

S E A D

Madalal temperatuuril töötlemise mõju sealiha reoloogilistele ja tehnoloogilistele omadustele

Pm-knd Arne Pöldvere^{1,3}, pm-dr Alo Tänavots², mag Raili Saar¹, Sten Sild¹ ja tehn-knd Lembit Lepasalu¹

¹EMÜ veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituudi toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia osakond ning

²loomageneetika ja tõuaretuse osakond

³Eesti Tõusigade Aretusühistu

Olulisemateks söömiskvaliteeti iseloomustavateks näitajateks on liha reoloogilised omadused, ennekõike selle õrnus, mis võib oluliselt muutuda kuumtöötamise käigus. Termiline töötlemine on tunnustatud meetod lihatoodete maitsvaks ja ohutuks muutmiseks (Thornberg, 2005) ning Davey jt (1974) määratlevad seda valkude denatureerimiseks liha kuumutamisel piisavalt kõrgel temperatuuril.

Termilisel töötlemisel valgud kaotavad oma loomupärased omadused ja liha muutub sitkemaks, müoglobiini lagunemise tõttu muutub liha värvus – punase värvusega toores liha muutub pruunikamaks. Tarbijate hinnangul omab liha värvus olulist rolli liha valmiduse (Mancini jt, 2005) ja valmistoodete vastuvõetavuse (Thornberg, 2005) seisukohast. Liha termilise töötlemise protsessi saab juhtida, valides soovitava töötlemise kestuse, meetodi ja temperatuuri.

Mitmed läbiviidud uuringud on näidanud, et liha lõplik sisetemperatuur mõjutab oluliselt selle reoloogilisi ja tehnoloogilisi omadusi (Cross jt, 1976; Combes jt, 2004; Barbera jt, 2006; Christensen jt, 2011; Huang jt, 2011; Grujic jt, 2014). Eeltoodud katsetes erinesid aga töötle-

mismeedid, termilise töötlemise ja toote sisetemperatuurid. Gardes jt (1995), Vittadini jt (2005), Danovska-Oziewicz jt (2007) kasutasid liha töötlemisel õhu ja auruga kombineeritud kuumutamist temperatuuridel 180 ja 220 °C. Seevastu Chivaro jt (2009) kasutasid õhu ja auruga kombineeritud kuumutamisel tunduvalt madalamaid temperatuure (100–140 °C). Liha küpsetamisel ahjus kasutatakse tavaliselt madalamaid temperatuure. Lien jt (2002) kuumutasid seakarbonaadi ahjus 176,7 °C ja Grujic jt (2014) 163 ± 2 °C temperatuuril. Töötlemine madalamatel temperatuuridel vähendab küll energiakulu, kuid lõplik liha sisetemperatuur peab tagama toidu ohutuse (Smith jt, 1990).

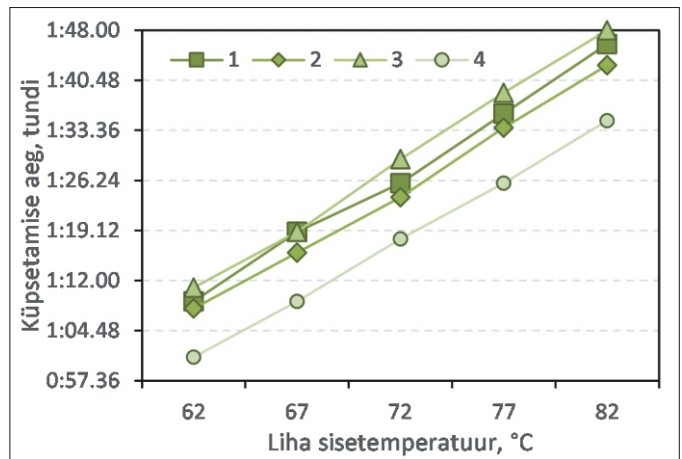
Uuringu eesmärgiks oli hinnata madalal temperatuuril (120 °C) töödeldud sealihaga füüsikalisi ja tehnoloogilisi näitajaid ning struktuuriparameetreid ning selgitada välja, millise sisetemperatuurini küpsetatud sealihaga on optimaalsete reoloogiliste omadustega.

Proovide ettevalmistamine ja kuumtöötlemine. Uuringus kasutatav materjal saadi ristsiduga kasvatava seakasvatuseettevõtte tapamajast. Katsesead tapeti ühesugustes tingimustes vastavalt Euroopa Nõukogu määrusele nr 1099/2009, sigade elusmass oli keskmiselt 100 kg kuue kuu vanuselt. Searümbad jahutati 24 tunni jooksul jahutuskambris, edasisteks analüüsideks eraldati nelja juhusliku searümba selja pikimast lihast (*Longissimus thoracis*) proovitükid 12. seljalüli ja viienda nimmelüli vahelisest osast. Piisava katsematerjali tagamiseks eraldati mõlema rümbapoolse lihased. Saadud proovitükid pandi kilekottidesse ja hoiti jahutuskastis kuni testimiseni. Toore liha kvaliteedinäitajate määramine ja selle termiline töötlemine toimus 24 tundi pärast sea tapmist. Side- ja rasvkoest vabastatud selja pikimast lihast lõigati risti lihaskiududega kuus 30 mm pikkust proovi ning registreeriti nende mass. Viis proovi asetati termiliseks töötlemiseks ettenähtud küpsetuskottidesse. Kõige kauem küpsetatava lihatüki sisse torgati sisetemperatuuri jälgimiseks termopaar ning seejärel kotid suleti ning paigutati 120 °C-ni eelkuumutatud ahju (foto1). Liha kvaliteedinäitajad määrati neljas katseseerias, igas oli vaatluse all üks lihas.

Termiliseks töötlemiseks kasutatava temperatuuri valikul lähtuti USA Toidu- ja Raviameti regulatsioonist, mille kohaselt tagab inimesele kahjulike mikroorganismide hävinemise lihas ja selle ohutu tarbimise sealihaga küpse-



Foto 1. Eelkuumutatud ahju asetatud pakendatud lihatükid (S. Sild)



Joonis 1. Lihaste proovitükkide 1–4 küpsetamiseks kulunud aeg sõltuvalt sisetemperatuurist

tamine 63 °C sisetemperatuurini (U.S. Food and Drug Administration 2015). Proovitükid kuumutati vastavalt 62, 67, 72, 77 ja 82 °C sisetemperatuurini, mille järel registreeriti lihatükkide ja eraldunud vedelikuga küpsetuskottide massid. Pärast kuumtöötlemist jahutati proovid toatemperatuurini ja säilitati külmkapis temperatuuril 4 °C. Järgmisel päeval määrati toatemperatuuril toore liha värvus, pH-väärtus, elektrijuhtivus, veesidumisvõime, kuivainesisaldus ja lõiketugevus, termiliselt töödeldud lihas lisaks eeltoodutele ka üldine küpsetuskadu ning vedeliku kadu.

Lihaste kirjeldus. Kolmest erinevast lihast saadud proovide küpsetamise aeg oli sarnane. Kuid lihase 4 kuumtöötlemine võttis 6–8 minutit vähem aega võrreldes lihasega 2, mis oli tingitud lihaste erinevast läbimõõdust. Samuti saavutas lihas 3 määratud sisetemperatuuri 10–13 minutit hiljem võrreldes lihasega 4 (joonis 1).

Analüüsid tehti Eesti Maaülikooli toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia osakonna laboris, kasutades selleks Eesti Standardiameti poolt tunnustatud meetodikaid.

Termiliselt töödeldud selja pikima lihase **kuivainesisaldus** neljas katses oluliselt ei erinenud, kõikides 1,70% ulatuses, olles väikseim kolmandas (25,30%) ja suurim neljandas (27,00%) proovis (tabel 1). Eeltoodu viitab sellele, et uuritavates lihastes ei esinenud tapajärgset lihaste ebanormaalset metabolismi (PSE-, DFD-liha). Lihaproovide veesidumisvõime varieerus sõltuvalt katsest 15,40%, olles vahemikus 57,60–73,00%.

Küpsetuskadu. Registreeriti lihaproovide mass enne ja pärast termilist töötlemist toatemperatuuril ning arvutati küpsetuskadu. Lisaks kaaluti ka küpsetuskottid koos küpsetamisel eraldunud vedelikuga ning leiti termilisel töötlemisel aurustunud vedeliku osakaal.

pH. Toore ja küpsetatud liha pH-väärtus määrati toatemperatuuril (~21 °C) digitaalse seadmega Testo 205 (Testo Ltd, Alton, GB). Toore liha pH mõõtmised toimusid 24 tundi pärast tapmist ja kuumtöödeldud liha proovide näidud registreeriti jahtunud proovidest.

Veesidumisvõime. Proovide veesiduvus määrati toorest lihast 24 tundi pärast tapmist Grau ja Hammi (1952) pressmeetodiga, mida on täiendanud Volovinskaja ja Kel'man (1962). Meetod põhineb lihast eralduva vee hulga kindlakstegemise printsiibil, selle arvnäitaja väljendatakse protsentides liha massi suhtes.

Tabel 1. Lihaste 1–4 parameetrite kirjeldus

Näitaja	Lihast				Keskmine
	1	2	3	4	
Kuivainesisaldus, %	26,0	26,1	25,3	27,0	26,1
Veesidumisvõime, %	57,6	64,5	66,4	73,0	65,4

Värvus. Proovide värvust mõõdeti toatemperatuuril (~21 °C) digitaalse seadmega Opto-Star (Ingenieurbüro R. Matthäus, Klaus, Germany). Kõikidel lihastel registreeriti mõõtmistulemused liha pinnal.

Elektrijuhtivus. Proovide elektrijuhtivuse määramiseks seadmega LF-Star (Ingenieurbüro R. Matthäus, Klaus, Germany) torgati kaks paralleelset terasest elektroodi lihasesse ja mõõdeti nende vahelist elektrivoolu.

Tekstuur. Toore ja termiliselt töödeldud liha tekstuuriparameetrid määrati pärast lihaproovide 24tunnist jahtumist temperatuuril 4°C. Lihaproovidest valmistati puurpingile kinnitatud 11 mm läbimõõduga proovivõtu toru abil puursüdamikud (kümme proovi kohta), neid lõigati keskkohast risti lihaskiududega Warner-Bratzleri tekstuurianalüsaatoriga TA.XTPlus (Stable Micro System Ltd, Godalming, GB). Tekstuuriparameetrite registreerimiseks kasutati liha määrangute tarvis kohandatud arvuti-programmi (Stable Micro System Ltd 2011).

Statistiline analüüs. Saadud tulemusi töödeldi statistikapaketiga SAS (1999) ja tabelarvutusprogrammi MS Excel 2013 abil. Kõik tulemused on esitatud vähimruutkeskmistena. Nende 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: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Tulemused ja arutelu

Küpsetuskadu. Küpsetuskadu defineeritakse tavaliselt kuumtöötlemise käigus lihast eralduva vedeliku ja lahustuvate ainete kaona, kusjuures peamiseks eralduvaks

komponendiks on vesi (Heymann jt, 1990). Vesi paikneb lihas enamasti lihaskiudude vahel ja lihaskiududes. Termiline töötlemine põhjustab soojuse toimet vee eraldumist lihast müofibrillaarsete valkude denatureerumise tõttu. Termiliselt töödeldud liha küpsetuskadu suurenes sisetemperatuuri tõustes (temp 62 ja 82 °C vastavalt 18,88% ja 31,73%). Sarnane tendents ilmnes ka vedelikuna eraldunud küpsetuskaol, mis näitab, et suurem osa massi vähenemisest oli tingitud vedeliku kaost lihast (vedelikuna eraldunud küpsetuskadu vastavalt 18,17% ja 30,21%) (tabel 2).

Kuumutamisprotsessi käigus suurenes sealihaga küpsetuskadu, mis on vastavuses erinevate autorite varasemate uuringute tulemustega sealihaga (Christensen jt, 2011; Huang jt, 2011), veiselihaga (Obuz jt, 2004) ja jänesealihaga (Combes jt, 2004) osas.

Katsetest selgus, et liha küpsetuskadu hakkas suurenema, st liha kaotas rohkem oma massist, pärast 72 °C sisetemperatuurini jõudmist. Huang jt (2011) andmetel oli küpsetuskadu suurem (18,80 %) liha kuumutamisel 60–80 °C sisetemperatuuri vahemikus. Liha küpsetuskaol muutus erinevatel sisetemperatuuridel oli võrdlemisi ühtlane, kuid suurim (4,41%) oli erinevus 77 ja 82 °C vahel. Küpsetuskaol varieeruvus oli lihastesiseselt väiksem 72 °C ($se = 0,08\%$) ja suurim 67 °C ($se = 1,60\%$) sisetemperatuurini küpsetatud lihal.

Värvus. Kuumtöötlemine avaldas märgatavat mõju liha värvusele, mis on tingitud müoglobiini denatureerimisest lihastes. Toores liha oli värvuse poolest tunduvalt tumedam (70,93) võrreldes 62 °C sisetemperatuurini töödeldud lihaproovidega (15,48). Sisetemperatuuri tõstmine 62 °C-lt 82 °C-ni ei avaldanud olulist mõju liha värvusele (tabel 2). Analoogsed tulemused said ka Huang jt (2011), kes määrasid liha värvust aparaadiga Minolta CR-400 Chroma Meter. Katse käigus kuumutati lihaproove vesivannis algselt liha sisetemperatuurist 25 °C kuni 50 °C-ni, saadud värvuse L^* , a^* ja b^* väärtused erinesid oluliselt. Edasisel sisetemperatuuri suurenemisel 60 °C-st 80 °C-ni, ei esinenud lihaproovide värvuse muutuses mingeid erinevusi, välja arvatud a^* väärtus, mis temperatuuri suurenemisel oluliselt vähenes.

Tabel 2. Erinevate madalate temperatuuridega termiliselt töödeldud sealihaga (selja pikima lihase) kvaliteedinäitajate vähimruutkeskmised (\pm standardviga)

Näitaja	Sisetemperatuur, °C					
	18	62	67	72	77	82
Küpsetuskadu, %		18,88 $\pm 0,92a$	21,44 $\pm 1,60ab$	23,20 $\pm 0,08bc$	27,32 $\pm 1,16c$	31,73 $\pm 1,27d$
Küpsetuskadu vedelikuna, %		18,17 $\pm 0,86a$	20,07 $\pm 1,83ab$	22,02 $\pm 0,28ab$	25,84 $\pm 1,16bc$	30,21 $\pm 1,20c$
Värvus	70,93 $\pm 2,41a$	15,48 $\pm 0,87b$	15,65 $\pm 1,26b$	11,95 $\pm 1,13b$	13,30 $\pm 0,83b$	15,23 $\pm 1,28b$
Lõplik pH	5,38 $\pm 0,03a$	5,72 $\pm 0,01b$	5,74 $\pm 0,03b$	5,75 $\pm 0,02b$	5,74 $\pm 0,02b$	5,77 $\pm 0,03b$
Elektrijuhtivus, mS	11,94 $\pm 0,85a$	9,33 $\pm 0,27b$	8,38 $\pm 0,24bc$	7,88 $\pm 0,31bc$	6,95 $\pm 0,31cd$	5,55 $\pm 0,40d$
WBSF, N	22,80 $\pm 0,75a$	33,25 $\pm 0,74b$	28,51 $\pm 0,74c$	33,41 $\pm 0,85b$	38,50 $\pm 0,84d$	32,83 $\pm 0,65b$

a, b, c – oluliselt erinevad ($P < 0,05$) vähimruutkeskmised samas reas on tähistatud erinevate tähtedega; WBSF – Warner-Bratzleri lõikejõud



Foto 2. Lihase pH-väärtuse määramine seadmega Testo 205 (S. Sild)

Lõplik pH. Madalam liha lõplik pH-väärtus (5,38) mõndeti toores lihas. Kuigi küpsetatud liha pH-väärtus oli ainult 0,34–0,39 ühikut kõrgem, osutusid toore ja küpsetatud liha happesuse erinevused olulisteks ($P < 0,05$) (tabel 2). Dal Bosco jt (2001) ja Huang jt (2011) leidsid samuti, et toore liha kuumtöötlemine avaldab mõju pH-väärtusele, suurendades seda. Huang jt (2011) leidsid, et pH-väärtuse muutused lihas kuumutamisel on tingitud happe-aluse rühmade tasakaalu muutustest selles. Sarnaselt Huangi jt (2011) uurimistulemustega näitas käesolev uuring, et lõplik pH ei erine oluliselt ($P > 0,05$) erinevate liha sisetemperatuuride (62–82 °C) vahel.

Elektrijuhtivus. Liha eleetrijuhtivus sõltub vee kontsentratsioonist lihastes. Katses saadud küpsetuskao tulemused näitasid, et kuumtöötlemine põhjustas vee väljumise lihast, mistõttu lihaproovid kaotasid võime juhtida kuumutamise käigus elektrit ($r = -0,941$) (tabel 3). Leiti oluline erinevus ($P < 0,05$) toore liha elektrijuhtivuse (11,94 mS) ja kõikide termilise töötlemise etappidel küpsetatud liha elektrijuhtivuste vahel. Kõrgema sisetemperatuurini (82 °C) kuumutatud lihaproovid juhtisid märgatavalt vähem elektrit (5,55 mS), võrreldes teiste sisetemperatuurideni kuumutatud proovidega (tabel 2). Kõige rohkem erines elektrijuhtivus (2,61 mS) toore (18 °C) ja 62 °C sisetemperatuurini kuumutatud lihaproovide vahel.

Tekstuur. Mitmed autorid (Bouton jt, 1972; Davey jt, Gilbert, 1974; Huang jt, 2011) märkisid, et liha muutub kuumtöötlemisel sitkemaks kahes temperatuurivahemikus, kuni 60 °C-ni ja temperatuuril 65–80 °C. Katseandmetele tuginedes leiti, et sidekoe ja müofibrillaarsete valkude denatureerumine toimub erinevatel temperatuuridel. Tuleb samuti arvestada, et termilise töötlemise meetod võib mõjutada märgatavalt ka liha õrnust (Huang jt,

2011; Grujic jt, 2014). Katseandmetel avaldas kuumtöötlemine mõju liha tekstuurile. Kõige vähem jõudu kulus toore (22,8 N) ja kõige rohkem 77 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha lõikamiseks. Lihaproovide lõikejõud suurennes 22,80-st 33,25 N-ni ($P < 0,05$) toore liha küpsetamisel sisetemperatuurini 62 °C. Lõikejõud ei erine oluliselt 62, 72 ja 82 °C sisetemperatuurini küpsetatud lihaproovide vahel. Selle märkimisväärne vähenemine toimus 67 °C sisetemperatuuril (28,51 N), kus kõrgeim väärtus saadi temperatuuril 77 °C (38,50 N). Grujic jt (2014) ei leidnud katses 61, 71 ja 81 °C sisetemperatuurini kuumutatud liha tekstuuris muutusi, küll aga esinesid nende andmetel olulised muutused 51, 91 ja 100 °C sisetemperatuuridel.

Liha kvaliteedinäitajate vahelised seosed. Tugev oluline seos ($P < 0,001$) leiti liha keedukao, küpsetamisel tekkiva vedelikukao ja elektrijuhtivuse vahel (tabel 3). Katsetulemused kinnitasid eeltoodut, et mõlemale tunnusele avaldab mõju liha veesisaldus.

Vastupidiselt Huangi jt (2011) uurimistulemustele, kus liha küpsetuskadu oli mõeldukalt või tugevalt ($P < 0,01$) seotud pH, lõikejõu ja värvuse väärtustega, leiti käesolevas uurimuses eespool nimetatud näitajate vahel nõrk mitteoluline seos. Mõeldukas mitteoluline seos ($P > 0,05$) leiti aga küpsetuskao ja liha lõikejõu vahel ($r = 0,312$).

Kokkuvõte

Sealiha termiline töötlemine madalatel temperatuuridel mõjutab oluliselt selle füüsikalisi ja tehnoloogilisi omadusi ning tekstuuriparameetreid.

Liha küpsetuskadu ja elektrijuhtivus muutusid kõikidel küpsetustemperatuuridel, kusjuures nad olid omavahel tugevalt negatiivses seoses, mistõttu võib järeldada, et neid tunnuseid mõjutab liha veesisaldus. Suuremad liha värvuse ja lõpliku pH-väärtuse muutused olid toimunud juba 62 °C sisetemperatuuri saavutamisel, edasisel küpsetamisel need parameetrid märkimisväärselt ei muutunud. Võrreldes toore lihaga oli küpsetatud liha sitkem. Edasine kuumtöötlemine ei näidanud liha tekstuuris muutuste selget suunda, sest olulisemad muutused võivad toimuda madalamatel temperatuuridel.

Kokkuvõttes näitas uuring, et kõige sitkem liha saadi küpsetades seda 77 °C sisetemperatuurini, kõige paremate tehnoloogiliste (reoloogiliste) näitajatega, seejuures ka kõige õrnem, oli aga 72 °C sisetemperatuurini küpsetatud liha.

Artikkel põhineb Sten Silla 2015. a bakalaureusetööl „Madala temperatuuriga termilise töötlemise mõju sealiha reoloogilistele ja tehnoloogilistele omadustele“ ja konverentsi 7th International Conference Biosystems Engi-

Tabel 3. Küpsetatud pikima seljalihase kvaliteedinäitajate vahelised Pearsoni korrelatsioonikoeffitsiendid

	Küpsetuskadu	Küpsetuskadu vedelikuna	Värvus	Lõplik pH	Elektrijuhtivus
Küpsetuskadu vedelikuna	0,913***				
Värvus	-0,164	-0,191			
Lõplik	0,108	0,122	0,090		
Elektrijuhtivus	-0,941***	-0,815***	0,131	-0,271	
WBSF	0,312	0,209	-0,193	-0,080	-0,256

*** – $P < 0,001$

neering 2016 kogumiku artiklil „Effect of heat treatment technological properties of pork“ (A. Põldvere, A. Tänav-
at constant 120 °C temperature on the rheological and ots, R. Saar, S. Sild and L. Lepasalu).
Kirjandusallikad autoritel.