



EESTI MAAÜLIKOOL
Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut

Sten Sild

**MADALA TEMPERATUURIGA TERMILISE TÖÖTLEMISE
MÕJU SEALIHA REOLOOGILISTELE JA
TEHNOLOOGILISTELE OMADUSTELE**

**EFFECT OF LOW TEMPERATURE THERMAL TREATMENT
ON PORK RHEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL
PROPERTIES**

Bakalaureusetöö
Toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia õppekava

Juhendajad: Aarne Põldvere, *PhD*

Alo Tänavots, pm-dr

Raili Saar, *MSc*

Tartu 2015

LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida madalatel temperatuuridel töödeldud sealiha füüsikalisi ja tehnoloogilisi omadusi ning tekstuuri parameetreid. Lisaks selgitada välja, millisel sisetemperatuuril on sealiha reoloogilised omadused optimaalsed.

Eksperimentaalses osas kasutati kvaliteedinäitajate määramiseks sea pikimat seljalihast (*Longissimus thoracis*), mida küpsetati konstantsel temperatuuril (120 °C) küpsetuskotis 62, 67, 72, 77, ja 82 °C sisetemperatuurini. Toorel ja termiliselt töödeldud lihal määrati värvus, pH-väärtus, elektrijuhtivus ja lõiketugevus, töötlemata lihal lisaks ka veesidumisvõime ja kuivainesisaldus. Küpsetuskadu ja kao osakaal vedelikuna registreeriti küpsetatud lihal.

Toores sealiha oli värvuselt kõige tumedam (70,93), erinedes oluliselt termiliselt töödeldud lihast. Küpsetatud lihaproovid olid värvuselt suhteliselt sarnased, olles väärtuselt kõrgeim (15,65) 67 °C ja madalaim (11,95) 72 °C-ni küpsetatud lihal. Sarnaselt värvusele erines oluliselt ka toore liha pH-väärtus küpsetatu omast, olles seejuures kõige madalam töötlemata lihal (5,38). Küpsetatud liha pH-väärtused erinesid vaid 0,05 ühiku võrra (5,72–5,77). Liha elektrijuhtivuse väärtus langes lineaarselt temperatuuri tõustes, olles madalaim (5,55 mS) 82 °C juures ja kõrgeim (11,94 mS) toorel lihal.

Termiliselt töödeldud liha tekstuurianalüüsides selgus, et kõrgeimad väärtused ilmnesisid kõikidel näitajatel 77 °C-ni küpsetatud lihal, ainult murdepunkti väärtus oli 72 °C juures kõrgem. Kõige madalamad lõiketugevuse tulemused esinesid 67 °C-ni küpsetatud liha puhul.

Sealiha termiline töötlemine mõjutas oluliselt selle füüsikalisi ja tehnoloogilisi omadusi ning tekstuuri parameetreid. Lisaks võib väita, et kõige paremate reoloogiliste omadustega oli 67 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha.

ABSTRACT

The present Bachelor's thesis' aim was to study the effect of low temperature thermal treatment on the physical and technological properties as well as on the textural parameters of pork.

The study was based on the *Longissimus thoracis* muscle to define its quality indicators. The samples of pig muscle were cooked at 120 °C in a cooking bag up to core temperatures of 62, 67, 72, 77 and 82 °C.

The raw muscle was the darkest (70.93) in colour, differing considerably from the colour indicators of thermally processed meat. The colour indicators of thermally treated meat were relatively similar, whereas the highest value was in the sample cooked up to core temperature of 67 °C (15.65) and the lowest in the one cooked up to 72 °C (11.95). The ultimate pH value of raw meat also differed significantly from that of cooked meat, while also being the lowest value (5.38). The processed meat ultimate pH value varied only by 0.05 units (5.72–5.77). The electrical conductivity value of muscle decreased linearly as the temperature increased, whereas the lowest value (5.55 mS) was at 82 °C and the highest in case of raw muscle (11.94 mS).

The results gathered from thermally treated meat showed that the texture parameters values were the highest in case of meat cooked up to 77 °C, only the value of break point was higher at 72 °C. The indicators were the lowest in case of meat cooked up to 67 °C.

Low temperature thermal treatment affected significantly physical, technological properties and textural parameters of pork. In addition, the study showed that the rheological properties were optimal in case of meat cooked up to 67°C.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	7
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	8
1.1. Liha koostisosad ja nende muutused termilisel töötlusel.....	8
1.1.1. Valgud	8
1.1.2. Rasvad	10
1.2. Liha füüsilised omadused ja muutused termilisel töötlusel	11
1.2.1. Värvus.....	11
1.2.2. Vee aktiivsus	12
1.2.3. Niiskus	13
1.3. Liha tehnoloogilised parameetrid	13
1.3.1. pH-väärtus	13
1.3.2. Elektrijuhtivus	14
1.3.3. Veesisidumisvõime	15
1.3.4. Tilkumiskadu	15
1.3.5. Keedu- ja küpsetuskadu.....	16
1.4. Liha õrnus ja seda mõjutavad tegurid	16
1.4.1. Temperatuur.....	17
1.4.2. Ca ²⁺ ionide- ja ATP kontsentratsioon ning apoptoos	17
1.4.3. Proteolüüs	18
1.5. Liha õrnuse muutumine termotöötlusel	18
1.5.1. Müofibrillid	19
1.5.2. Sarkoplasma valgud.....	19
1.5.3. Sidekoe kollageen.....	19
1.6. Liha löiketugevus.....	20
2. UURIMUSTÖÖ METOODIKA	21
2.1. Lihaproovide ettevalmistamine ja katsete läbiviimine	21
2.2. Sealiha füüsiliste näitajate määramine	23
2.2.1. Värvus.....	23
2.2.2. Kuivaine- ja niiskusesisaldus	24
2.3. Sealiha tehnoloogiliste näitajate määramine.....	25
2.3.1. pH-väärtus	25
2.3.2. Elektrijuhtivus	25

2.3.3.	Veesidumisvõime	26
2.3.4.	Küpsetuskadu	27
2.4.	Sealiha mehaaniliste parameetrite määramine.....	27
2.5.	Andmete statistiline analüüs	30
3.	EKSPERIMENTAALNE OSA	31
3.1.	Sealiha füüsikalised näitajad.....	31
3.2.	Sealiha tehnoloogilised näitajad	32
3.3.	Sealiha tekstuuri näitajad	34
3.4.	Kvaliteedinäitajate vahelised seosed	39
3.4.1.	Liha füüsikaliste ja tehnoloogiliste näitajate vahelised seosed	39
3.4.2.	Liha tekstuuri parameetrite vahelised seosed	41
	KOKKUVÕTE	44
	JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD	46
	KASUTATUD KIRJANDUS	47

SISSEJUHATUS

Sealiha on kõrge toiteväärtusega, vajalikke toitaineid ja mineraale sisaldav toiduaine, millest tähtsamad on valgud, tsink, raud ja B-vitamiin (O'Diam 2009). Liha valmistamise ja tarbimise viisid erinevad maailmas piirkonniti, samuti varieeruvad liha eelistused liigiti (Kikas *et al.* 2012). Eestis tarbitakse inimese kohta aastas kõige enam sealiha – 51,5% ehk 35,5 kg (Eesti Statistika andmebaas 2014).

Olulisemateks söömiskvaliteedi näitajateks on sealiha reoloogilised omadused, ennekõike selle õrnus. Lihatööstuste peamiseks prioriteediks on läbiaegade olnud pakkuda võimalikult kõrge söömiskvaliteediga tooteid, tagamaks rahulolevad tarbijad. Sellest tulenevalt tekkis vajadus töötada välja meetod, kuidas mõõta liha õrnust. Levinuim seni kasutusel olev meetod töötati välja viiekümnendate aastate algul, selle kohaselt määratakse liha reoloogilised väärtused lõikamiseks kuluva jõu ja energia alusel ning seda tuntakse Warner-Bratzleri meetodi nime all. (O'Diam 2009)

Kuna sealiha on Eestis enim tarbitud lihaliik, siis teema valikul lähtuti soovist ja vajadusest uurida selle füüsikaliste ja tehnoloogiliste omaduste ning tekstuuri parameetrite muutusi termilisel töötlusel madalatel temperatuuridel. Lisaks antakse ülevaade toore sealiha keemilisest koostisest.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgid on järgnevad:

1. Madalate temperatuuride juures töödeldud sealiha füüsikaliste ja tehnoloogiliste omaduste ning tekstuuri parameetrite muutus erinevatel sisetemperatuuridel.
2. Välja selgitada, millisel sealiha sisetemperatuuril on selle reoloogilised omadused optimaalsed.

Sooviksin tänada asjaliku nõu, abi ja aja eest enda juhendajaid, õppejõude – Arne Põldvere, Alo Tänavots ja Raili Saar, kellel on asendamatu roll käesoleva töö valmimisel. Lisaks sooviksin tänada käesoleva töö retsensenti, Kristiina Veri.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Liha koostisosad ja nende muutused termilisel töötusel

Liha koosneb suuremas osas veest (70–75%), märkimisväärne on valkude osakaal (20%) ning vähemal määral on liha koostises ka rasvu ja mineraalaineid. Liha rasvade ja valkude sisaldus on omavahel seotud, rasvade osakaalu suurenedes väheneb valkude osakaal ja vastupidi. Liha süsivesikute sisaldus on väga väike, leidub vaid glükogeeni. (Kikas *et al.* 2012)

Mineraalaineid leidub enim tailihas ja lihamahlas. Punane liha sisaldab rauda, mis on oluline, kuna see on organismile kergesti omastatav ja oluliseks vereleome osaks. Liha sisaldab ka vajalikke ning olulisi vitamiine, nagu vitamiin B-12, mis on samuti vajalik vereleomeks ja rasvas lahustuvat vitamiini A, mida esineb enam rasvasemas lihas. (Kikas *et al.* 2012) Järgnevalt käsitletakse lähemalt liha valke ja rasvu ning nendes toimuvaid muutusi termilisel töötusel.

1.1.1. Valgud

Valgud on looduslikud kõrgmolekulaarsed ühendid, mis koosnevad süsinikust, vesinikust, hapnikust ja lämmastikust. Nad on eluks vajalike protsesside põhilisteks komponentideks, kuuludes näiteks raku tuuma koostisesse. Valgud koosnevad aminohapetest, nende aminohappelisest koostisest sõltub valgu bioloogiline väärtus. Lihaskoe kuivainest moodustavad valgud 60–80% ning nende koostisest sõltuvad lihaskoe põhiomadused ja toiteväärtus. (Soidla *et al.* 2004)

Valkudel on omadus denatureeruda, mille käigus toimuvad muutused nende ehituses ehk valgud lagunevad madalama tasemega struktuurideks. Olenevalt liha sisetemperatuurist on denaturatsiooni käigus toimuvad muutused erinevad. (Vujadinovic *et al.* 2014: 407–415) Põhilisteks lihavalkudeks on müofibrille moodustavad valgud (müosiin, aktiin), sarkop-

lasma valgud (müoglobiin, hemoglobiin) ning sidekoe valgud (kollageen, elastiin) (Huang *et al.* 2011).

Müofibrillid on soolalahustes lahustuvad valgud (Soidla *et al.* 2004), mis moodustavad ligikaudu 50–55% lihavalkudest (Tornberg 2005: 493–508). Lisaks müosiinile ja aktiinile, mis moodustavad müofibrillidest enamuse (65%), kuuluvad nende hulka ka tropomüosiin, m-proteiin, alfa-aktiin, beeta-aktiin, c-proteiin ning troponiin T, I ja C (Wenther 2015). Tänu müofibrillidele toimub lihaste kontraktsioon (Freudenrich 2015), teised eelnimetatud valgud vastutavad struktuuride kujunemise ja reguleeriva osa eest (Wenther 2015).

Kuumtöötlemine mõjutab liha veesidumisvõimet, mis väljendub müosiini- ja aktiini vahelistes kanalites oleva vee eraldumisena lihaskiudude kokkutõmbumisel. Selle tulemusena muutub liha kuivaks ja tuimaks ning suureneb küpsetuskadu. (Murphy, Marks 2000: 99–104) Müosiin denatureerub 40–60 °C juures, aktiin aga müosiinist pisut kõrgemal temperatuuril, 71–83 °C vahemikus (Kazemi *et al.* 2009: 102–106).

Sarkoplasma valkudeks on müoglobiin, hemoglobiin, tsütokroom ja hulk erinevaid ensüüme, mis on suuremas osas vees lahustuvad (Soidla *et al.* 2004). Nad osalevad lihaste energiavahetuses ning moodustavad 30–35% lihavalkudest. Müoglobiin on üks tähtsamaid sarkoplasma valke, kuna sellest sõltub liha värvus. (Huang *et al.* 2011) Ta koosneb globulaarsest valgulisest osast, globiinist ja mittevalgulisest värvainest, heemist (Tornberg 2005: 493–508).

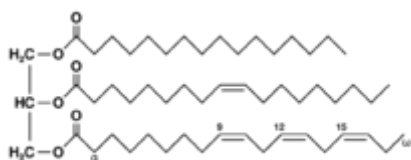
Termilisel töötlusel mängib liha värvuse muutumisel olulist rolli heemis sisalduva rauaiooni oksüdatsioonaste, mis määrab liha värvuse. Enamus sarkoplasma valke denatureeruvad temperatuurivahemikus 40–60 °C, kuigi uuringute kohaselt võib mõni neist vajada denatureerumiseks isegi 90 °C-st temperatuuri. (Tornberg 2005: 493–508) Müoglobiini denaturatsioon toimub 60 °C juures (Science of... 2015).

Põhiliseks sidekoe valkude (kollageen, elastiin) funktsiooniks on toetada ümbritsevaid rakke. Kollageen on väga levinud valk, teda leidub nii luude, naha, kõõluste, kõhrede kui ka lihaste koostises. Sidekoes paikneva rakuvaheaine ülesandeks on tagada difusiooni teel toitainete ja ainevahetusjääkide liikumine raku sisse ja sealt välja. (Wenther 2015) Sidekoe valgud ei lahustu madalatel temperatuuridel vees ega ka soolalahuses. Kollageenil on oma dus vees punduda, ta imab endasse kuivaine kohta maksimaalselt 200–250% vett. (Soidla *et al.* 2004) Kollageeni denaturatsioon toimub 53–63 °C juures (Tornberg 2005: 493–508)

ning edasisel kuumutamisel, temperatuuril üle 70 °C, muutub kollageen vees lahustuvaks geeliks, mis tardumisel moodustab želatiini (Soidla *et al.* 2004).

1.1.2. Rasvad

Rasvad on suure energeetilise väärtusega ja olulised liha maitse, mahlakuse ja tekstuuri kujundajad (Wenther 2015). Neil on omadus oksüdeeruda hapniku toimel ning reageerida liha pigmentide, valkude, süsivesikute ja vitamiinidega, põhjustades soovimatuid muutusi selle värvis, maitstes ja toiteväärtuses ehk liha kvaliteedi langust (Love, Pearson 1971: 547–549). Rasvad koosnevad glütseroolist ja rasvhappejääkidest. Loomsete rasvade põhikoostisosa on triglütseriid (joonis 1), kus kolme rasvhappejäägi molekulid on ühendatud glütserooli molekuliga. (Wenther 2015)



Joonis 1. Triglütseriidi struktuur (Schaefer 2005)

Lihaskoes olevad rasvad võib üldistatult jagada kaheks – inter- ja intramuskulaarrasvadeks. Intermuskulaar- ehk depoorasvad paiknevad sidekoes, intramuskulaarrasvad on jaotunud lihaskoes (Love, Pearson 1971: 547–549). Rasvasisaldus varieerub erinevates lihastes 1,1–7,0%, selle optimaalseks väärtuseks loetakse 2,5–3,0%. Madalama rasvasisaldusega lõiketükke (selja pikim lihas jt) kasutatakse kiireks küpsetamiseks. Rasvkoe ladestumist lihakiudude vahele nimetatakse marmorsuseks. (Põldvere, Tänavots 2012^a)

Lihasisene rasv parandab üldist söömisväärtust, kuid see pole ainuke mõjutav faktor. Uuringute kohaselt on pjeträani tõugu sigade lihasisese rasva osakaal kõrge, kuid madala toiteväärtusega. Põhjuseks peetakse pjeträani tõu vastuvõtlikkust stressile, mille tulemuseks on liha veesidumisvõime madal ja liha kuivema struktuuriga. (Põldvere, Tänavots 2012^a)

Kuumtöötlemisel rasvad oksüdeeruvad, sulavad ning lagunevad (Love, Pearson 1971: 547–549), nende sulamistemperatuur varieerub sõltuvalt rasva liigist. Searasva sulamis-

temperatuur on 38–44 °C, veiserasval natuke kõrgem, jäädes 43–47 °C vahemikku, kana-rasv sulab aga 31–37 °C juures. Mida suurem on rasvas küllastunud rasvhapete osakaal, seda kõrgem on selle sulamistemperatuur. (Feiner 2006: 3–32)

Liha rasvhappelisest koostisest sõltub ka selles oleva rasva konsistents, kuna madalama küllastunud rasvhapete osakaaluga liha rasv on pehmema tekstuuriga. Sealihaga sisaldab 42–44% küllastunud rasvhappeid ning sellest tulenevalt on sealihaga rasv võrdlemisi pehme. Võrdluseks võib tuua veise- ja kanalihaga, mille antud näitajateks on vastavalt 55–60% ja 30%. (Feiner 2006: 3–32)

1.2. Liha füüsikalised omadused ja muutused termilisel töötlemisel

1.2.1. Värvus

Liha värvus on tarbija jaoks esmaseks kvaliteedi ja värskuse indikaatoriks (Boles, Pegg 2015). Liha värvust mõjutavaid tegureid on palju – looma tõug, tapaeelne pidamine, uimastamine, veretustamine, toitumus, vanus, jahutamine, laagerdumise aeg ja temperatuur, ning iga lihatootmise tehnoloogiline etapp (Tamm 2013). Nii värskel kui küpsetatud liha värvuse põhjustab punase värvusega valk, müoglobiin, mille ülesandeks on hapniku transport lihastesse, lisaks toimib see ka hapniku reservuaarina (Boles, Pegg 2015).

Müoglobiini kontsentratsioonist lihas oleneb selle värvuse intensiivsus. See võib esineda kolme vormina – redutseeritud müoglobiin, oksümüoglobiin ning metmüoglobiin. Esimesel juhul ei ole müoglobiin hapnikuga seotud ega oksüdeerunud ning liha värvus on violetne. Hapnikuga kokkupuutel toimub müoglobiini oksüdeerumine, tekib oksümüoglobiin ja liha värvub punaseks, edasisel oksüdatsiooni tulemusena aga metmüoglobiini tekkimisel pruunikaks. (Püssa 2014: 39–47)

Termilisel töötlemisel põhjustab liha värvi muutuse müoglobiini denaturatsioon. Näiteks küpsetades veiseliha sisetemperatuurini 58 °C, on liha punakas-roosakas, kuid 68 °C juures muutub liha hallikaks. See on märk müoglobiini denaturatsioonist, mis toimub 60 °C juures. (Diamba *et al.* 2007: 1–4)

1.2.2. Vee aktiivsus

Mikroobide arenguks ja mitmeteks keemilisteks reaktsioonideks on vajalik vee olemasolu tootes. Vee aktiivsuseks nimetatakse vee kättesaadavust mikroorganismidele, mis on seotud auru suhtelise rõhuga. Sellest tulenevalt on mikroorganismidele kättesaadava vee kogus tootes olulises seoses toote säilivusega. (Soidla *et al.* 2004)

Vee aktiivsus arvnäitajana leitakse toidus oleva veeauru rõhu jagamisel destilleeritud veeauru rõhuga, sealjuures on destilleeritud vee aktiivsus üks ja veevaba toidu vee aktiivsus null (Roasto 2015).

Veesisalduse puhul on oluline vee kogus tootes ja selle seotuse tüüp. Nimelt jaguneb lihas sisalduv vesi seose tüüpideks – keemiliselt, füüsikalis-keemiliselt, struktuurselt ning mehaaniliselt seotud veeks. Keemiliselt seotud vett on tootes väga vähe ja see pole mikroorganismidele kättesaadav ning sellest tulenevalt ei ole seda tarvis ka tootest eemaldada. Füüsikalis-keemiliselt ja struktuurselt seotud vee alla kuulub liha kapillaarvesi, osmootne vesi ja adsorptsioonvesi. Viimane on loetletud vee allikatest kõige raskemini eemaldatav, kuna adsorptsioonvesi on seotud liha valkude, süsivesikute ja lipiididega ning selle eemaldamiseks tuleb adsorptsioonvesi muuta auruks. Mehaaniliselt seotud vesi on väga nõrgalt seotud ja seda on võimalik eemaldada tootest mehaanilisel töötlusel. (Soidla *et al.* 2004)

Nagu mainitud, võib vesi olla lihas seotud näiteks soolade, suhkrute ja valkudega ning sellisel juhul on see mikroorganismidele väga raskesti kättesaadav, kuna vee aktiivsus on madal. Juhul kui vesi ei ole seotud, siis tähendab see seda, et mikroorganismidele on vesi vabalt kättesaadav ja nende arenguks omastatav. Kui vee aktiivsus väheneb, siis väheneb ka mikroorganismide kasvamisvõime. (Roasto 2015)

Segamini ei tohiks ajada vee aktiivsust ja lihas vabalt olevat vett, mille all mõistetakse selles sisalduvat üldist niiskust. Näiteks salaamil ja küpsetatud lihal on ligikaudu sama veesisaldus (60%), kuid vee aktiivsus on salaamil 0,82 ja küpsetatud veiselihal 0,98, mis tähendab, et küpsetatud veiseliha säilib tunduvalt lühemat aega. Vee aktiivsus suureneb temperatuuri tõusuga, kuna lahuses sisalduvate ainete (sool, suhkur) lahustuvus suureneb. (Water content... 2015)

1.2.3. Niiskus

Liha niiskusesisaldust mõjutavad selle säilitamine, mehaaniline töötlemine ja küpsetamine (Põldvere, Tänavots 2012^a). Toore liha veesisaldus jääb vahemikku 64–80%, sealjuures lihaskoe veesisaldus on ligikaudu 75% (Põldvere, Tänavots 2012^b).

Nagu eelnevalt mainitud, sisaldab liha seotud ja sidumata vett. Lahtine vesi ehk mehaaniliselt seotud vesi asub liha kudedes tilkadena (Kikas *et al.* 2012) ning eraldub tilkumiskaona, kui liha säilitada või mehaaniliselt töödelda (Wenther 2015).

Termilisel töötlusel väheneb tunduvalt liha niiskusesisaldus, sest veesidumisvõime väheneb, põhjustades küpsetuskadu, mille tulemusena liha muutub kuivemaks. Seetõttu on niiskusesisaldusel oluline mõju liha mahlakusele, õrnusele ja üleüldisele sensorsele kvaliteedile. (Aaslyng *et al.* 2003: 277–288)

1.3. Liha tehnoloogilised parameetrid

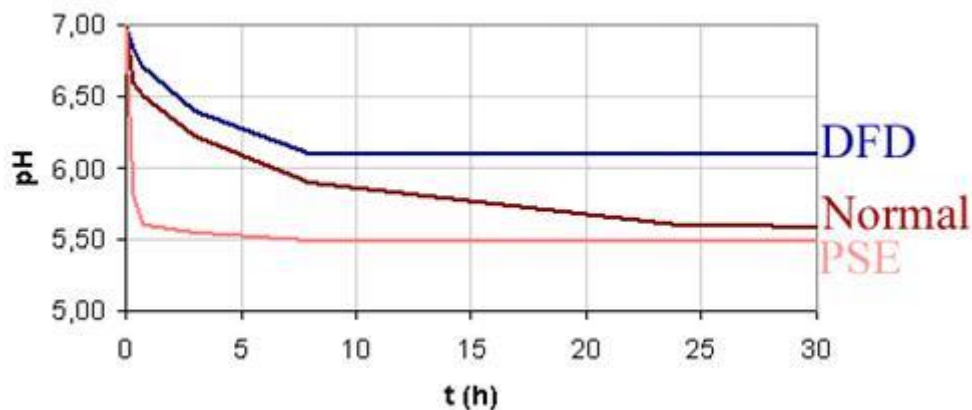
1.3.1. pH-väärtus

Vahetult pärast tapmist on lihaskude pehme ja lõtv, kuid glükogenolüüsi käigus algab surmakangestus, mille käigus tõmbuvad lihased kokku ja muutuvad jäigemaks. Surmakangestuse tekkepõhjuseks on anaeroobne glükogenolüüs ehk glükogeeni lõhustumine, mis on tingitud tapajärgsest hapnikuringluse katkemisest. 90% glükogeenist laguneb tapajärgselt esimese 24 tunni jooksul, mis lõppeb täieliku ATP lagunemise ja piimhappe kogunemise tõttu lihastesse, mille tulemusena langeb nende pH. Algab amülolüüs ehk järelejäänud glükogeeni hüdroolüüs redutseerivate suhkrute moodustamisega. Amülolüüs kestab kuus ööpäeva, lagundades allesjäänud 10% glükogeenist. (Merisaar 1990: 62–65)

Üheks vähestest tööstuslikest võimalustest liha kvaliteedi hindamiseks on pH määramine. Liha tapajärgne pH-taseme langus ja lõplik pH on olulised kvaliteedi mõjutajad. (Põldvere, Tänavots 2012^a)

Elusa sea liha pH on ligikaudu 7, mis tapajärgselt langeb vahemikku 5,4–5,7 (joonis 2). Madala glükogeenisalduse tõttu võib pH jääda langemata ja tulemuseks on DFD (tume,

tuim, kuiv) liha. Kui pH langeb väga kiiresti alla 5,3 (kuni 1,5 tunniga), on tagajärjeks PSE (hele, pehme, vesine) liha. Madala pH mõjul algab valkude denaturatsioon ja veesidumisvõime langeb. Antud andmed on üldjuhul subjektiivsed, kuna eri riikides on need normid erinevad. (Põldvere, Tänavots 2012^a)



Joonis 2. Sealiha tapajärgne pH langus (Q-PorkChains 2015)

Liha pH-tase on oluline kvaliteedi näitaja, eriti selle mõju tõttu liha värvusele, veesidumisvõimele, maitsele, õrnusele ja säilivusajale, ning üldiselt peaks kvaliteetse sealiha pH 24 tundi pärast tapmist olema 5,3–6,0 (Põldvere, Tänavots 2012^a).

1.3.2. Elektrijuhtivus

Elektrijuhtivust hakati liha kvaliteedi hindamiseks kasutama juba 1930. aastal Inglismaal. Liha elektrijuhtivust on võimalik mõõta tänu liha elektrilistele omadustele nagu juhtimisvõime ja takistus. (Tamm 2013)

Elektrijuhtivust määratakse seadmega, mis mõõdab elektrootide vahelist elektrivoolu. Elektrijuhtivus väljendab liha rakustruktuuride kahjustuse taset, mis on tihedas seoses liha veesidumisvõimega. Kui liha struktuurid on kahjustunud, siis on selle veesiduvus madal ja elektrijuhtivus kõrge, seega tõuseb elektrijuhtivus vedeliku osakaalu kasvuga lihas. (Põldvere, Tänavots 2012: 55–62)

1.3.3. Veesidumisvõime

Veesidumisvõime näitab liha suutlikkust hoida kinni ja siduda endas sisalduvat vett, mis on väga oluline kvaliteedinäitaja majanduslikel, tehnoloogilistel ja sensorsetel põhjustel. Liha veesidumisvõime mõjutab tähtsaid kvaliteediomadusi, nagu näiteks toore liha värvust, tuimust, saagist/kaalukadu, mahlasust, õrnust ja struktuuri. Ligikaudu 80% lihaskoes olevast veest asub müofilamentide vahelistes kanalites. (Tornberg 2005: 493–508)

Liha kvaliteedi seisukohalt on olulised veesisaldus, vee jagunemine liha osade vahel ning vee seostatus. Veesisaldust mõjutavateks faktoriteks on liha pH, valgu- ja rasvasisaldus, denaturatsioon ja sellest tulenevalt ka küpsetamine. (Pöldvere, Tänavots 2012^a)

Denaturatsioon vähendab valkude võimet siduda vett ning sellest tulenevalt väheneb ka liha veesidumisvõime. Liha rasvasisalduse puhul on määrav selle kogus, kuna suure rasvasisaldusega lihal on parem veesidumisvõime, sest rasv imab rohkem vett endasse. Lisaks on leitud, et pH-väärtuse ja veesisalduse suhe on kõverjooneline, olles minimaalne väärtuste 5 ja 5,5 vahel. Väljaspool antud piire on täheldatud veesisalduse paranemist. (Pöldvere, Tänavots 2012^a)

Liha veesidumisvõimest sõltub selle üks olulisemaid sensoorseid omadusi – mahlasus. Mahlasust hinnatakse mäludes, kasutades selle kirjeldamiseks erinevaid aistinguid. Hindamine viiakse läbi grupi inimeste poolt, kes hindavad liha sensoorseid omadusi hedoonilise skaala alusel ehk meeldivuse järgi. (Honikel 1994: 125–161)

1.3.4. Tilkumiskadu

Liha tilkumiskaole on aastate jooksul hakatud pöörama rohkem tähelepanu (Christensen 2003: 460–477). Tilkumiskadu mõjutavad mitmed faktorid, eelkõige liha jahtumise ja säilitamise aeg, konditustamine ning proovide võtmine (Tamm 2013).

Liha tilkumiskadu on kõige suurem esimese 24–48 tunni jooksul (Moeseke, Smet 1999: 151–156). Mida vähem kaotab liha vedelikku aurumise ja kuivamise teel, seda suurem on väljatulek. Tilkumiskaol on oluline seos veesisaldusega – mida väiksem on tilkumis-

kadu, seda parem on veesidumisvõime ja ühtlasem liha värvus. Kõrge tilkumiskadu on omane sigadelt saadud PSE-lihale. (Põldvere, Tänavots 2012: 55–62)

1.3.5. Keedu- ja küpsetuskadu

Liha sensoorse kvaliteedi tagab põhiliselt kombinatsioon maitsest, lõhnast, õrnusest ja mahlasusest. Saagis on oluline tehnoloogilise kvaliteedi näitaja, millest oleneb liha õrnus ja mahlasus. Liha küpsetuskadu mõjutavateks teguriteks on toorme kvaliteet, lõplik sisetemperatuur ja kuumtöötlemise tingimused. (Aaslyng *et al.* 2003: 277–288)

Mida suurem on küpsetuskadu, seda väiksem on väljatulek ning kuivem ja tuimem on liha. Termilisel töötlusel toimub lihas vedelate ja lahustuvate ainete kombineeritud kadu, väheneb liha veesisaldus ja mahlasus. Protsentuaalne rasva- ja valgusisaldus aga suureneb, mis tähendab seda, et suurema osa küpsetuskaost moodustab vesi. (Aaslyng *et al.* 2003: 277–288)

Küpsetamisel on liha veekao tõenäoliseks põhjuseks temperatuurist tingitud valkude denaturatsioon, mille käigus väheneb valgu struktuuride veesidumisvõime. Liha küpsetuskaosakaalu mõjutab ka küpsetamise kiirus ja ahju temperatuur. Madalamal temperatuuril pikemat aega küpsetades on küpsetuskadu väiksem ja liha mahlasem, võrreldes kõrgemal temperatuuril lühiajaliselt küpsetatud lihaga. (Aaslyng *et al.* 2003: 277–288)

Lisaks on leitud, et kui liha pH on alla 5,7, siis keedukaod on ligikaudu 40–50%, pH-ga 6,0 ja enam, on kadusid vaid 20% (Põldvere, Tänavots 2012: 55–62).

1.4. Liha õrnus ja seda mõjutavad tegurid

Õrnus on kõige olulisem liha sensoorse kvaliteedi näitaja. Tööstused ja teadlased teevad palju tööd selleks, et tagada liha ühtlane sensoorne kvaliteet, sest see on kliendi seisukohalt kõige esmasem ja olulisem. (Luciano *et al.* 2007: 1–8)

Liha õrnust mõjutavad erinevad tapaeelsed ja tapajärgsed faktorid. Tapaeelseteks faktoriteks on looma vanus, liik, tõug, sugu, toitumus, stress ja tapaeelne pidamine ning tapajärg-

seteks teguriteks surmakangestus ja laagerdumine. (Nowak 2011: 231–237) Viimaste muutuste põhilisteks põhjustajateks lihas on keemilised protsessid, eelkõige ensümaatilised reaktsioonid, nagu valkude proteolüüs (Luciano *et al.* 2007: 1–8).

1.4.1. Temperatuur

Liha tapajärgsest jahutamisest sõltub oluliselt ensümaatiliste protsesside toimumise kiirus, kuna need on temperatuuritundlikud. Temperatuuri tuleks võimalikult kiiresti alandada, et pidurdada valkude denaturatsiooni ja mikroorganismide kasvu lihas. Samas ei tohi temperatuuri langus olla liiga kiire, kuna see võib põhjustada liha sulamis- ja külmakangestust, mis viib liha tuimenemiseni. (Põldvere, Tänavots 2012^b)

Liha laagerdumine peab toimuma madalal temperatuuril, kuna see vähendab sarkomeeride lühenemist ja sellest tulenevalt liha muutumist tuimaks. Madal temperatuur vähendab ensüümide aktiivsust, ning seeläbi ka glükolüütiliste protsesside kiirust, mille tulemusena ei lange liha pH tapajärgselt liiga madalale ning väheneb surmakangestuse teke. (Luciano *et al.* 2007: 1–8)

1.4.2. Ca²⁺ ionide- ja ATP kontsentratsioon ning apoptoos

Lihaskiud on väga tundlik ATP ja Ca²⁺ ionide kontsentratsioonile, kuna kasutab neid kontraktiooni-(pingutus) ja relaksatsiooni-(lõdvestus) protsessides. Tapajärgselt väheneb ATP osakaal ja tõuseb Ca²⁺ kontsentratsioon lihasrakkudes. Viimase tulemusena toimub lihase kontraktatsioon, millele peaks järgnema relaksatsioon, kuid Ca²⁺ kuhjumise ja ATP ehk esmase lihase jaoks kasutatava energia langemise tõttu jääb lihas kontraheerunud seisus, muutes liha tuimaks. (Maltin *et al.* 2003: 337–347)

Tapajärgselt voolab loomast välja peaaegu kogu veri, jättes rakud hapniku ja toitaineteta. Apoptoosi ehk rakusurma käigus pöördub rakumembraan ümber, katkestades info- ja ainevahetuse ümbritseva keskkonnaga. Ca²⁺ ioonid, mis paiknevad sarkoplasmaatilises retiikulis, aktiveerivad proteolüütilised ensüümid. Liha edasisel laagerdumisel toimub liha pehmenemine aktiveerunud ensüümide toimele. (Luciano *et al.* 2007: 1–8)

1.4.3. Proteolüüs

Lisaks mitteensümaatilistele protsessidele lihas, mõjutavad liha õrnust ka ensümaatilised protsessid, millest üks on proteolüüs (Maltin *et al.* 2003: 337–347). Proteolüüs on valkude hüdrolüütiline lagunemine lühemateks polüpeptiidideks, oligopeptiidideks või aminohapeteks ensüümide, täpsemalt proteaaside, toimel (Proteolysis... 2015). Kui esialgselt toimub tapajärgselt liha tuimenemine surmakangestuse tõttu, siis sellele järgneva liha laagerdumise käigus toimuvad proteolüütilised muutused muudavad liha taas õrnemaks (Maltin *et al.* 2003: 337–347).

Liha ensümaatiline pehmenemine on väga keeruline, kuid samas oluline. Seni ei teata täpselt, millised proteolüütilised ensüümid otseselt vastutavad laagerdumisel liha õrnuse kujunemise eest. Mõningate teooriate kohaselt peetakse lihavalgude proteolüüsi vallandajateks kolme erinevat proteolüütilist ensüümsüsteemi – kalpaiinid, katepsiinid ja proteosoomid. Proteolüütiliste ensüümide aktivaatoriks on Ca^{2+} ioonid, mille osakaalu kasvades aktiveeritakse proteolüütilised ensüümid, millel on oluline osa liha edasise õrnuse kujunemisel. (Luciano *et al.* 2007: 1–8)

Kõige tõenäolisemaks peetakse kalpaiinide proteolüütilist mõju liha müofibrillidele ja see läbi ka õrnusele. Kalpaiinid asuvad raku tsütoplasmas ja membraanis. (Nowak 2011: 231–237)

1.5. Liha õrnuse muutumine termotöötlusel

Liha kuumtöötlemine on ennekõike oluline toiduohutuse seisukohalt, liha muutub söömis-
kõlblikuks ja ohutuks, kuid sellel on suur mõju ka liha õrnuse kujunemisele (Huang *et al.* 2011).

Kuumtöötlusel toimuvad muutused liha tekstuuris, mis on tingitud muutustest valkudes. Liha mehaanilised omadused muutuvad ennekõike müofibrillide, sarkoplasma ja sidekoe valkude omaduste muutumise tõttu. Temperatuuri mõjul valgud denatureeruvad, põhjustades muutusi liha struktuuris, nagu müofibrillide ja sarkoplasma valkude rakumembraanide lagunemist, lihaskiudude kokkutõmbumist, geelistumist, lisaks sidekoe valkude kokkutõmbumist ja lahustumist. (Huang *et al.* 2011)

1.5.1. Müofibrillid

Esimised suuremad muutused müofibrillide struktuuris algavad 36–40 °C vahemikus, kui algab müosiini denaturatsioon ning geelistumine, mis leiab aset kahes osas. Esimene etapp toimub 30–50 °C juures, teine 50 °C ja kõrgematel temperatuuridel, mille käigus toimub valguosakeste liitumine. Temperatuuril 65–87 °C toimuvad muutused müofibrillides, mille tulemusena osa neist kalgendub. (Vujadinovic *et al.* 2014: 407–415)

Kuumtöötlemisel väheneb müofibrillide lahustuvus, mis kiireneb oluliselt 40–60 °C vahel. Edasisel sisetemperatuuri tõstmisel on müofibrillid sisuliselt lahustumatud. (Boles 2010: 169–184)

1.5.2. Sarkoplasma valgud

Lisaks müofibrillidele mõjutab veesidumisvõimet ka sarkoplasma valkude denaturatsioon, mis väljendub ka liha õrnuses. PSE-liha puhul on täheldatud eriti suurt küpsetuskadu, jällegi RSE-lihal ei ole see olnud nii suur. RSE-liha sarkoplasma valkude osakaal on suurem ka normaalse liha sarkoplasma valkude sisaldusest, mis tähendab, et sarkoplasma valkude osakaal vähendab liha veesidumisvõime langust. (Laack 1999: 309–318)

1.5.3. Sidekoe kollageen

Kollageenil on oluline osa liha õrnuse kujunemisel. Kuumtöötlemisel paisub hüdratsiooni tulemusena lihaskiudude kimpe ümbritsev sidekoeline epimüüsium, mis sisaldab ka kollageeni. Kõrgematel temperatuuridel purunevad kollageenikiudude struktuurid vesiniksidemete katkemise tõttu ning kollageen lahustub, moodustades želatiini. (Boles 2010: 169–184)

1.6. Liha lõiketugevus

Tarbija jaoks on kõige olulisemaks maitseomaduste kvaliteedinäitajaks liha õrnus. Liha-töötledjad teevad suurt tööd selle nimel, et saavutada nõutud maitseomadused, tagamaks kliendi rahulolu. Selleks, et hinnata liha õrnust, on tööstused kasutusele võtnud mitmeid meetodeid. (O'Diam 2009)

Tarbija sensorsete eelistuste järgimine on äärmiselt oluline nii tootjatele kui ka teadlastele, kes õrnuse kujunemist uurivad (Frenzel *et al.* 2014: 24–35). Õrnuse vastupidiseks näitajaks on liha tuimus, ehk kui liha on tuim, siis on tema õrnus madal. Põhiliseks liha õrnuse mõõtmiseks kasutatavaid viise on selle lõiketugevuse määramine. (Põldvere, Tänavots 2012^b)

2. UURIMUSTÖÖ METOODIKA

2.1. Lihaproovide ettevalmistamine ja katsete läbiviimine

Sead hukati vastavalt Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrusele nr. 1099/2009 (EÜ 2009). Liha kvaliteedinäitajad määrati lihaproovidest, mis saadi searümba 12. seljalüli ja viienda nimmelüli vahelisest osast võetud selja pikimast lihasest (*Longissimus thoracis*). Piisava katsematerjali tagamiseks eraldati mõlema rümbapoolle lihased.

Toore liha kvaliteedinäitajate määramine ja termiline töötlemine toimus 24 tundi pärast sea tapmist. Side- ja rasvkoest vabastatud selja pikimast lihasest lõigati risti lihaskiududega viis 10 cm pikkust tükki ning registreeriti nende mass. Kõige kauem küpsetatava lihatüki sisse torgati sisetemperatuuri jälgimiseks termopaar ning seejärel asetati lihatükid termiliseks töötlemiseks ettenähtud küpsetuskottidesse. Järgnevalt kotid suleti ning paigutati eelkuumutatud ahju, 120 °C juurde (joonis 3). Liha kvaliteedinäitajad määrati neljal katseseerial.

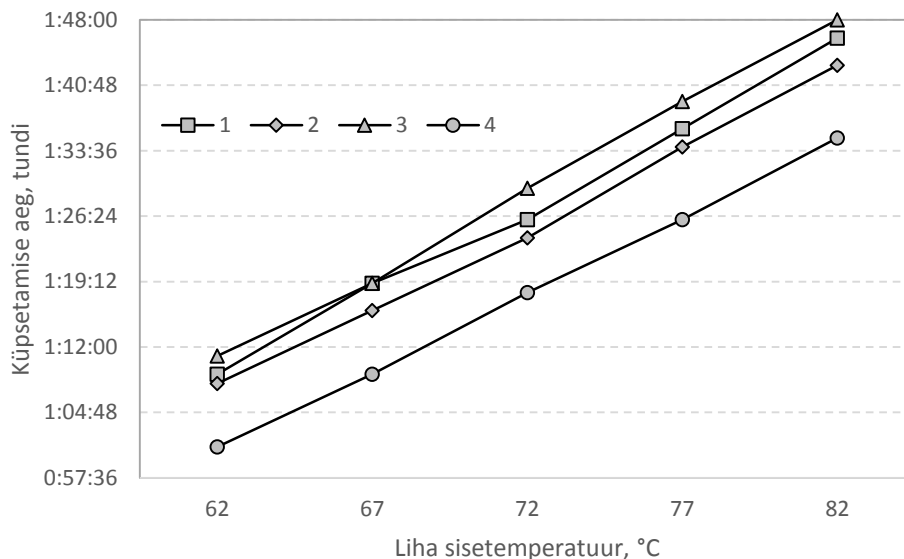


Joonis 3. Eelkuumutatud ahju paigutatud lihatükid (S. Sild)

Liha kuumutamisel lähtuti USA Toidu- ja Raviameti regulatsioonist, mille alusel piisab värskel sealiha küpsetamisel 62,8 °C-st, et tagada inimesele kahjulike mikroorganismide hävitamine lihas (U.S. Food and Drug Administration 2015). Käesolevas töös sealihas mikroorganismide esinemist ei määratud.

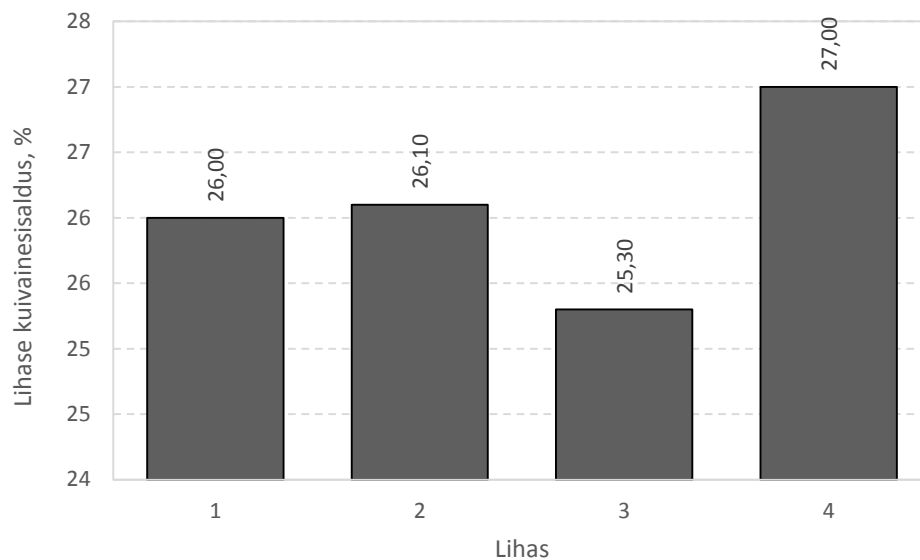
Proovitükid küpsetati vastavalt 62, 67, 72, 77 ja 82 °C sisetemperatuurini, mille järel registreeriti lihatükkide ja eraldunud vedelikuga küpsetuskottide mass. Vahetult pärast termilist töötlemist jahutati proovid toatemperatuurini ja säilitati jahutuskambri temperatuuril (2–6 °C). Järgmisel päeval määrati termiliselt töödeldud liha pH, värvus, elektrijuhtivus ja lõiketugevus.

Küpsetamiseks kulunud aeg oli nelja katseseeria lõikes maksimaalne kolmandal lihasel, mille 82 °C sisetemperatuuri saavutamiseks kulus üks tund ja 48 minutit. Kõige lühem oli see neljandal katsel, kus 62 °C sisetemperatuuri saavutamiseks kulus üks tund ja üks minut (joonis 4). Suurim ajakulu kahe sisetemperatuuri vahel oli kümme minutit ja 29 sekundit, kõige väiksem seitse minutit. Võrreldes teiste katsetega, kulus neljanda lihase küpsetamiseks vähem aega, kuna kasutatud lihas oli väiksem ja kergem.

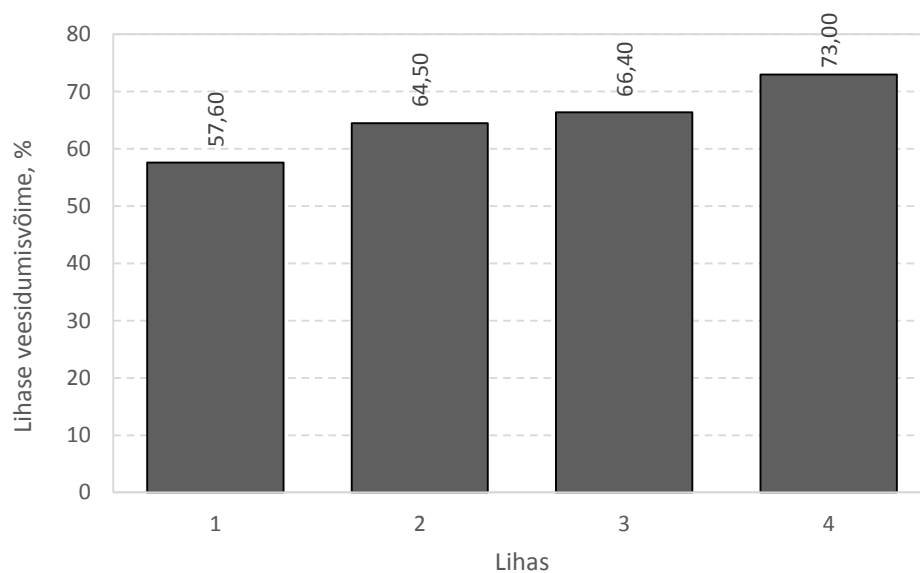


Joonis 4. Lihaste küpsetamiseks kulunud aeg sõltuvalt sisetemperatuurist

Käesolevas töös termiliselt töödeldud selja pikima lihase kuivainesisaldus neljas katses oluliselt ei erinenud, kõikides 1,70% ulatuses. Madalaim oli kuivainesisaldus kolmandal (25,30%) ja kõrgeim neljandal (27,00%) lihasel (joonis 5). Proovide veesidumisvõime varieerus sõltuvalt katsest 15,40%, jäädes vahemikku 57,60–73,00% (joonis 6).



Joonis 5. Selja pikimate lihaste keskmised kuivainesisaldused katsete lõikes



Joonis 6. Selja pikima lihase keskmine veesidumisvõime katsete lõikes

2.2. Sealihha füüsikaliste näitajate määramine

2.2.1. Värvus

Lihaskoe värvust saab hinnata visuaalselt või määrata selleks ettenähtud seadme optomeetriga. Töös kasutati seadet Opto-Star (joonis 7), mis oli toodetud Rudolf Matthäusi insene-

ribüroos (Klaus, Saksamaa). Selle aparadi abil mõõdetakse lihasele peegeldunud või neeldunud valgust. (Ingenieurbüro R. Matthäus 2011^a)

Lihaskoe värvus määrati toatemperatuuril (~20 °C). Selleks suunati mõõteandur liha pinnale ja registreeriti tulemus. Opto-Star määrab liha kvaliteedi ja selle vead vastavalt valguse peegeldumise intensiivsusele liha pinnalt, kasutades selleks spetsiaalset fotodiodi. Kvaliteetse liha värvuse mõõteväärtus peaks jääma vahemikku 55–85%. (Põldvere, Tänavots 2012^c) Värvus määrati nii toorel kui ka küpsetatud lihal.



Joonis 7. Lihase pinna värvuse määramine seadmega Opto-Star (S. Sild)

2.2.2. Kuivaine- ja niiskusesisaldus

Liha kuivaine- ja niiskusesisaldus määrati vastavalt Eesti Vabariigi standardile EVS-ISO 1442:1999 „Niiskusesisalduse määramine (põhimeetod)“ (EVS 1999).

Alumiiniumist katseanum ehk büks, koos selles oleva liiva ja klaaspulgaga, asetati lahtiselt, ilma kaaneta, kuivatuskappi 103 ± 2 °C juurde ning kuivatati 30 minutit konstantse massini. Liiva võeti koguses, mis ületas proovikaalutist ligikaudu 2–3 korda. Seejärel jahutati büks eksikaatoris toatemperatuurini ning registreeriti selle mass 0,001 g täpsusega. Büksi asetati 5–8 g homogeniseeritud sealiha ja kaaluti see koos sisu ja klaaspulgaga, täpsusega 0,001 g. Büksi sisu segati hoolikalt klaaspulgaga ning kuivatati kuivatuskapis lahti-

selt 103 ± 2 °C juures kaks tundi. Kaanega kaetud büks jahutati eksikaatoris toatemperatuurini ja kaaluti 0,001 g täpsusega. Niiskusesisaldus väljendati massiprotsentides.

2.3. Sealiha tehnoloogiliste näitajate määramine

2.3.1. pH-väärtus

Liha pH ehk happesus määrati toatemperatuuril (~ 21 °C) seadmega Testo 205 (joonis 8) (Testo Ltd, Alton, Suurbritannia) (Testo AG 2006). Selleks torgati seadme elektrod lihasse ning registreeriti pH-meetri näit. Mõõtmisvigade tekke vältimiseks puhastati elektrod pärast igat mõõtmiskorda. Enne igat katsepäeva kalibreeriti pH-meeter standardlahusega kahe punkti järgi (pH 4,0 ja 7,0). (Põldvere, Tänavots 2012^c) pH-väärtus määrati toores ja termiliselt töödeldud lihas.



Joonis 8. Lihase pH-väärtuse määramine seadmega Testo 205 (S. Sild)

2.3.2. Elektrijuhtivus

Lihakoe elektrijuhtivuse määramiseks kasutati seadet LF-Star CPU (joonis 9), mis on toodetud Rudolf Matthäusi inseneribüroos (Klaus, Saksamaa) (Ingenieurbüro R. Matthäus 2011^b).

Elektrijuhtivuse määramiseks suruti kaks paralleelset terasest elektroodi lihasse ja mõõdeti nende vahelist elektrivoolu. Saadud tulemus näitab liha rakustruktuuride kahjustuse taset, mis on tihedas seoses liha veesidumisvõimega. Kvaliteetse liha elektrijuhtivus on 2,0–8,0 mS. PSE (hele, pehme, vesine) lihal on rakustruktuurid kahjustunud ning sellest tulenevalt on elektrijuhtivus kõrge (>8,0) ja veesidumisvõime madal. DFD (tume, kuiv, tuim) liha puhul on elektrijuhtivus madal (<2,0). (Pöldvere, Tänavots 2012: 55–62) Elektrijuhtivus määrati toores ja küpsetatud lihas.



Joonis 9. Lihase elektrijuhtivuse määramine seadmega LF-Star CPU (S. Sild)

2.3.3. Veesidumisvõime

Liha veesidumisvõime iseloomustab liha võimet hoida endas vett, selle arvnäitaja väljendatakse protsentides liha massi suhtes. Selle määramiseks kasutati Grau ja Hammi (1952: 295–297, 1957: 446–460) meetodit, mida on muutnud Volovinskaja ja Kel'man (1962: 128–138). See meetod põhineb lihast eralduva vee hulga kindlakstegemise printsiibil, kus 0,3 g liha kaalutis asetatakse viieks minutiks tuhavabale, 150 mm läbimõõduga, filterpaberile, ühe kilogrammise raskuse alla, kahe klaasi vahele. Laiaks vajutatud sealihaga ja sellest välja pressitud vedeliku laigu pindalad (joonis 10) määrati arvutiprogrammiga Scan Star (Ingenieurbüro R. Matthäus 2011^c) ning veesidumisvõime leiti protsentides järgmise valemi kaudu:

$$B\% = \frac{(A-8,4*V)}{A_1} * 100 \text{ , kus}$$

B% – lihast eraldunud vee osakaal, %;

A – vee koguhulk uuritavas lihatükis, mg;

A₁ – proovitüki mass, mg;

8,4 – 1 cm² suurune filterpaberi ala sisaldab 8,4 mg vett;

V – lihast eraldunud vee pindala filterpaberil, cm²;



Joonis 10. Pressitud liha ja sellest eraldunud vedeliku laigud filterpaberil (S. Sild)

2.3.4. Küpsetuskadu

Sealiha küpsetuskao määramiseks registreeriti lihaproovide mass enne ja pärast termilist töötlemist ning arvutati nende vahe. Lisaks kaaluti ka küpsetuskotid koos küpsetamisel eraldunud vedelikuga ning leiti termilisel töötlemisel aurustunud vedeliku kadu.

2.4. Sealiha mehaaniliste parameetrite määramine

Kõige levinumaks ja standardsemaks variandiks lihatükkide ettevalmistamiseks ja mehaaniliste parameetrite (löiketugevuse) määramiseks on Warner-Bratzleri meetod (Savell *et al.* 2013), mida kasutati ka antud uurimustöös. See meetod loodi 1950-ndatel aastatel, eesmärgiga mõõta liha õrnust löiketugevuse kaudu (O’Diam 2009).

Tekstuuri parameetrite mõõtmine teostati toore ja termiliselt töödeldud lihaga. Lihaproovide saamiseks kasutati puurpink, millele oli kinnitatud proovivõtu toru, läbimõõduga 11 mm. Igast lihaproovist lõigati piki lihaskiudu proovivõtu toru abil välja, selle löiketugev-

vuse määramiseks, kümme puursüdamikku (joonis 11). Järgnevalt lõigati neid keskkohast tekstuurianalüsaatoriga risti lihaskiudu. Katsesse võeti ühe lihase kohta kümme puursüdamiku andmed.



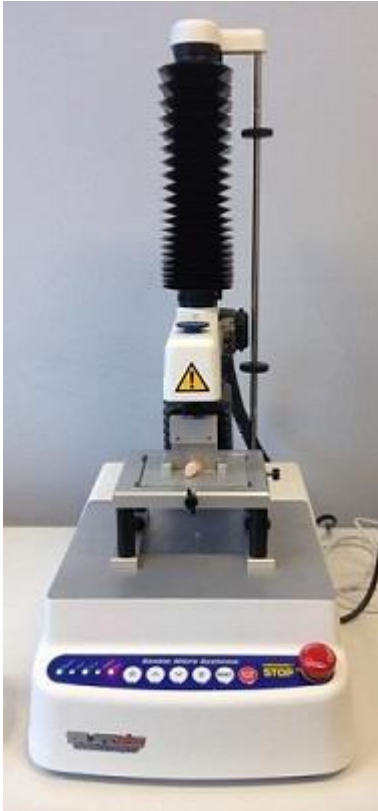
Joonis 11. Pikimast seljalihasesest lõigatud puursüdamikud (S. Sild)

Tekstuuri parameetrite registreerimiseks kasutati TA.XT*Plus* tekstuurianalüsaatorit (Stable Micro System Ltd, Godalming, Inglismaa) (joonis 12) ja selle liha määrangute tarvis kohandatud arvutiprogrammi (Stable Micro System Ltd 2011), mille tehniline seadistus oli järgmine:

- tera liikumiskiirus 2–20 mm/sek;
- maksimaalne rakendatav jõud kuni 50 kg (490,33 N);
- etteantud lihaproovi lõikeulatus 25 mm;
- töötemperatuur 0–40 °C.

Warner-Bratzleri analüüsil kasutatav lõiketera peab vastama järgnevatele nõuetele:

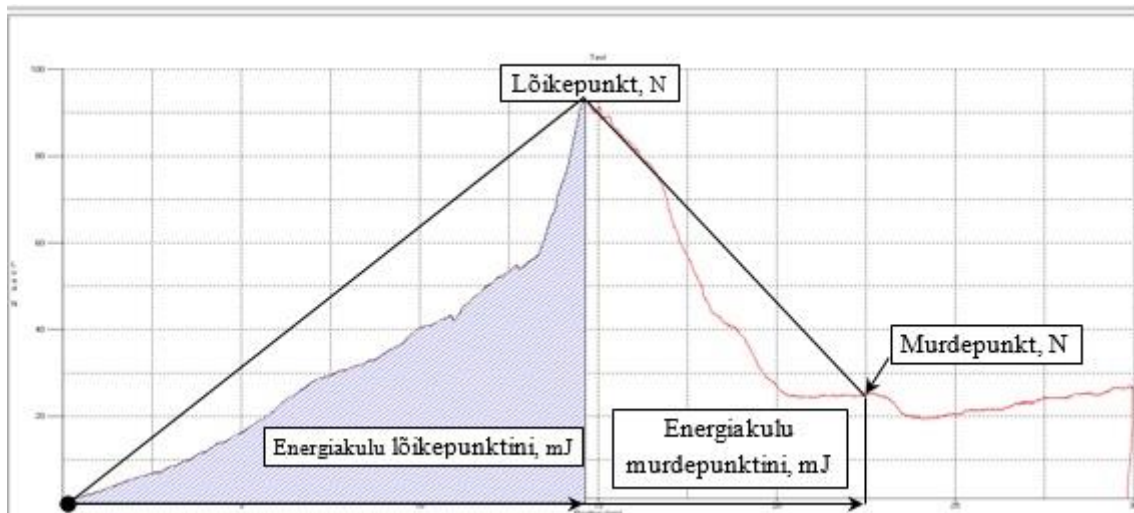
- tera paksus 1,016 mm;
- V-kujuline 60 kraadise nurgaga;
- lõiketera servad on poolümarad;
- lõiketera juhtpilud peavad olema 2,08 mm laiad.



Joonis 12. Lihaproovi lõiketugevuse määramine tekstuurianalüsaatoriga TA.XT*plus* (S. Sild)

Katse käigus määrati järgnevad parameetrid (joonis 13):

- Energiakulu lõikepunktini (mJ) – energia, mis kulub proovitüki deformeerimiseks (enne purunemist).
- Lõikepunkt (N) – jõud, mille juures algab proovitüki purunemine.
- Energiakulu lõikepunktist murdepunktini (mJ) – energia, mis kulub proovitüki läbi lõikamiseks.
- Murdepunkt (N) – jõud, mille juures läbistatakse täielikult proovitükk.
- Energiakulu kokku (mJ) – summaarne energiakulu, mis on vajalik proovitüki deformeerimiseks ja läbi lõikamiseks.



Joonis 13. Warner-Bratzleri testi väljundgraafiku alusel teostatud mõõtmised (Stable Micro System Ltd 2011)

2.5. Andmete statistiline analüüs

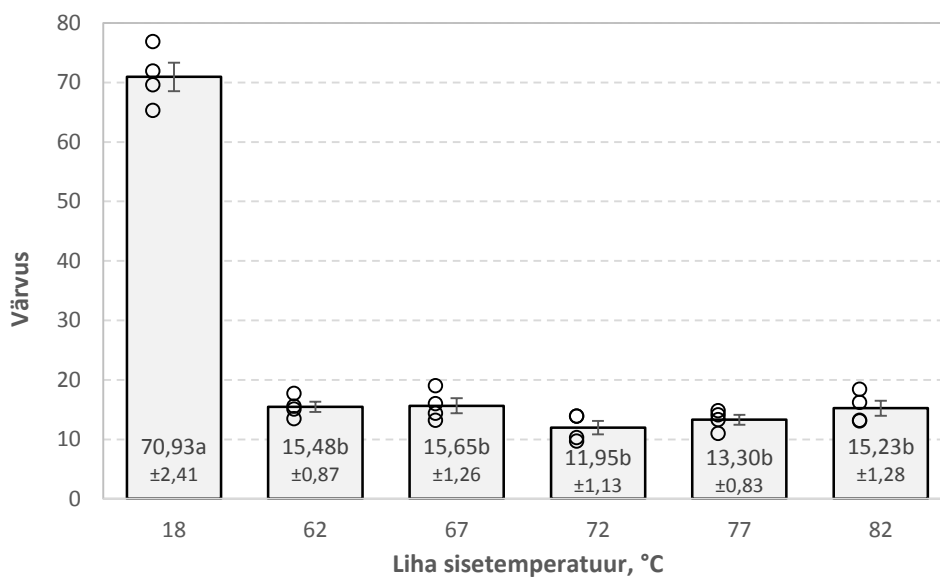
Andmete statistiliseks analüüsiks kasutati tabelarvutusprogrammi MS Excel 2013 ja statistikapaketti SAS. Termilise töötamise aja mõju erinevatele liha kvaliteedinäitajatele analüüsiti kahefaktorilise dispersioonanalüüsiga (SAS 1999), võttes arvesse ka lihase võimaliku mõju. Kõik tulemused on esitatud vähimruutkeskmistena.

Vähimruutkeskmiste oluliste erinevuste väljatoomiseks kasutati ülaindeksina tähti (a, b ja c), kus erinevate tähtedega tähistatud sama rea vähimruutude keskmised erinevad oluliselt ($p < 0,05$). Kvaliteedinäitajate vahelised Pearsoni korrelatsioonikordajad (r) leiti statistikaprotseduuriga *Correlation* ja näitajate vaheliste seoste olulisus (p) funktsiooniga T.DIST.2T, mis on väljendatud töös järgnevalt: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

3. EKSPERIMENTAALNE OSA

3.1. Sealiha füüsikalised näitajad

Käesolevas töös hinnati füüsilistest näitajatest sealiha värvust. Toore sealiha värvuse näitaja oli 70,93. Küpsetatud liha värvus jäi vahemikku 11,95–15,65 (joonis 14), kõige kõrgem oli antud näitaja 67 °C ja kõige madalam 72 °C sisetemperatuuri juures. Termiliselt töödeldud liha värvus temperatuuri tõustes statistiliselt oluliselt ei muutunud ($p > 0,05$), erinedes 3,70 ühikut. Kõige rohkem varieerusid lihasesiseselt toore ($se = 2,41$) ja kõige vähem 77 °C-ni ($se = 0,83$) küpsetatud liha värvuse näitajad.

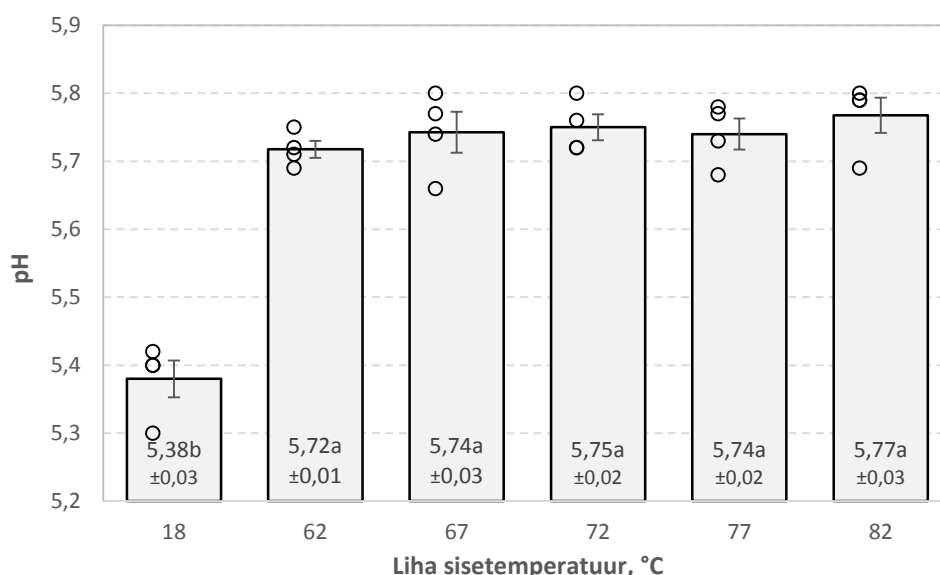


Joonis 14. Sealiha värvuse keskmine väärtus (\pm standardviga (se)) sõltuvalt sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

3.2. Sealiha tehnoloogilised näitajad

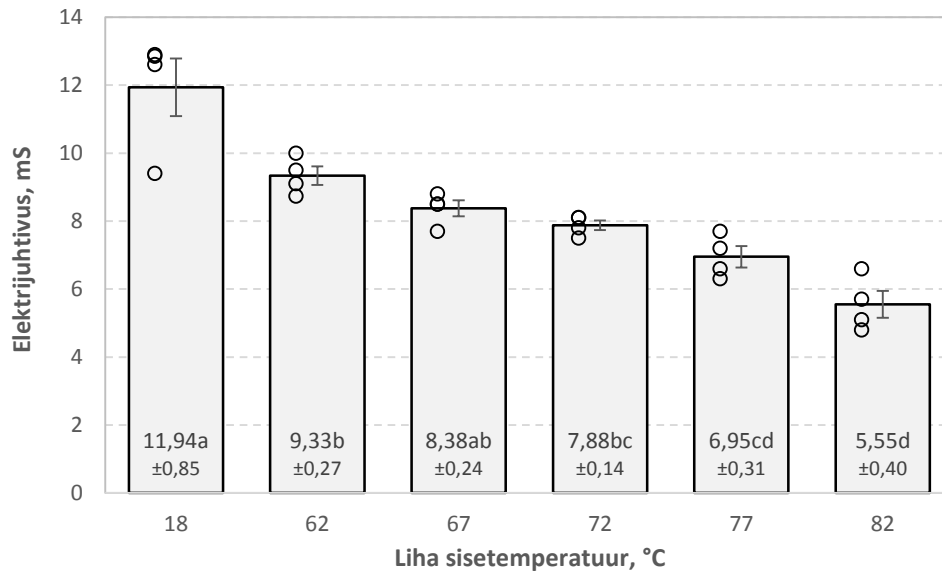
Tehnoloogilistest näitajatest määrati sealiha happesust, elektrijuhtivust ja küpsetuskadu.

Toore ja küpsetatud liha keskmine pH kõikus 0,39 ühiku ulatuses, jäädes vahemikku 5,38–5,77, kusjuures selline erinevus osutus statistiliselt oluliseks ($p < 0,05$). Küpsetatud liha pH varieerus 5,72 kuni 5,77, erinedes maksimaalselt vaid 0,05 ühiku ulatuses. Lihastesiselt oli katsetulemuste varieeruvus pH-väärtuse osas väike, maksimaalselt 0,03 ühikut (joonis 15). Liha sisetemperatuuri tõus üle 62 °C ei avaldanud statistiliselt olulist mõju selle pH-väärtusele ($p > 0,05$).



Joonis 15. Sealiha keskmine pH (\pm standardviga (se)) sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

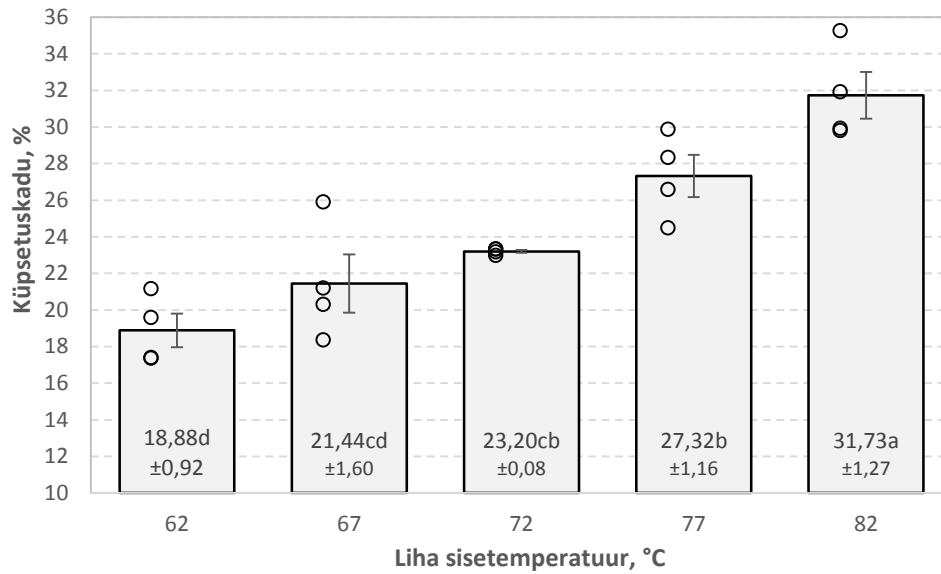
Sealiha elektrijuhtivuse näitajad jäid vahemikku 5,55–11,94 mS, erinedes statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$). Kõrgeim oli antud näitaja toorel ja madalaim 82 °C sisetemperatuurini küpsetatud lihal. Eeltoodust selgub, et liha küpsetustemperatuuri tõustes väheneb elektrijuhtivus. Suurim elektrijuhtivuse väärtuse erinevus ilmnes toore ja 62 °C-ni küpsetatud liha vahel (2,61 mS). Keskmine elektrijuhtivus, sõltuvalt katsest, erines statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$), kõikides vahemikus 7,51–8,80 mS. Kõige rohkem varieerusid proovisiselt toore (se = 0,85 mS) ja vähem 72 °C-ni (se = 0,14 mS) küpsetatud liha elektrijuhtivuse näitajad (joonis 16).



Joonis 16. Sealiha keskmine elektrijuhtivus (\pm standardviga (se)) sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

Käesolevas töös kasutatud lihaproovide keskmine toore massi erinevus oli 40,52 g, proovid varieerusid vahemikus 391,97–432,49 g. Samuti ei erinenud oluliselt küpsetatud lihaproovide lõplik mass, varieerudes 294,68–332,20 g piirides. Küpsetamisel tekkinud liha massi kadu suurenes temperatuuri tõustes, olles minimaalne, 74,32 g (18,88%), 62 °C juures, millest 71,49 g eraldus vedelikuna ja 2,83 g aurustus. Kõrgeim oli küpsetuskadu 82 °C juures, vastavalt 137,81 g (31,73%), millest 131,15 g eraldus vedelikuna ja 6,66 g auruna.

Liha küpsetuskao muutus erinevatel sisetemperatuuridel oli võrdlemisi ühtlane, kuid suurim (4,41%) oli erinevus 77 °C ja 82 °C vahel. Katsetulemuste varieeruvus oli lihastesiselt väikseim 72 °C (se = 0,08%) ja suurim 67 °C (se = 1,60%) sisetemperatuurini küpsetatud lihal. Liha sisetemperatuuri tõstmise tulemusena erinesid küpsetuskao näitajad statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) (joonis 17).



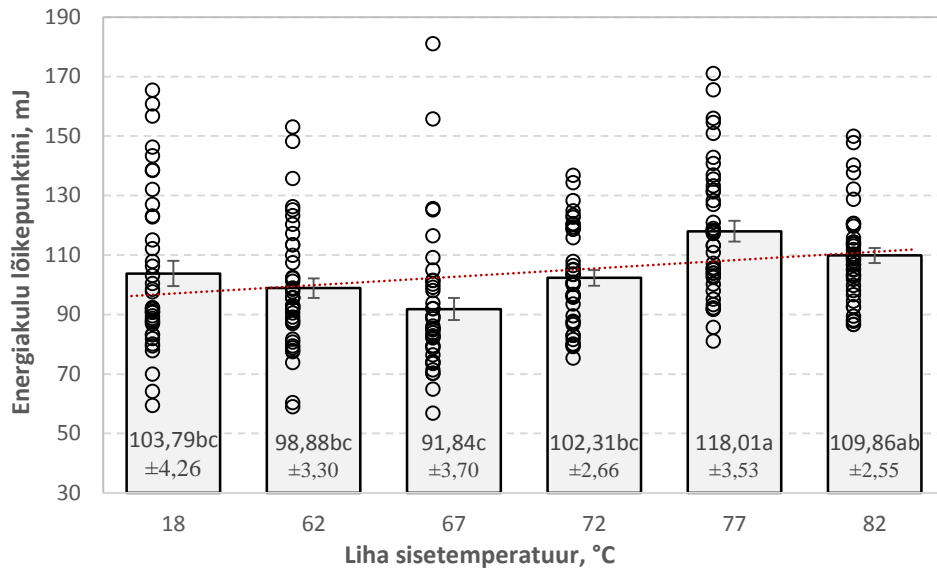
Joonis 17. Sealiha keskmine küpsetuskadu (\pm standardviga (se)) sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

3.3. Sealiha tekstuurinäitajad

Sealiha tekstuuri parameetritest määrati selle lõikepunkt, murdepunkt, energiakulu lõikepunktini, lõikepunktist murdepunktini ja summaarne energiakulu.

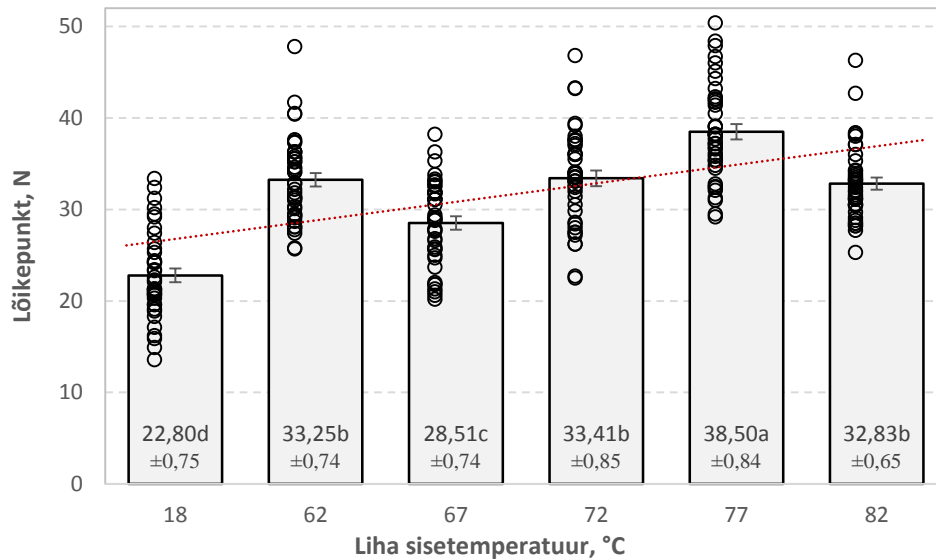
Olenevalt liha sisetemperatuurist jäi keskmine energiakulu lõikepunktini, s.t. energia, mis kulub proovitüki deformeerimiseks (enne purunemist), vahemikku 91,84–118,01 mJ (joonis 18). Madalaim oli antud näitaja 67 °C ja kõrgeim 77 °C sisetemperatuuril. Kui esialgu võis täheldada liha sisetemperatuuri tõustes lõikepunktini kuluva energia vähenemist, siis pärast 67 °C saavutamist hakkas antud parameeter taas suurenema.

Pärast 77 °C liha sisetemperatuuri saavutamist hakkas energiakulu taas veidi langema, olles 82 °C juures 109,86 mJ, kuid see erinevus ei olnud statistiliselt oluline ($p > 0,05$). Proovitüki deformeerimiseks vajaliku lõikeenergia varieeruvus oli suurim 67 °C (se = 3,70 mJ) ja väikseim 82 °C (se = 2,55 mJ) sisetemperatuuriga lihal. Liha deformeerimiseks vajalik energiakulu kasvas selle sisetemperatuuri tõustes.



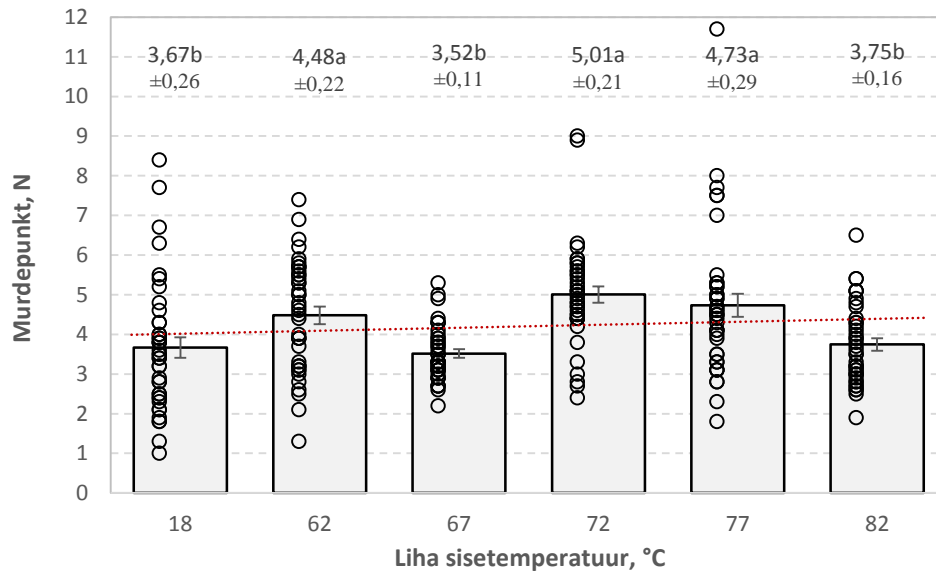
Joonis 18. Sealiha lõikamiseks kulunud keskmine (\pm standardviga (se)) energia lõikepunktini sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

Termiliselt töödeldud lihaproovidel mõõdetud lõikepunkti, mille juures algab proovitüki purunemine, väärtused jäid vahemikku 28,51–38,50 N, toore liha lõikepunkt oli 22,80 N (joonis 19). Kõige vähem kulus jõudu toore ja kõige rohkem 77 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha lõikamiseks. Suurim lõikepunkti väärtuse kasv (5,09 N) termiliselt töödeldud lihal ilmnes 72 °C ja 77 °C vahel, kõige madalam oli lõikepunkt (28,51 N) 67 °C sisetemperatuurini küpsetatud lihal. 67 °C ja 77 °C-ni töödeldud liha lõikepunkti väärtused erinevad teistest küpsetatud lihastest statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$). Mõõtmistulemuste kombineerimine oli lihastesiseselt väikseim 82 °C ($se = 0,65$ N) ja suurim 72°C-ni ($se = 0,85$ N) küpsetatud lihal.



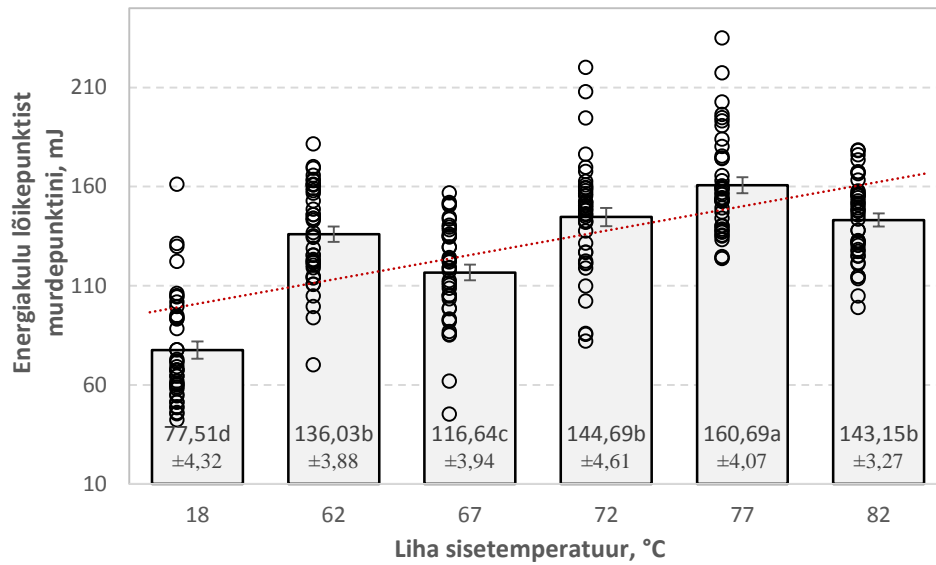
Joonis 19. Sealiha keskmine lõikepunkt (\pm standardviga (se)) sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

Lihaproovide murdepunkti, mille juures täielikult läbibistatakse proovitükk, keskmised väärtused jäid 3,52–5,01 N piiridesse. Erinevalt lõikepunktist, oli murdepunkti väärtustest kõige madalam (3,52 N) 67 °C ja kõrgeim (5,01 N) 72 °C sisetemperatuurini küpsetatud lihal. Samuti olid võrdlemisi madalad ega erinenud statistiliselt oluliselt ($p > 0,05$) toore ja 82 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha murdepunkti näitajad, mis olid vastavalt 3,67 N ja 3,75 N. Suurim murdepunkti väärtuse kasv toimus liha sisetemperatuuri tõusul 67 °C-lt 72 °C-ni. Katsetulemuste lihastesisene varieeruvus oli kõige suurem 77 °C ($se = 0,29$ N) ja kõige väiksem 67 °C ($se = 0,11$ N) juures (joonis 20).



Joonis 20. Sealiha keskmine murdepunkt (\pm standardviga (se)) sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

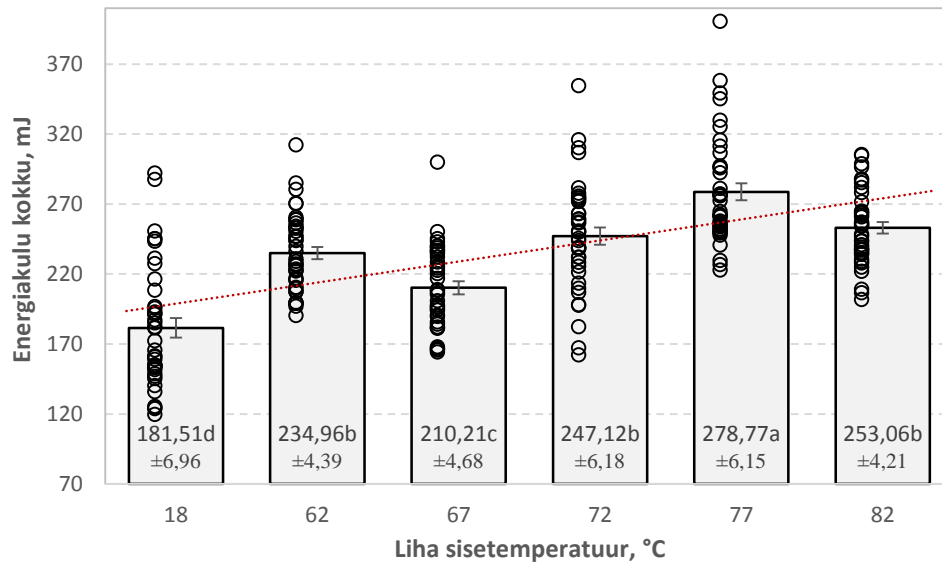
Energiakulu lõikepunktist murdepunktini, mis kulub proovitüki läbilõikamiseks, oli maksimaalne 77 °C juures (160,69 mJ) ja minimaalne toorel lihal (77,51 mJ). Küpsetatud liha suurim energiakulu kasv (28,05 mJ) oli 67 °C ja 72 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha vahel ($p < 0,05$). Termiliselt töödeldud lihast oli kõige madalama energiakuluga lõikepunktist murdepunktini 67 °C-ni küpsetatud lihal (116,64 mJ). Kõige rohkem varieerusid lihastesiseselt 72 °C (se = 4,61 mJ) ja vähem 82 °C-ni (se = 3,27 mJ) küpsetatud liha mõõtmistulemused. 62, 72 ja 82 °C-ni töödeldud liha tulemused ei erinenud statistiliselt oluliselt ($p > 0,05$) (joonis 21).



Joonis 21. Sealiha keskmine energiakulu (\pm standardviga (se)) lõikepunktist murdepunktini sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

Sealiha summaarne koguenergia ehk energiakulu, mis on vajalik proovitüki täielikuks läbi lõikamiseks kõikus sõltuvalt liha sisetemperatuurist 97,26 mJ ulatuses, olles minimaalne toorel lihal (181,51 mJ) ja maksimaalne (278,77 mJ) 77 °C juures (joonis 22).

Üldine energiakulu muutuse tendents oli sarnane energiakuluga lõikepunktist murdepunktini, erinev oli vaid tulemuste kõikumine, mis oli väiksem kogu energiakulu puhul. Termiliselt töödeldud lihaproovidest oli madalaima energiakuluga 67 °C (210,27 mJ) ja kõrgeima 77 °C-ni (278,77 mJ) küpsetatud liha. Statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) erinesid üksteisest 67 °C ja 77 °C-ni töödeldud liha, samuti oli teistest oluliselt erinev ka toore liha väärtus, suurim katsetulemuste varieeruvus leiti 72 °C (se = 6,18 mJ) ja väikseim 82 °C (se = 4,21 mJ) lihal.



Joonis 22. Sealiha läbistamiseks kulunud keskmine koguenergia (\pm standardviga (se)) sõltuvalt selle sisetemperatuurist (o – proovi individuaalne väärtus)

Grujić *et al.* (2015: 63–68) poolt koostatud töös uuriti temperatuuri mõju sealiha reoloogilistele omadustele. Selle katselises osas küpsetati lihatükid 51, 61, 71, 81, 91 ja 100 °C-ni ning määrati Warner-Bratzleri meetodi alusel nende lõiketugevus. Analüüsi tulemused näitasid, sarnaselt käesolevale tööle, et 61, 71 ja 81 °C-ni küpsetatud liha lõikepunkt ei erinenud statistiliselt oluliselt ($p > 0,05$), suurenedes temperatuuri tõustes vaid 1,78 N ulatuses. Lisaks kasvas kogu energiaakulu temperatuuri tõustes, mida võis täheldada ka käesolevas töös.

3.4. Kvaliteedinäitajate vahelised seosed

3.4.1. Liha füüsikaliste ja tehnoloogiliste näitajate vahelised seosed

Temperatuuri ja liha värvuse vahel oli nõrk negatiivne, kuid statistiliselt oluline ($p < 0,05$) seos ($r = -0,169$), seega võib järeldada, et küpsetustemperatuuri tõstmisel muutub liha veidi heledamaks. Küpsetustemperatuuril oli tugev statistiliselt oluline ($p < 0,05$) mõju üldisele ($r = 0,904$) ja vedelikuna eraldunud ($r = 0,748$) küpsetuskaole, mis tähendab seda, et temperatuuri kasvades kaotas liha nii kogumassis kui ka eraldus sealt rohkem vett. Lisaks mõjutas termiline töötlemine liha elektrijuhtivust ($r = -0,921$), mis kinnitab eelnevat tule-

must liha kuivemaks muutumise kohta. Eeltoodud korrelatsioonid olid statistiliselt olulised ($p < 0,05$) (tabel 1).

Termiliselt töödeldud liha elektrijuhtivus oli tugevas negatiivses, statistiliselt olulises, ($p < 0,05$) korrelatsioonis üldise ($r = -0,941$) ja vedelikuna eraldunud ($r = -0,815$) küpsetuskaoga, mis tähendab seda, et küpsetuskaos suurenedes vähenes liha elektrijuhtivus.

Küpsetatud liha pH-väärtus ei mõjutanud oluliselt ühtegi teist füüsikalist ega tehnoloogilist näitajat, mõõdukas statistiliselt oluline ($p < 0,05$) seos oli pH-väärtusel vaid küpsetustemperatuuriga ($r = 0,322$). Katsetulemused näitasid, et küpsetamisel liha pH märkimisväärselt ei muutunud.

Tugev statistiliselt oluline ($p < 0,05$) seos oli ka üldise ja vedelikuna eraldunud küpsetuskaos vahel ($r = 0,913$), mis näitab, et enamus küpsetuskaost moodustab kadu veena.

Analüüsi tulemustest selgus, et toore liha pH-väärtus ja elektrijuhtivus olid tugevas ($r = 0,990$) statistiliselt olulises ($p < 0,05$) seoses. Värvuse seos elektrijuhtivuse ja pH-väärtusega ei olnud märkimisväärne, nende vahel oli nõrk ja statistiliselt mitteoluline seos ($p > 0,05$).

Tabel 1. Sealiha füüsikaliste ja tehnoloogiliste näitajate vahelised seosed ning nende statistiline olulisus (ülevaalt diagonaali on küpsetatud ja allpool toore liha näitajate vahelised seosed)

Kvaliteedi-näitajad	Küpsetustemperatuur, °C	pH	Elektrijuhtivus, mS	Küpsetuskadu, %	Küpsetuskadu vedelikuna, g	Küpsetatud liha mass, g	Värvus
Värvus	-0,169*	0,090	0,131	-0,164	-0,191	-0,250	
Küpsetatud liha mass, g	0,229**	0,116	0,210	-0,110	0,282		
Küpsetuskadu vedelikuna, g	0,748***	0,122	-0,815***	0,913***			
Küpsetuskadu, %	0,904***	0,108	-0,941***				
Elektrijuhtivus, mS	-0,921***	-0,271					-0,208
pH	0,322***		0,990**				-0,267

* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$

Erinevalt käesolevast tööst, leidsid Huang *et al.* (2011) oma uuringus, kus liha küpsetati 25, 50, 60, 80 ja 100 °C-ni, et küpsetatud sealiha värvus ja pH on tugevas positiivses korrelatsioonis liha temperatuuriga. Vaadeldes antud muutusi nende töös temperatuuridel 60–80 °C, siis selles vahemikus muutusid antud väärtused väga vähe, vastavalt 0,7 ja 0,01 ühiku võrra, mida näitasid ka käesoleva töö tulemused.

3.4.2. Liha tekstuuriparameetrite vahelised seosed

Analüüsi tulemustest selgus, et liha küpsetustemperatuur mõjutas statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) peaaegu kõiki termiliselt töödeldud liha tekstuuriparameetreid, kuid seosed oli enamasti mõõdukad ($r = 0,3–0,7$) või nõrgad ($r < 0,3$). Kõige rohkem mõjutas küpsetustemperatuur liha läbilõikamiseks vajalikku koguenergiat ($r = 0,376$), seos oli küll mõõdukas, aga statistiliselt oluline ($p < 0,05$) (tabel 2).

Lisaks mõjutas termiline töötlemine mõõdukalt ka energiakulu lõikepunktini ($r = 0,312$), mis oli samuti statistiliselt oluline ($p < 0,05$). Seega suureneb liha küpsetamise käigus tema läbi lõikamiseks kulutatava energia kogus. Ülejäänud tekstuuri parameetritele oli küpsetamise mõju nõrk. Väikseim ja statistiliselt mitteoluline ($p > 0,05$) oli see termilise töötlemise ja murdepunkti vahel ($r = -0,025$), mis tähendab seda, et lihaskiudude lõplikuks läbilõikamiseks kasutatav jõud ei sõltu liha töötlemiseks kasutatud temperatuurist.

Küpsetamisel tekkinud kadu mõjutas mõõdukalt liha energiakulu lõikepunktini ($r = 0,457$), lõikepunktist murdepunktini ($r = 0,450$) ja kogu energiakulu ($r = 0,489$), nende vaheline korrelatsioon oli statistiliselt oluline ($p < 0,05$). Need tulemused kinnitavad eelnevat väidet, et liha küpsetuskao suurenemisel muutub see tuimemaks ja selle läbilõikamiseks on vajalik suurem energiahulk. Mõõdukas mõju oli küpsetuskaol ka liha esmaseks deformeerimiseks kulunud lõikepunktile ($r = 0,312$), kuid see ei olnud statistiliselt oluline ($p > 0,05$).

Termiliselt töödeldud liha energiakulul lõikepunktini oli mõõdukas positiivne seos kogu energiakuluga ($r = 0,688$) ja lõikepunktiga ($r = 0,643$), mis tähendab seda, et kui juba liha deformeerimiseks kulub energiakogus on suur, siis kulub selle läbilõikamiseks ka enam energiat. Nende tunnuste vaheline seos oli ka statistiliselt oluline ($p < 0,05$).

Küpsetatud liha lõikepunkt oli statistiliselt oluliselt seotud ($p < 0,05$) energiakuluga lõikepunktist murdepunktini, murdepunkti ja kogu energiakuluga, kusjuures viimasega oli seos tugev ($r = 0,840$). Lõikepunktist murdepunktini kuluva energia ja murdepunktiga oli seos mõõdukas (vastavalt $r = 0,669$, $r = 0,401$).

Töödeldud liha murdepunkt oli statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) seotud lõikepunktist murdepunktini kuluva energiaga ($r = 0,492$), murdepunktil oli oluline seos ($p < 0,05$) ka kogu energiakuluga ($r = 0,461$). Energiakulul lõikepunktist murdepunktini ja kogu energiakulu vahel oli tugev positiivne, statistiliselt oluline ($p < 0,05$) korrelatsioon ($r = 0,836$). Eeltoodud on ka loogiline, sest lõikepunktist murdepunktini kuluva energia osakaalu suurenedes tõuseb ka kogu energiakulu.

Toore liha puhul mõjutas energiakulu lõikepunktini kõige enam kogu energiakulu ($r = 0,812$) ja lõikepunkti ($r = 0,856$), seosed olid ka statistiliselt olulised ($p < 0,05$). Lõikepunktist leiti olevat tugev positiivne statistiliselt oluline ($p < 0,05$) seos kogu energiakuluga ($r = 0,802$), mida omakorda mõjutas oluliselt ($p < 0,05$) lõikepunktist murdepunktini kuluv

energia ($r = 0,812$). Ülejäänud toore liha tekstuuri parameetrite vahelised seosed olid mõõdukad ($r = 0,3-0,7$), kuid statistiliselt olulised ($p < 0,05$).

Tabel 2. Tekstuuri parameetrite vahelised seosed ning nende statistiline olulisus (ülevalpool diagonaali on küpsetatud ja allpool toore liha näitajate vahelised seosed)

Kvaliteedi-Näitajad	Küpsetustemperatuur, °C	Energiakulu lõikepunktini, mJ	Lõikepunkt, N	Murdepunkt, N	Energiakulu lp-mp, mJ	Kogu energiakulu, mJ
Küpsetuskadu, %	0,904***	0,457*	0,312	-0,066	0,450*	0,489*
Kogu energiakulu, mJ	0,376***	0,688***	0,840***	0,461***	0,836***	
Energiakulu lp-mp, mJ	0,288***	0,196**	0,669***	0,492***		0,812***
Murdepunkt, N	-0,025	0,202**	0,401***		0,404**	0,473**
Lõikepunkt, N	0,225**	0,643***		0,341*	0,450*	0,802***
Energiakulu lõikepunktini, mJ	0,312***		0,856***	0,362*	0,320*	0,812***

lp – lõikepunkt; mp – murdepunkt; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli madala temperatuuri juures töödeldud sealiha füüsikaliste tehnoloogiliste omaduste ja tekstuuri parameetrite uurimine ning selgitada välja, millise sisetemperatuurini küpsetatud liha oli optimaalsete reoloogiliste omadustega. Analüüsid teostati Eesti Maaülikooli toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia osakonna laboris, kasutades selleks Eesti Standardiameti poolt tunnustatud meetodikaid.

Katselises osas kasutati sea pikimat seljalihast (*Longissimus thoracis*), millest määrati 24 tundi pärast sea tapmist selle kvaliteedinäitajad. Selleks küpsetati lihatükid konstantsel temperatuuril (120 °C) küpsetuskotis 62, 67, 72, 77, ja 82 °C sisetemperatuurini. Termiliselt töötlemiseks kasutatava temperatuuri valikul lähtuti USA Toidu- ja Ravimiameti regulatsioonist, mille kohaselt piisab värske sealiha küpsetamisel 62,8 °C, et tagada selle ohutu tarbimine. Toores lihas määrati värvus, pH-väärtus, elektrijuhtivus, veesidumisvõime, kuivainesisaldus ja lõiketugevus. Termiliselt töödeldud lihal registreeriti samuti selle värvus, pH-väärtus, elektrijuhtivus ja lõiketugevus, kuid lisaks ka üldine küpsetuskadu ja kadu vedelikuna. Saadud tulemusi töödeldi statistikapaketiga SAS ja tabelarvutusprogrammi MS Excel 2013 abil.

Käesolevas töös kasutatud toore sealiha kuivainesisaldus nelja katse lõikes oluliselt ei erinenud, jäädes vahemikku 25,30–27,00%. Lihaproovide veesidumisvõime varieerus sõltuvalt katsest 15,40%, olles vahemikus 57,60–73,00%.

Sealiha värvuse näitaja oli kõrgeim toorel lihal (70,93), mille väärtus erines suuresti termiliselt töödeldud liha omast. Termiliselt töödeldud liha värvused erinesid üksteisest väga vähe, kõrgeim väärtus (15,65) oli näitaja 67 °C ja madalaim (11,95) 72 °C-ni küpsetatud lihal. Sarnaselt värvusele, erines toore liha pH-väärtus küpsetatu omast, olles seejuures kõige madalam (5,38). Lihaskoe pH-väärtus viitab sellele, et töös kasutatud sealiha pH vastas normväärtusele, tegemist ei olnud PSE- ega DFD-lihaga. Küpsetatud liha pH-väärtus kõikus vaid 0,05 ühiku võrra, olles kõrgeim (5,77) 82 °C sisetemperatuuri juures. Sellest võime järeldada, et suurimad muutused liha värvuse ja pH-väärtuse osas olid toimunud enne 62 °C saavutamist, edasisel küpsetamisel näitajad märkimisväärselt ei muutunud.

nud. Liha elektrijuhtivuse väärtus langes lineaarselt temperatuuri tõusuga, olles madalaim (5,55 mS) 82 °C juures ja kõrgeim (11,94 mS) toorel lihal. Keskmise elektrijuhtivuse katsete lõikes kõikus vahemikus 7,51–8,80 mS. Termiliselt töödeldud liha küpsetuskadu kasvas sisetemperatuuri tõustes. Sarnane tendents oli ka vedelikuna eraldunud küpsetuskao puhul.

Tekstuuri parameetritest määrati sealiha lõike- ja murdepunkt, energiakulu lõikepunktini, lõikepunktist murdepunktini ja kogu energiakulu. Keskmise energiakulu lõikepunktini sõltuvalt liha sisetemperatuurist jäi 91,84–118,01 mJ vahemikku, olles madalaim 67 °C ja kõrgeim 77 °C sisetemperatuuri juures.

Termiliselt töödeldud liha lõikepunkti väärtused jäid vahemikku 28,51–38,50 N, olles kõige madalam 67 °C sisetemperatuurini küpsetatud lihal. Toore liha keskmine lõikepunkti väärtus oli madalam kui termiliselt töödeldud lihal (22,80 N). Murdepunkti keskmised väärtused jäid 3,52–5,01 N piiridesse. Kõige madalam oli antud väärtus 67 °C ja kõrgem 72 °C-ni küpsetatud lihal. Suurim murdepunkti väärtuse kasv ilmnis sisetemperatuuri tõusul 67 °C-lt 72 °C-ni.

Energiakulu lõikepunktist murdepunktini oli minimaalne toorel lihal ja maksimaalne 77 °C juures, jäädes vahemikku 77,51–160,69 mJ. Termiliselt töödeldud lihast oli kõige madalama energiakuluga lõikepunktist murdepunktini (116,64 mJ) 67 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha. Sealiha summaarne koguenergia varieerus sõltuvalt sisetemperatuurist 97,26 mJ ulatuses. Kõige väiksem (181,51 mJ) oli kogu energiakulu toore ja suurem (278,77 mJ) 77 °C juures. Termiliselt töödeldud lihaproovidest oli madalaima energiakuluga 67 °C (210,27 mJ) ja kõrgeima 77 °C-ni (278,77 mJ) küpsetatud liha.

Termiliselt töödeldud sealiha tekstuurianalüüsi tulemustest selgus, et kõrgeimad tekstuuri parameetrite näitajad ilmnisid 77 °C-ni küpsetatud lihal, ainult murdepunkti väärtus oli 72 °C juures kõrgem, kõige madalamad lõiketugevuse näitajad esinesid 67 °C-ni küpsetatud lihal. Analüüsi tulemuste põhjal võib järeldada, et kõige sitkem liha saadi selle küpsetamisel 77 °C-ni, kõige paremate reoloogiliste omadustega ja sellest tulenevalt ka kõige õrnem oli 67 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha.

JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

- Sealiha termiline töötlemine mõjutas oluliselt selle füüsikalisi ja tehnoloogilisi omadusi ning tekstuuri parameetreid.
- Suurimad muutused liha värvuse ja pH-väärtuse osas olid toimunud juba 62 °C saavutamisel, edasisel küpsetamisel antud parameetrid märkimisväärselt ei muutunud.
- Katsetulemuste põhjal võib väita, et kõige sitkem liha saadi küpsetades seda 77 C-ni, kõige paremate reoloogiliste näitajatega, seejuures ka kõige õrnem, oli 67 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha.
- Kuna käesolev töö andis vastuse, millise sisetemperatuurini oleks optimaalne sealiha küpsetada, saavutamaks kõrge söömisväärtus, siis edasistel uuringutel tuleks käsitleda liha sisetemperatuuri konstandina ning muuta küpsetustemperatuuri ehk selgitada välja, milline on optimaalne küpsetustemperatuur 67 °C sisetemperatuuri saavutamiseks.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Aaslyng, M.D., Bejerholm, C., Ertbjerg, P., Bertram, H.C., Andersen, H.J.** (2003). Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. – Food Quality and Preference, Vol. 14, No. 4, pp. 277–288.
2. **Boles, J.A.** (2010). Thermal Processing. – Handbook of Meat Processing, pp. 169–184.
3. **Boles, J.A., Pegg, R.** (s.a.). Meat Color [WWW] <http://www.cfs.purdue.edu/FN/fn453/meat%20color.pdf> (23.02.2015).
4. **Christensen, L.B.** (2003). Drip loss sampling in porcine *m. longissimus dorsi*. – Meat Science, Vol. 63, No. 4, pp. 469–477.
5. **Diamba, C.G., Lunden, K., Thomsen, H., Unger, L., Thostrup, L., Frost, M.B., Sørensen, L.B., Kielsgaard, M.** (2007). The influence of temperature on the colour of meat, pp. 1–4.
6. Eesti Vabariigi Standard EVS-ISO 1442:1999. (1999). Liha ja lihatooded: Niiskusesisalduse määramine (põhimeetod) [WWW] http://www.evs.ee/Login/tabid/118/Default.aspx?returnurl=%2fCheckout%2ftabid%2f36%2fscreen%2f57freedownload%2fproductid%2f158260%2fdoclang%2fen%2fpreview%2f1%2fEVS_ISO_1442%3b1999_en_preview.aspx (28.03.2015).
7. Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EÜ) nr. 1099/2009. (2009). Loomade kaitse kohta surmamisel [WWW] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:303:0001:0030:ET:PDF> (28.03.2015).
8. **Feiner, G.** (2006). Meat composition and additives: The protein and fat content of meat. – Meat products handbook: Practical Science and Technology, pp. 3–32.
9. **Frenzel, L.L., Harp, R.M., Lamber, B.D., Sawyer, J.T., Frenzel, M.A.** (2014). Effects of wet aging and temperature on Warner-Bratzler shear force, sensory characteristic and microbial shelf-life of pork loin chops. – The Texas Journal of Agriculture and Natural Resources, Vol. 27, pp. 24–35.
10. **Freudenrich, C.** (s.a). How muscles work [WWW] <http://health.howstuffworks.com/human-body/systems/musculoskeletal/muscle2.htm> (16.03.2015).
11. **Grau R., Hamm R.** (1952). Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Fleisch. Fleischwirtschaft, Bd. 4, S. 295–297.

12. **Grau R., Hamm R.** (1957). Über das Wasserbindungsvermögen des Säugetiermuskles. II Über die Bestimmung der Wasserbindung des Muskles. – *Z. Lebensmittel – Untersuchung und Forschung*, Bd. 15, S. 446–460.
13. **Grujić, R.D., Vujadinović, D.P., Tomović, V.M.** (s.a). Heat treatment influence on rheological properties of pork meat. – *Journal of Hygienic Engineering and Design*, pp. 63–68.
14. **Honikel, K.O., Hamm, R.** (1994). Quality Attribute and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products: Measurement of water-holding capacity and juiciness, Vol. 9, pp. 125–161.
15. **Huang, F., Huang, M., Xu, X., Zhou, G.** (2011). Influence of heat on protein degradation, ultrastructure and eating quality indicators of pork. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 91, No. 3, pp. 443–448.
16. Ingenieurbüro R. Matthäus. (2011^a). Opto Star device. User manual, 20 pp.
17. Ingenieurbüro R. Matthäus. (2011^b). LF-Star device. User manual, 17 pp.
18. Ingenieurbüro R. Matthäus. (2011^c). Scan Star CPU device. User manual, 5 pp.
19. **Kazemi, S., Ngadi, M.O., Gariépy, C.** (2009). Protein denaturation in pork longissimus muscle of different quality groups. – *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 4, No. 1, pp. 102–106.
20. **Kikas, H., Antson, A., Joosu, E., Kiivit, E., Koger, E., Pärn, K., Vetka, V.** (2012). Liha ja lihatooted. – *Kaubanduslane toidukaupade õpik*. Tartu: SA INNOVE. lk. 143–153.
21. **Laack, R.L.J.M.** (1999). Quality Attributes of Muscle Foods: The role of proteins in water-holding capacity of meat, pp. 309–318.
22. **Love, J.D., Pearson, A.M.** (1971). Lipid oxidation in meat and meat products: A review. – *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 48, No. 10, pp. 547–549.
23. **Luciano, F.B., Anton, A.A., Rosa, C.F.** (2007). Biochemical aspects of meat tenderness: a brief review. *Arch. Zootechnia*, Vol. 56, pp. 1–8.
24. **Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R., Delday, M.** (2003). Determinants of meat quality: tenderness. – *Proceedings of the Nutrition Society*, Vol. 62, pp. 337–347.
25. **Merisaar, M.** (1990). Surmakangestuse seosest liha kvaliteediga. – *Surma teooria*. Koost. J. Püttsepp. Tartu: Eesti Teaduste Akadeemia, lk. 62–65.
26. **Moeseke, W.V., Smet, S.D.** (1999). Effect of time of deboning and sample size on drip loss of pork. – *Meat Science*, Vol. 52, No. 2, pp. 151–156.
27. **Murphy, R.Y., Marks, B.P.** (2000). Effect of meat temperature and proteins, texture, and cook loss for ground chicken breast patties. – *Poultry Science*, pp. 99–104.
28. **Nowak, D.** (2011). Enzymes in tenderization of meat: The system of calpains and other systems – a review. – *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, Vol. 61, No. 4, pp. 231–237.

29. **O'Diam, D.M.** (2009). Comparison of slice shear force with warner bratzler shear force as predictors of consumer panel palatability measures in non-enhanced and enhanced pork loin chops. (Magistritöö). The Ohio State University. Department of Animal Sciences. Columbus.
30. **PM42: Liha ressurs ja kasutamine: Sealiha tarbimine inimese kohta.** (andmed uuendatud 01.07.2014). – *Eesti Statistika andmebaas*. [WWW] http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM42&ti=LIHA+RESSURSS+JA+KASUTAMINE&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/06Pellumajandussaaduste_tootmine/04Pellumajandussaaduste_ressurs_ja_kasutamine/&lang=2 (01.05.2015).
31. **Proteolysis.** (*s.a*). Wikipedia. – The Free Encyclopedia [WWW] <http://en.wikipedia.org/wiki/Proteolysis> (25.03.2015).
32. **Pöldvere, A., Tänavots, A.** (2012). Liha kvaliteet ja selle määramise meetodid. – Tervislik toit, lk. 55–62.
33. **Pöldvere, A., Tänavots, A.** (2012^a). Liha kvaliteet. – Eesti Maaülikooli Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut [WWW] <http://www.eau.ee/~alo/liha/kvaliteet/> (03.03.2015).
34. **Pöldvere, A., Tänavots, A.** (2012^b). Sigade rümba ja liha kvaliteet. – Eesti Maaülikooli Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut [WWW] http://www.eau.ee/~alo/liha/sea_liha/ (03.03.2015).
35. **Pöldvere, A., Tänavots, A.** (2012^c). Liha kvaliteedi määramine. – Eesti Maaülikooli Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut [WWW] http://www.eau.ee/~alo/liha/maaramine/?Liha_kvaliteedi_m%C3%A4%C3%A4ramine (28.03.2015).
36. **Püssa, T.** (2014). Liha oksüdatsiooni mehhanismid ning mõju toodete ohutusele ja kvaliteedile. – *Agraarteadus*, Vol. 1, No. 25, lk. 39–47.
37. **Q-PorkChains.** (*s.a*). Driving pigs to Stunning: Consequences of bad pre-slaughter handling [WWW] http://qpc.adm.slu.se/Driving_to_stunning/page_10.htm (25.03.2015)
38. **Roasto, M.** (*s.a*). Toidupatogeenide ja toidumikrobioloogia algkursus. – Eesti Maaülikooli veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut [WWW] <http://toidumikrobioloogiaalgkursus.weebly.com/vee-aktiivsus.html> (02.03.2015).
39. **Safe Food Handling: What you need to know.** – U.S. Food and Drug Administration. (*s.a*). [WWW] <http://www.fda.gov/food/resourcesforyou/consumers/ucm255180.htm#chart> (28.04.2015).
40. **SAS.** (1999). SAS OnlineDoc V8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. [WWW] <http://www.sfu.ca/sasdoc/sashtml/onldoc.htm> (23.04.2015).

41. Savell, J., Miller, R., Wheeler, T., Koochmarai, M., Shackelford, S., Morgan, B., Calkins, C., Miller, M., Dikeman, M., McKeith, F., Dolezal, G., Henning, B., Busboom, J., West, R., Parrish, F., Williams, S. (2013). Standardized WarnerBrazler Shear Force Procedure for Genetic Evaluation [WWW] <http://meat.tamu.edu/research/shear-force-standards/> (26.04.2015).
42. Schaefer, W. (2005). Shorthand formula of a fat triglyceride molekule. – Wikipedia [WWW] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fat_triglyceride_shorthand_formula.PNG (08.05.2015).
43. Science of Slow Cooking. (s.a.). [WWW] http://www.scienceofcooking.com/meat/slow_cooking1.htm (02.03.2015).
44. Soidla, R., Elias, P., Mahla, T. (2004). Toiduainete konserveerimise ja säilitamise alused. Tartu: Halo Kirjastus. 259 lk.
45. Stable Micro System Ltd. 2011. TA.XT*plus*. Getting started guide, 134 pp.
46. Tamm, T. (2013). Lihaveiste liha kvaliteet. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut. Toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia osakond. Tartu.
47. Testo AG. (2006). Testo 205 pH/temperatuur Measuring Instrument. Instruction Manual. Lenzkirch, 14 pp.
48. Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins: Implications on structure and quality of meat products. – Meat Science, Vol. 70, No. 3, pp. 493–508.
49. Water content and water activity: Two factors that affect food safety. (s.a.). Manitoba Agriculture, Food and Rural Development [WWW] http://www.gov.mb.ca/agriculture/food-safety/at-the-food-processor/water-content-water-activity.html#water_activity (02.03.2015).
50. Wenther, J.B. (s.a.). Basics of Meat Science [WWW] <http://www.nassaufoods.com/index.php?content=basicsofmeatscience> (23.02.2015).
51. Volovinskaja V., Kel'man B. (1962). Razrabotka metodov opredelenija vlagopoglosh-haemosti mjasa/Nauch. tr.: VNIIMP.-M., Vyp. XI.-S. 128–138. (vene keeles)
52. Vujadinovic, D., Grujic, R., Tomovic, V., Torbica, A. (2014). Effects of temperature and method of heat treatment on myofibrillar proteins of pork. – Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly, Vol. 20, No. 3, pp. 407–415.

Effect of low temperature thermal treatment on pork rheological and technological properties

Bachelor Thesis for BSc.

Sten Sild

Estonian University of Life Sciences

Institute of Veterinary Medicine and Animal Sciences

Department of Food Science and Technology

Summary

KEY WORDS: PORK (*LONGISSIMUS THORACIS*), LOW TEMPERATURE THERMAL TREATMENT, SHEAR FORCE, RHEOLOGICAL PARAMETERS

The present Bachelor's thesis aim was to study the effect of low temperature thermal treatment on the physical and technological properties as well as on the textural parameters of pork. In addition, the thesis aims at defining the core temperature of pork at which its rheological properties are optimal.

The most important indicators of eating quality are the rheological properties of meat, especially its tenderness. Over the years, meat industries have considered their main priority to be providing products of as high eating quality as possible in order to ensure satisfied consumers. This resulted in the need for working out a method that would enable to measure meat tenderness. The most widespread method that is still in use today was evolved in the beginning of 50s. It is called the Warner-Bratzler method and it defines the rheological properties of meat by measuring the force and energy worn-out on cutting it.

The experimental section of the study used the longest spinal muscle of a pig (*Longissimus thoracis*) to define its quality indicators 24 hours after the pig slaughter. In order to do so, the samples of meat were cooked at constant temperature (120 °C) in a cooking bag up to

core temperatures of 62, 67, 72, 77 and 82 °C. The following parameters were defined in raw meat: colour, pH value, electrical conductivity, water-holding capacity, dry matter content, and meat shear force. In case of thermally treated meat, the overall cooking loss and water loss were also measured in addition to its colour, pH value, conductivity and shear force.

The raw muscle was the darkest (70.93) in colour, being considerably different from the colour indicators of thermally treated meat. Cooked meat differed slightly between various temperatures with the highest indicator being in the samples cooked up to core temperature of 67 °C (15.65) and the lowest in the one cooked up to 72 °C (11.95).

Similarly to the indicator of colour, the pH value of raw meat also differed from that of cooked meat, while being the lowest (5.38). The average ultimate pH value of the pork muscle indicates that the pork used in the research met the normal value and it was neither PSE nor DFD meat. The ultimate pH value of cooked meat varied only by 0.05 units, whereas the highest value was reached at core temperature of 82 °C (5.77). Therefore it can be inferred that more considerable changes in the colour and pH value of meat had occurred before reaching 62 °C, the indicators did not change considerably during further cooking. The electrical conductivity value of pork decreased linearly as the temperature increased, whereas the lowest value (5.55 mS) being at 82 °C and the highest in case of raw meat (11.94 mS). In case of thermally treated meat, the cooking loss increased as the core temperature increased. A similar tendency observed cooking loss in liquid form.

The study determined the following textural parameters: shear and break points of the muscle, amount of energy up to shear point, from shear point to break point, and amount of energy in total. Upon comparing the results of thermally treated pork, the values were the highest in case of meat cooked up to 77 °C, only the value of break point was higher at 72 °C. The indicators were the lowest in case of meat cooked up to 67 °C.

Based on the results of the analysis it can be concluded that meat was the toughest when it was cooked up to 77 °C. However, pork had the best rheological properties, and thus was the most tender, when it was cooked up to core temperature of 67 °C.

The graduation thesis contains 52 pages, 2 tables, 22 figures and 52 references.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Sten Sild

sünniaeg 14.09.1991,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Madala temperatuuriga termilise töötlemise mõju sealihale reoloogilistele ja tehnoloogilistele omadustele“,

mille juhendajad on Arne Põldvere, Alo Tänavots ja Raili Saar,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartus, 25.05.2015

Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

