitukset, varastointiaika 3 vuorokautta.

Kuvio 5:ssä on ruhojen painot kolmen vuorokauden ajalta. Pienen sian nopean jäähtymisen mahdollistaa pieni ruhopaino ja iso lihaprosentti. Tällaiset siat ovat alttiimpia kylmäsupistumiselle.

Näiden ruhojen shokkihävikki oli kaikilla sama 0,7 kg. Jäähdytyshävikki oli 1,24 %, 1,25 % ja 1,22 %. Varastointihävikiksi saatiin 0,22 kg, 0,17 kg ja 0,16 kg vuorokaudessa.

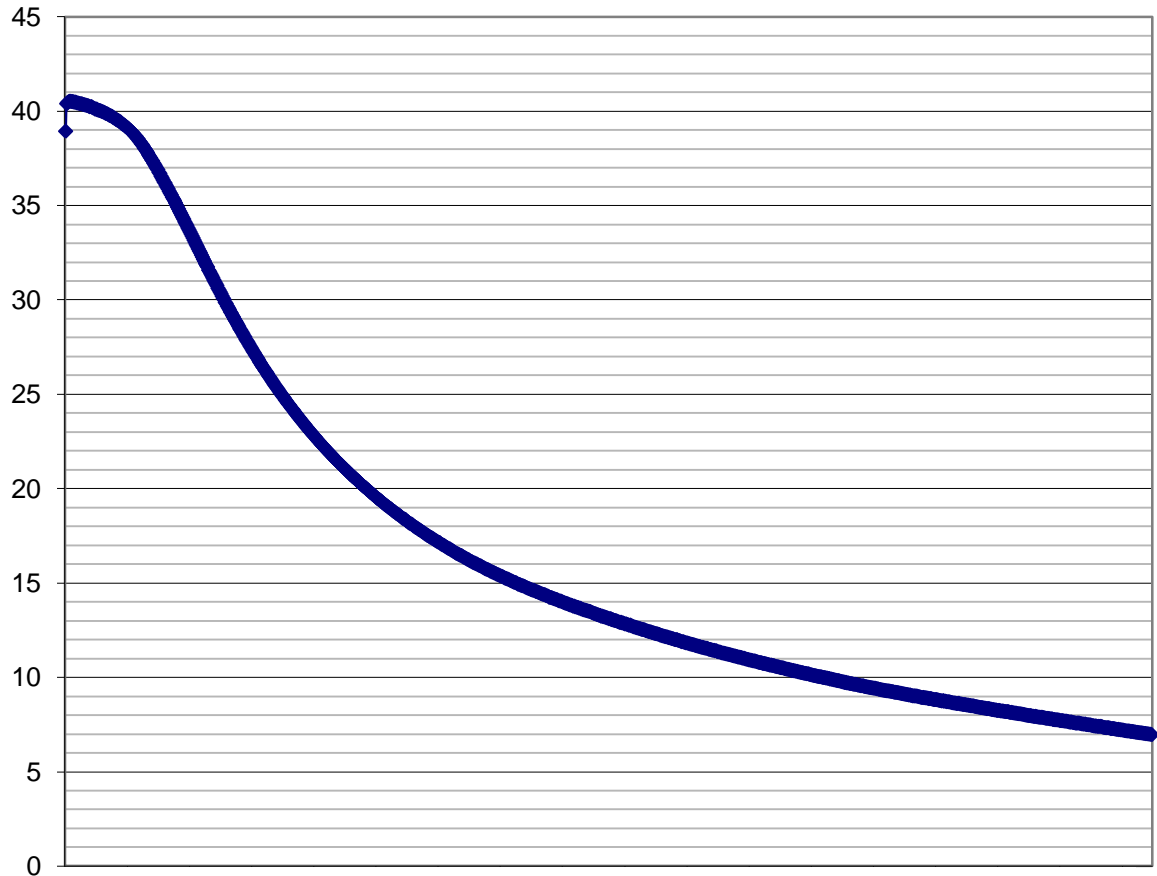


Kuvio 6: 11.4 - 15.4 tehdyt punnitukset, varastointiaika 4 vuorokautta.

Mielenkiintoista kuvio 6 näkyvässä mittauksessa on se, että eripainoisilla sioilla on sama painohävikki, ensin shokissa 0,8 kg, ja sitten myös loppukiloissa. Tämä tarkoittaa sitä, että shokin jäähdytyshävikki on suhteessa lopulliseen hävikkiin. Myös

jäähtymisaika on lähes sama kaikilla ruhoilla. Jäähdytyshävikki oli 1,21 %, 1,24 % ja 1,39 %. Varastointihävikiksi saatiin 0,20 kg, 0,21 kg ja 0,18 kg vuorokaudessa.

Sisäpaistin lämpötilakäyrä jäähdytyksen ajalta



Kuvio 7: Sisäpaistin lämpötila

Kuvio 7:ssä näkyy ruhon syvimmän kohdan, eli sisäpaistin lämpötila jäähdytyksen aikana. Kyseessä oleva ruho jäähdyi seitsemään asteeseen 16,5 tunnissa. Mikäli pinnan lämpötilaa saadaan laskettua lisää, sisä-osien lämpötila tasaantuu nopeammin.

Taulukko 1: Mittaustulokset

Paino kg	Liha %	Shokkihävikki	Jäähdytys-hävikki	Jäähdytys-aika tunteina	Varastointihävikki kg/vrk ja %/vrk	Loppu pH
105,1	60	0,67 %	1,24 %	18	0,22 / 0,21 %	5,68
102,6	59	0,78 %	1,27 %	17,5	0,24 / 0,24 %	5,57
100,6	56	0,70 %	1,29 %	18	0,21 / 0,21 %	5,63
99,3	59	0,81 %	1,21 %	16	0,20 / 0,20 %	5,50
96,4	56	0,83 %	1,24 %	17	0,21 / 0,22 %	5,55
95,8	57	0,73 %	1,25 %	16,5	0,17 / 0,18 %	5,54
93,5	60	0,86 %	1,39 %	16,5	0,18 / 0,20 %	5,52
89,2	62	1,00 %	1,35 %	14	0,17 / 0,19 %	5,52
81,7	60	0,86 %	1,22 %	13,5	0,16 / 0,20 %	5,59
KA 96,0	59	0,80 %	1,27 %	16,5	0,195 / 0,205 %	5,57

Taulukossa 1 näkyy mitatut arvot. Ruhot ovat painojärjestyksessä painavammasta alaspäin. Saman päivän mittaukset näkyvät samalla ruudun värillä. Shokki- eli pikajäähdytyshävikki saatiin punnitsemalla ruho heti pikajäähdytyksen jälkeen. Jäähdytyshävikki saatiin katsomalla aika, missä sisälämpötila on seitsemän astetta, ja vertaamalla sitä ruhojen massakuvaajiin. Varastointihävikki saadaan laske- malla jäähdytyksen jälkeinen painohävikki jaettuna kuluneella ajalla (tunteina), sit- ten kerrottuna 24:llä. Prosentuaalinen arvo on laskettu jakamalla varastointihäviki/vuorokausi, jäähdytyksen jälkeisellä painolla.

5.3 Mittaustulosten pohdinta

Hyvin suunniteltu, perinteinen 24 tunnin jäähdytys aiheuttaa 1,6 %:n hävikin. Hä- vikki saadaan pudotettua 0,9 %:iin, kun ruhoa pika-jäähdytetään kolme tuntia -15 °C, ja sitten lämpöenergian annetaan tasaantua 3 °C asteessa. Kun ilmavirtaus on

vähintään 2 m/s ja lämpötila korkeintaan -10 °C astetta, saadaan kolmessa tunnissa melkein kaikki ruhon lämpöenergia poistumaan. (Bowater 2001, 4.) Tämä jäähdytysmalli toimii ensin tunnin ketjuajolla, minkä jälkeen ruhot jäähdytetään ruhovarastossa, jossa ne ovat vielä muutamia tunteja.

Nykyinen pikajäähdytys tutkimuskohteessa kestää 1,5 tuntia. Jos ruhojen pikajäähdytysaikaa voitaisiin pidentää, teoreettisesti massahävikkiä voitaisiin pienentää jopa 29 %. Jatkuvatoimisen pikajäähdytyksen ajan tuplaaminen on kuitenkin käytännössä hyvin hankalaa. Radan pituutta pitäisi lisätä, ruhojen liikkumisnopeutta hidastaa tai ruhojen välejä tihentää.

Mitatut pH-arvot noudattivat normaalia teurastuksen jälkeistä pH:n laskua. LoppupH oli myös hyvällä tasolla. Taulukosta 1 näkee, että mitattujen loppu-pH-arvojen alhaisimmalla pH:lla; 5,5, ei ollut suurempaa valuma/varastointihävikkiä kuin suurimmalla, 5,68:lla. Suurempi valumahävikki tulee todennäköisemmin esiin vasta, jos sika on teurastettu stressaantuneena ja pH laskee teurastuksen jälkeen nopeasti lähelle viittä.

Kolmen päivän varastoinnilla saatiin likimain samat suhteelliset arvot kuin neljän päivän varastoinnilla. Tämä on merkki siitä, että varastointihävikki pysyy samalla tasolla vielä useamman päivän. Varastointihävikiksi mitattiin 195 grammaa / vuorokausi. Jotta tämä hävikki voitaisiin estää, ruho, jonka sisälämpötila on saavuttanut seitsemän astetta, pitäisi ottaa jatkokäsittelyyn välittömästi. Ongelmalliseksi tämän tekee erikokoisten sikojen eriaikainen jäähtyminen. Tutkimuksen pienin sika jäähtyi neljä ja puoli tuntia nopeammin kuin painavin sika. Kun ruhot otetaan teurastusjärjestyksessä sisälle leikkaamoon, teoriassa pelkästään se, että teurastamolta tulee lyhyen ajan sisällä suuri ja pieni sika aiheuttaa ylimääräistä varastointihävikkiä. Taulukosta 1 näkee suoraan, kuinka lihaprocentti korreloi ruhon jäähdytysaikaa. Pieni sika jolla on iso lihaprocentti jäähtyy parhaiten, mutta on samalla eniten alttiina kylmäsupistumiselle.

Jos teurastamon läpimeno on suurempi kuin leikkaamon läpimeno, ylimääräistä varastointiaikaa tulee välttämättä. Ideaalitulanteessa leikkaamon läpimeno tiedet-

täisiin jo edeltävinä päivänä, ja teurastamo teurastaisi kyseisen määrän. Sikatuotannon luonne ja raaka-aineen saatavuus/ylitarjonta taas aiheuttaa ongelmia tälle ajatukselle.

5.4 Vesisuihkutuksen vaikutus jäähtymiseen

Kuviossa 8 näkyy kaksi sian ruhoa. Vasemmanpuoleista ruhoa kasteltiin kevyehkösti kinkun ja lavan alueelta. Kuvioista näkyy selvästi, kuinka lämpöenergiaa on saatu poistumaan huomattavasti enemmän. Veden faasimuutos ruhon pinnalta sitoo lämpöenergiaa. Veden haihtumisen latenttilämpö on noin 2,4 MJ/l. Jos esimerkiksi desi vettä suihkutetaan hienona sumuna molempiin kinkkuihin ja lapoihin, energiaa saadaan teoreettisesti poistettua 0,96 MJ. Se on huomattavan suuri määrä, ottaen huomioon, että ruhoon on varastoitunut lämpöenergiaa noin 8 MJ.



Kuvio 8. Lämpökamerakuva kahdesta eri ruhosta.

Näin nopea lämpöenergian luovutus heti jäähdytyksen alussa näkyisi Kuvio 7:ssä lämpötilakäyrän alkuvaiheiden nopeampaa laskua. Jos kastelupisteitä lisätään vaiheittain, saadaan energiaa poistumaan vielä nopeammin. Lisäksi ruhojen kastelulla voitaisiin säästää jäähdytyksen energiakustannuksissa.

Tämän teorian heikkous on sen mikrobiologinen vaikutus. Positiivisen puolena se laskee lämpötilan nopeammin alas, joten mikrobeille jää vähemmän aikaa sopeutua ruhon pinnalle. Huono puoli on se, että vesi saattaa levittää mahdollisia epäpuhtauksia ruhon pinnalla. Tämän vuoksi vesi tulisi suihkuttaa ruhon pinnalle hienona sumuna.

Suihkujäähdytys on tällä hetkellä käytössä Pohjois-Amerikassa, Euroopassa ja muualla maailmassa naudat, lampaan, siipikarjan ja sian ruhon jäähdytyksessä. Suihkujäähdytysprosessi sisältää ajoittaista kylmän veden suihkutusta ruhoihin ensimmäisten 3–8 tunnin aikana teurastuksesta, korvatakseen veden haihtumishävikkiä. Suihkujäähdytyksessä ruhon pinta pysyy märkänä mahdollistaen suuren haihtumisjäähdytyksen ilman että painohävikki kasvaa. Jopa 2 % painohävikkiä alkuperäispainosta on raportoitu ensimmäisen 24 tunnin aikana perinteisellä ilmajäähdytyksellä. (Savell, ym. 2004, 6.)

Suihkujäähdytysjärjestelmällä voi olla merkittävä vaikutus ruhon painohävikkiin, ja samalla se nostaa kinkun ja ulkofileen jäähdytysnopeutta. Tutkimuksessa paljastui, että 79-kiloisen sianruhon jäähdytishävikki voi parantua noin 1,61 kiloa, jos suihkujäähdytystä käytettäisiin. Tämä edellyttää toki lähtökohtaisesti korkeaa haihtumishävikkiä. (Savell, ym. 2004, 7.)

5.5 Yhteenveto

Ruhon jäähdytyksen massahävikki tutkimuskohteessa oli kohtalaisen hyvällä tasolla. Kuitenkin suihkujäähdytys yhdessä pikajäähdytyksen ajan pidentämisen kanssa vähentäisi painohävikkiä tuntuvasti. Esimerkiksi 3 tunnin pikajäähdytys -15 °C asteessa ja ilmankierto vähintään 3 m/s teoreettisesti vähentää hävikkiä ja pa-

rantaa jäähtymisaikaa. Ajoittainen, suunnattu vesisuihku kinkkuun ja lapaan parantaisi entisestään hävikin tasoa ja näiden alueiden jäähtymistä. Näin saadaan lämpöenergiaa haihtumaan halutuilta alueilta ja ulkofileen kylmäsupistumisriski pienenee.

Liian tehokas jäähditys ennen rigor mortiksen muodostumista aiheuttaa kylmäsupistumisen. Kun pikajäähdityksen lämpötilaa lasketaan ja aikaa pidennetään, rigorilla on enemmän aikaa muodostua. Jos pienillä, korkean lihaprosentin ruhoilla esiintyy kylmäsupistumista, pikajäähdityksen alkuvaiheen lämpötilaa voidaan nostaa korkeintaan -10 °C asteeseen ja ilmankiertoa vähentää 2 m/s . Pikajäähdityksen edetessä (rigorin jälkeen), lämpötilaa voidaan laskea -15 °C asteeseen ja ilmankiertoa nostaa. Näin pystytään tasoittamaan erikokoisten ruhojen jäähtymistä ja estää pienten ruhojen kylmäsupistumista.

6 LÄHTEET

- Bowater F J., 2001. Rapid Carcass Chilling Plants compared to Conventional Systems. The International Institute of Refrigeration. Saatavana:
<http://fjb.co.uk/Downloads/Rapid%20Carcass%20Chilling%20vs%20Conventional.pdf>
- Glykogeenidebranching-entsyymin aktiivisuus lihatuotantoeläinten lihaksissa. 2006. Helsingin yliopisto: Elintarviketeknologian laitos. Saatavana: <http://www.mm.helsinki.fi/mmett/vaitos/ylaajos.htm>
- Hautala M. & Peltonen H., 2007. Insinöörin fysiikka (AMK) osa 1. Lahden teho-opetus.
- Honikel K. O., 2004. Muscle development of livestock animals. Waterholding Capacity of Meat. Federal Centre for Meat Research, Kulmbach, Germany.
- Höyrystyminen. Teknillinen termodynamiikka. [www-dokumentti] Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavana:
http://www.kurssit.lut.fi/040301000/main/2_4_3.html
- Kerkkänen J-P. Peruskoulun fysiikka. [verkkokurssi] Saatavana:
<http://opinnot.net/fysiikka/fyperuskoulu/index.php#lampotila>
- Leiponen M. Vedensidontakyky. [verkkokurssi] Lihateollisuusopisto. Lihateollisuusopisto kouluttaa. Saatavana:
http://www.lihakeskusliitto.fi/lihalehti/lihatieto/li0307_55-56.pdf
- Leiponen, M. PSE-liha ja tervaliha. [verkkokurssi] Lihateollisuusopisto. Lihateollisuusopisto kouluttaa. Saatavana:
http://www.lihakeskusliitto.fi/lihalehti/lihatieto/li0206_55-56.pdf
- Puolanne, E. 2005. Lihateknologia 1. LIHA 1 -kurssin luentomoniste. Elintarviketeknologian peruskurssi, jakso 3. HY/MMETT. Viikki Food Science.
- Savell J.W., Mueller S.L. & Baird B.E. 2004. THE CHILLING OF CARCASSES. Meat Science Section, Department of Animal Science. Texas A&M University. Saatavana: http://www.meat-ims.org/the_chilling_of_carcasses.pdf
- Sofos J.N. & Nikolaos J. 2005. Improving the Safety of Fresh Meat. Cambridge. GBR: Woodhead Publishing.

Vaarojen arviointi ja kriittisten hallintapisteiden määrittäminen naudan ja sian teurastuslinjalla. Elintarviketurvallisuusvirasto. www.evira.fi
Saatavana:
http://www.evira.fi/attachments/elintarvikkeet/valvonta_ja_yrittajat/vaarojen_ohjeet.pdf

Warriss P.D., 2010. Meat Science: An Introductory Text – 2nd edition. CABI.

Ylä-ajos M., Ruusunen M. & Puolanne E., 2006. Hidastaako glyko-geenidebranching-entsyymi lihasten teurastuksen jälkeistä pH-arvon laskua? Helsingin yliopisto, elintarviketeknologian laitos. Saatavana: <http://www.smts.fi/pos06/1403.pdf>

LIITTEET