



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022

Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto

Arto Huuskonen ja Katariina Manni (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022

Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto

Arto Huuskonen ja Katariina Manni (toim.)

Kirjoittajat:

Marcia Franco, Lilli Frondelius, Juha Heikkinen, Sanna Hietala, Arto Huuskonen,
Juha Hyvönen, Liisa Keto, Mika Kurkilahti, Ilkka Leinonen, Katariina Manni,
Jaakko Mononen, Marketta Rinne ja Leena Tuomisto



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



MAASEUTU 2020

Viittausohje:

Huuskonen, A. & Manni, K. (toim). 2022. Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 148 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Huuskonen, A., Hietala, S., Keto, L., Hyvönen, J., Leinonen, I. & Manni, K. 2022. Säilörehuvaltaisten ruokintojen vaikutukset kasvavien lihanautojen tuotantotuloksiin, lihan laatuun sekä ympäristökuormitukseen. Julkaisussa: Huuskonen, A. & Manni, K. (toim.). Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 10–27.

Arto Huuskonen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-0938-5675>

Katariina Manni ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-7010-5305>



ISBN 978-952-380-441-8 (Painettu)

ISBN 978-952-380-442-5 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-442-5>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Arto Huuskonen ja Katariina Manni (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisuvuosi: 2022

Kannen kuvat: Marcia Franco (vasen alakulma), Katariina Manni (oikean reunan kolme kuvaa), Leena Tuomisto (vasen yläkulma).

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.omapumu.com/fi/>

Alkusanat

Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto (Rekina) oli Luonnonvarakeskuksen (Luke) toteuttama projekti, joka käynnistyi 1.5.2019 ja päättyi 31.12.2021. Hanke toimi Pohjois-Pohjanmaan alueella tavoitteenaan vähähiilisuuden, resurssitehokkuuden, kilpailukykyyn ja eläinten hyvinvoinnin edistäminen ja yhteensovittaminen naudanlihantuotantoketjussa. Hankkeen toiminta jakaantui neljään työpakettiin, jotka ovat: 1) Vähähiilisen rehuntuotannon ja ruokinnan mallit, 2) Säilörehun lämpenemisen ja pintapilaantumisen hallinta, 3) Lihautojen veden tarve ja juomiskäyttäytyminen ja 4) Tiedotus. Tässä julkaistava raportti kokoaa yhteen hankkeessa toteutettujen tutkimusosioiden tulokset, joiden toivotaan omalta osaltaan palvelevan suomalaisen nautakarjatalouden kehittämistä.

Hanketta rahoitettiin Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta, ja tuki myönnettiin Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen kautta. Hankkeen yksityisrahoittajina toimivat A-Tuottajat Oy, Eastman Chemical Company, HK Scan Finland Oy sekä Snellmanin Lihanjalostus Oy. Hankkeen etenemiseen myötävaikutti ohjausryhmä, joka antoi arvokasta palautetta hankkeen työntekijöille. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Suvi Moilanen ja jäseninä olivat Vesa Hihnala, Heidi Härtel, Marko Jokinen, Erkki Joki-Tokola, Ville Junnila, Kukka Kukkonen, Arja Sepälä ja Risto Välimaa. Hankkeen toteuttajat kiittävät kaikkia rahoittajia, ohjausryhmän jäseniä ja yhteistyökumppaneita erittäin hyvin toimineesta yhteistyöstä.

Vesannolla 30.3.2022

Arto Huuskonen

Luonnonvarakeskus

Tiivistelmä

Arto Huuskonen¹ ja Katariina Manni² (toim.)

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31 A, 71750 Maaninka

² Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

Raportti kokoaa yhteen Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto -hankkeen tutkimusten tulokset. Raportissa käsitellään säilörehuvaltaisten rehuntuotannon ja ruokinnan malleja, säilörehun lämpenemiseen ja pintapilaantumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä kasvavien lihanautojen juomaveden tarvetta ja juomaveden kulutukseen vaikuttavia tekijöitä.

Ensimmäinen artikkeli käsittelee säilörehuvaltaisia rehuntuotannon ja ruokinnan malleja lihanautailoilla. Tutkimuksessa kontrolliruokintana olleella 40 % väkirehutasolla saavutettiin parhaat kasvutulokset, suurimmat teuraspainot ja lihakkaimmat teurasruhot sekä liharotuisilla että maitorotuisilla sonneilla. Vaihtoehtoisissa ruokintamalleissa, joissa ruokinnassa käytettiin enemmän karkearehua, jäätiin selvästi heikompiin tuotantotuloksiin. Hyvä kasvutulos pienensi tuotannon ilmastovaikutusta sekä vähensi tuotettua lihakiloa kohden syntyvien rehevöittävien ja happamoittavien päästöjen määrää. Lihan laadun osalta tutkimuksessa ei saatu näyttöä siitä, että karkearehuvallaisilla ruokinnoilla olisi ollut positiivisia vaikutuksia naudanlihan laatuun. Sen sijaan leikkuuvastemittausten perusteella ulkofilee oli mureinta kontrolliruokintana olleella 40 % väkirehutasolla kasvatetuilla sonneilla.

Toinen artikkeli käsittelee siilojen tiivistämistavan ja säilöntäainekäsittelyiden vaikutuksia sekä niiden yhdysvaikutuksia (vaikuttavatko säilöntäaineet eri tavalla eri tiivistämisvaihtoehdoissa) säilörehujen käymislaatuun, säilöntätappioihin ja rehun jälkilämpenemisherkkyyteen. Ensimmäisestä sadosta korjattu timotein ja nurminadan seoskasvusto säilöttiin 12 litran koesiiloihin käyttäen kolmea erilaista tiivistämismenettelyä: normaali, löyhä sekä normaali tiivistys + lisätiivistys seuraavana päivänä. Säilöntäainekäsittelyitä oli viisi: kontrolli ilman säilöntäainetta, muurahais- ja propionihappopohjainen aine (MH), homofermentatiivinen maitohappobakteeriympäristö (HO), heterofermentatiivinen maitohappobakteeriympäristö (HE) ja suolatyyppinen (Suola) säilöntäaine. Rehuja säilöttiin 3 kuukautta ja ne analysoitiin standardimenetelmin. Raaka-aineen kuiva-ainepitoisuus esikuivauksen jälkeen oli 358 g/kg ja sokeripitoisuus 89 g/kg kuivaainetta, joten se oli kohtuullisen helposti säilöttävää. Rehujen tiivistämisellä ja siilojen sulkemisen viivästyttämisellä ei ollut kovin selviä vaikutuksia rehujen laatuun, joten todennäköisesti pilttisiiloteknikka ei tässä suhteessa jäljittele käytännön olosuhteita riittävästi. Säilöntäaineiden toimintaperiaatteissa ja tuloksissa oli selkeitä eroja. MH rajoitti selvästi käymistä, vähensi valkuaisen hajoamista ja pienensi säilöntätappioita. Myös rehun sulavuus oli MH-rehuissa paras. Suola vähensi etanolin ja lisäsi etikkahapon pitoisuutta kontrolliin verrattuna ja oli tehokas jälkilämpenemisen estäjä.

Kolmannessa artikkelissa käsitellään tilasäilörehujen lämpenemisherkkyyttä ja sen vaikutusta rehun laatuun. Säilörehujen aerobisen pilaantumisen vaikutuksia rehujen laadun muutoksiin selvitettiin keräämällä kolmelta maatilalta näytteitä laakasiiloihin tehdyistä säilörehuista. Rehunäytteistä määritettiin kuiva-aine, pH, sokerit, muurahais-, maito-, etikka-, propioni- ja voihappo, etanoli, ammoniumtyppi, liukoinen typpi, nitraatti, tuhka ja sulavuus sekä mikrobiologinen laatu (hiivat, homeet, bakteerit) ja rehun lämpenemisherkkyys. Lisäksi 15 vuorokauden mittaisen jakson ajan seurattiin ilmalle altistumisen aiheuttamia muutoksia rehun hygieenisessä ja ruokinnallisessa laadussa. Kaikissa kolmessa säilörehussa oli tiloilla havaittu lämpenemistä. Rehut erosivat erityisesti kuiva-ainepitoisuuksiltaan: 306 (Tila 1), 503 (Tila 2) ja 404 (Tila 3) g/kg. Altistettaessa rehuja ilmalle Tilan 1 rehu alkoi lämmetä nopeimmin, sen mikrobiologinen laatu

oli huonoin, käymishappojen määrä laski selvästi, pH nousi ja sulavuus huononi (723 → 679 g/kg ka) selvimmin. Tilojen 2 ja 3 rehuissa edellä mainitut muutokset olivat vähäisiä. Tilalla 1 säilöntäaineen annostelu oli jäänyt valmistajan suositusta pienemmäksi, mikä saattoi osaltaan selittää huonoa säilyvyyttä. Lisäksi kyseinen rehu oli selvästi muita kosteampaa, mikä on hyvä kasvualusta rehua pilaaville mikrobeille. Rehun säilönnässä avainasemassa ovat huolellinen työskentely joka vaiheessa, siilon peittäminen, ilmatiiviys, syöttövaiheessa siisti rehurintama, jossa rehun pöyhiminen minimoidaan ja riittävä syöttönopeus.

Neljäs artikkeli käsittelee lämpökameran hyödyntämistä erityisesti säilörehun lämpenemisen ja pintapilaantumisen havaitsemisessa tilatasolla. Selvityksessä lämpökameralla tehtävien mittausten rinnalla säilörehujen lämpötiloja mitattiin mekaanisella lämpömittarilla. Säilörehuiksi, joista mittauksia tehtiin, valittiin kahden maatilan syötössä olevat säilörehut, jotka olivat alkaneet lämmetä. Lisäksi mittauksia tehtiin Luken Siikajoen koetoiminta-aseman kahdesta eri säilörehusta, joista toisessa oli lämpenemisongelmaa. Lämpökamera osoittautui käyttökelpoiseksi apuvälineeksi aumaan ja laakasiilon varastoidun säilörehun lämpötilan seurannassa, kun halutaan saada yleiskuva rehuvarastossa mahdollisesti esiintyvistä lämpötilavaihteluista. Tehtyjen mittausten ja saatujen tulosten perusteella lämpökamera ei kuitenkaan osoittautunut kovinkaan tarkaksi apuvälineeksi rehun todellisen lämpötilan mittaamisessa, vaan tulokset olivat vain suuntaa antavia ja enemmänkin kertoivat mahdollisista lämpötilojen vaihteluista rehuvarastossa. Lämpökameralla tehdyt mittaukset antoivat lähes systemaattisesti matalampia lämpötiloja verrattuna mekaanisella lämpömittarilla tehtyihin mittauksiin. Lämpökamerakuvien avulla on kuitenkin helppo visuaalisesti luoda kokonaiskäsitys rehun lämpötilavaihteluista, vaikka saatujen tulosten valossa lämpötilalukemat olivat enemmänkin suuntaa antavia. Tarkempien lämpötilojen mittaamiseen kannattaa käyttää mekaanista lämpömittaria. Lisäksi artikkelin lopussa on kuvaukset kolmesta menetelmätestauksesta maatilamittakaavan säilörehun säilönnässä: Säilöttävän rehun seassa olevien epäpuhtauksien vaikutus säilörehun säilönnässä, laakasiilojen reunojen tiivistämistapojen vertailu ja lyhyesti näkemyksiä penetrometrin käytöstä rehun tiiviiden mittaamisessa.

Viides artikkeli on kirjallisuuskatsaus, jonka tavoitteena oli koota tietoa kasvavien lihanautojen vedenkulutuksesta, juomiskäyttäytymisestä ja riittävästä vedensaannista. Kasvavien lihanautojen vedenkulutukseksi on kirjallisuudessa raportoitu 16–42 litraa vuorokaudessa. Eläimeen itseensä, ympäristöön sekä ruokintaan, veden laatuun ja hoitoon liittyvät tekijät vaikuttavat vedenkulutukseen. Kasvavien lihanautojen vedenkulutusta ja vedentarvetta on mallinnettu useissa tieteellisissä julkaisuissa, mutta ulkomaisilla aineistoilla tehnyt mallinnukset eivät välttämättä sovellu suomalaisen naudanlihan tuotannon tarpeisiin. Nautojen luontainen tapa on juoda vapaasta veden pinnasta. Vesialtaasta juotettuna naudat juovat 3–10 kertaa vuorokaudessa ja käyttävät juomiseen aikaa 2–10 minuuttia/vrk. Juomakupista juotettuna juomiskertojen lukumäärä on suurempi ja juomiseen käytetty aika pidempi. Veden saannin rajoittaminen heikentää merkittävästi nautojen hyvinvointia: eläinten käyttäytymisessä ja fysiologiassa ja tapahtuu muutoksia. Lisäksi rehun syönti vähenee ja maitotuotos pienenee. Nauta ei pysty täysin kompensoimaan harvoin tapahtuvaa juottoa juomalla kerralla suurempia määriä, koska eläimen anatomia (pötsin tilavuus) asettaa fysiologisen rajan kerralla juodun veden määrälle.

Kuudes artikkeli käsittelee osiota, jossa mitattiin ja mallinnettiin juomaveden kulutusta kasvavilla sonneilla suomalaisissa olosuhteissa. Aineisto kerättiin osana kahta ruokintakoetta, jotka tehtiin Luonnonvarakeskuksen Ruukin tutkimuspihatossa. Juomaveden keskimääräinen vuorokausikulutus eläintä kohden vaihteli noin viidestä litrasta runsaaseen 20 litraan. Suuremmat eläimet kuluttivat enemmän vettä kuin pienet. Ulkoisista tekijöistä veden kulutukseen vaikuttivat voimakkaimmin ympäristön lämpötila ja rehun kuiva-ainepitoisuus. Vedenkulutus nousi lämpötilan noustessa ja rehun kuiva-ainepitoisuuden noustessa. Kokeessa havaittiin myös, että

kuitu- ja valkuaispitoisuuden lisääntyminen ruokinnassa lisäsivät hieman veden juontia. Lisäksi aika vesikuppien puhdistamisesta näytti vaikuttavan hieman juodun veden määrään: mitä pidempi aika vesikuppien pesusta oli kulunut, sitä pienempi oli juomaveden kulutus.

Seitsemännessä artikkelissa esitellään tulokset kokeesta, jossa selvitettiin juomapaikkamitoituksen vaikutusta nuorten sonnien vedenkulutukseen, rehun syöntiin ja juomiskäyttäytymiseen. Koe tehtiin eristämättömässä tutkimuspihatossa kahdessa betonipohjaisessa osittain kuivitetussa karsinassa. Molemmissa karsinoissa oli 35 maitorotuista sonnia, jotka olivat kokeen alkuaessa keskimäärin 5,7 kk:n ikäisiä ja 230 kg:n painoisia. Koe kesti 48 vuorokautta. Koekäsittelyt olivat: A. 2 juomakuppia karsinassa eli 1 kuppi per 17,5 eläintä (lainsäädännön minimivaatimus), B. 1 juomakuppi karsinassa eli 1 kuppi per 35 eläintä (lainsäädännön alittava mitoitus) ja C. 5 juomakuppia karsinassa eli 1 kuppi per 7 eläintä (lainsäädännön minimin ylittävä mitoitus). Tulosten tilastollinen analyysi tehtiin koekäsittelyjen A ja B välillä, koska koekäsittelyn C aikana ilmeni ongelmia kokeen suorituksessa. Koekäsittelyjen (1 kuppi/35 eläintä ja 1 kuppi/17,5 eläintä) välillä ei ollut eroa vedenkulutuksessa (9,7 l/vrk/eläin), rehun syönnissä (6,2 kg ka/eläin/vrk) tai juomisajassa (165 s/eläin/vrk). Vesiaterioiden lukumäärä vuorokaudessa sonnia kohden oli pienempi (6,6 vs. 8 kpl) ja juomakupilla kaikkiaan vietetty aika lyhyempi (9,0 vs. 12,2 min/eläin/vrk) käsittelyllä 1 kuppi/35 eläintä kuin käsittelyllä 1 kuppi/17,5 eläintä. Huomioiden, että kokeessa käytettiin nuoria eläimiä, vuodenaika oli viileä ja että juomavesi tarjottiin altaasta, kokeen tulokset voivat viitata siihen, että juomapaikkamitoitus 1 kuppi/35 eläintä on riittämätön lihanaudoilla.

Asiasanat: naudanlihantuotanto, ruokinta, säilörehu, säilöntä, rehuhävikki, ympäristövaikutukset, lihan laatu, juomavesi, mallinnus

Sisällys

1. Säilörehuvaltaisten ruokintojen vaikutukset kasvavien lihanautojen tuotantotuloksiin, lihan laatuun sekä ympäristökuormitukseen	10
1.1. Johdanto.....	11
1.2. Aineisto ja menetelmät.....	11
1.2.1. Koepaikka ja eläimet	11
1.2.2. Koeruokinnat.....	12
1.2.3. Rehunäytteiden otto, esikäsittely ja analysointi	13
1.2.4. Koe-eläinten punnitukset, teurastus ja ruhon laatu.....	13
1.2.5. Lihan laatuanalyysit.....	14
1.2.6. Tuotannon ympäristövaikutukset	15
1.2.7. Tulosten tilastollinen käsittely	15
1.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	15
1.3.1. Koerehut.....	15
1.3.2. Rehujen syönti, ravintoaineiden saantia ja tuotantotulokset.....	17
1.3.3. Lihan laatu	21
1.3.4. Tuotannon ympäristövaikutukset	23
1.4. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	24
1.5. Viitteet	25
2. Tiivistämisen ja säilöntäaineiden vaikutus nurmisäilörehun säilönnälliseen laatuun	28
2.1. Johdanto.....	29
2.2. Aineisto ja menetelmät.....	30
2.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	33
2.3.1. Raaka-aineen ominaisuudet.....	33
2.3.2. Tiivistämistapojen vaikutukset	34
2.3.3. Säilöntäaineiden vaikutukset	36
2.4. Johtopäätökset	39
2.5. Viitteet	40
3. Tilasäilörehujen lämpenemisherkkyys ja sen vaikutus rehun laatuun	41
3.1. Johdanto.....	42
3.2. Aineisto ja menetelmät.....	43
3.2.1. Maatiloilta kerätyt säilörehut.....	43
3.2.2. Aerobisen stabiilisuuden ja säilöntähävikin määrittäminen	45
3.2.3. Tilastollinen analyysi.....	46

3.3.	Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	46
3.3.1.	Tilasäilörehut.....	46
3.3.2.	Säilörehujen lämpötilat laakasiilossa sekä koostumus ja säilönnällinen laatu.....	49
3.3.3.	Aerobinen stabiilisuus.....	51
3.3.4.	Ilmalle altistumisen vaikutus rehujen lämpötilaan ja laatuun.....	52
3.4.	Johtopäätökset.....	57
3.5.	Viitteet.....	58
4.	Lämpökameran käyttö säilörehun pintapilaantumisen havaitsemisessa ja menetelmätestauksia maatilamittakaavan säilörehun säilönnässä.....	59
4.1.	Johdanto.....	60
4.2.	Aineisto ja menetelmät.....	61
4.3.	Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	63
4.3.1.	Taustatietoja.....	63
4.3.2.	Tila 1.....	63
4.3.3.	Tila 2.....	68
4.3.4.	Luke 1.....	73
4.3.5.	Luke 2.....	76
4.4.	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	77
4.5.	Menetelmätestauksia maatilamittakaavan säilörehun säilönnässä.....	78
4.5.1.	Rehun seassa olevien epäpuhtauksien vaikutus säilönnässä.....	78
4.5.2.	Laakasiilon reunojen tiivistämistapojen vertailu.....	83
4.5.3.	Penetrometrin käyttö rehun tiiviyden mittaamisessa.....	85
4.6.	Viitteet.....	86
5.	Kasvavien lihanautojen veden kulutus – kirjallisuuskatsaus.....	87
5.1.	Tausta ja tavoitteet.....	88
5.2.	Elimistön vesitasapaino.....	88
5.3.	Juomaveteen liittyvät määräykset ja suositukset.....	88
5.4.	Mitattu vedenkulutus ja siihen vaikuttavat tekijät.....	90
5.5.	Vedenkulutuksen mallintaminen.....	94
5.6.	Juomiskäyttäytyminen.....	97
5.7.	Eläinten lukumäärä juomapaikkaa kohden.....	100
5.8.	Veden saannin rajoittaminen.....	101
5.9.	Juomaveden laatu.....	102
5.10.	Juomaveden lämpötila.....	105
5.11.	Juoma-altaan ominaisuudet.....	107

5.12. Viitteet	108
6. Kasvavien sonnien juomaveden kulutuksen mallintaminen.....	114
6.1. Tausta ja tavoitteet.....	115
6.2. Aineisto ja menetelmät.....	115
6.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	119
6.4. Johtopäätökset	122
6.5. Viitteet	122
7. Juomapaikkamitoituksen vaikutus nuorten sonnien vedenkulutukseen, rehun syöntiin ja juomiskäyttäytymiseen	124
7.1. Tutkimuksen tausta ja tarkoitus	125
7.2. Aineisto ja menetelmät.....	126
7.2.1. Eläimet ja ruokinta	126
7.2.2. Koejärjestely ja koekäsittelyt.....	128
7.2.3. Mittaukset.....	130
7.2.4. Aineiston käsittely ja tilastolliset analyysit.....	131
7.3. Tulokset	134
7.3.1. Ympäristön lämpötila.....	134
7.3.2. Juomaveden lämpötila	134
7.3.3. Juomaveden kulutus, rehun syönti ja päiväkasvu.....	136
7.3.4. Juomiskäyttäytyminen	138
7.3.5. Juomaveden kuppikohtainen kulutus	143
7.4. Tulosten tarkastelu	144
7.5. Johtopäätökset	146
7.6. Viitteet	147

1. Säilörehuvaltaisten ruokintojen vaikutukset kasvavien lihanautojen tuotantotuloksiin, lihan laatuun sekä ympäristökuormitukseen

Arto Huuskonen¹, Sanna Hietala², Liisa Keto³, Juha Hyvönen⁴, Ilkka Leinonen⁵ ja Katariina Manni³

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31A, 71750 Maaninka

² Luonnonvarakeskus (Luke), Paavo Havaksentie 3, 90570 Oulu

³ Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

⁴ Luonnonvarakeskus (Luke), Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi

⁵ Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa säilörehuvaltaisia rehuntuotannon ja ruokinnan malleja suomalaisille lihanautojen loppukasvatustiloille. Tutkimus sisälsi kaksi ruokintakoetta, joista ensimmäisessä oli liharotuisia angus- ja simmental-sonneja ja jälkimmäisessä maitorotuisia holstein- ja ayrshire-sonneja. Molempien kokeiden alussa sonnit jaettiin rodun perusteella kolmelle koeruokinnalle. Kontrolliruokintana kokeessa oli tyyppillinen loppukasvatettavien sonnien ruokinta, joka sisälsi nurmisäilörehua (600 g/kg ka), litistettyä ohraa (385 g/kg ka) ja kivennäisvitamiinilisän (15 g/kg ka). Tätä ruokintaa verrattiin kahteen vaihtoehtoiseen malliin, joissa maksimoitiin nurmen käyttöä. Näissä vaihtoehtoisissa ruokinnoissa simuloitiin tilannetta, jossa rehut tuotetaan tehokkaalla nurmikierrolla ja suojaviljalla, joka korjataan joko puituna rehuviljana tai kokoviljasäilörehuna. Simuloinnissa viljaa viljeltiin vain nurmen uudistamiseen tarvittava määrä ja kaikki tuotettu rehu käytettiin lihanautojen ruokinnassa. Ruokinnassa, jossa vilja korjattiin puituna, oli nurmisäilörehua 850 g/kg ka, litistettyä ohraa 135 g/kg ka ja kivennäisvitamiiniseosta 15 g/kg ka. Korjattaessa suojavilja kokoviljana, sonnien appeessa oli nurmisäilörehua 685 g/kg ka, ohrakokoviljasäilörehua 300 g/kg ka ja kivennäisvitamiiniseosta 15 g/kg. Sonnit saivat tutkimussuunnitelman mukaisia seosrehuja vapaasti. Jälkimmäisestä kokeesta valittiin 35 holstein- ja 30 ayrshire-sonnia lihan laatuanalyysiin, joissa ulkofilenäytteestä analysoitiin pH, marmoroituminen, kemiallinen koostumus, väri, leikkuuvaste ja aistinvarainen laatu. Molempien ruokintakokeiden osalta laskettiin kokeen aikana tuotetun naudanlihan ilmastovaikutus sekä rehevöittävät ja happamoittavat päästöt.

Havaitut tuotantotulokset olivat yhdenmukaisia molemmissa ruokintakokeissa. Tutkimuksessa kontrolliruokintana olleella 40 % väkirehutasolla saavutettiin parhaat kasvutulokset, suurimmat teuraspainot ja lihakkaimmat teurasruhot sekä liharotuisilla että maitorotuisilla sonneilla. Vaihtoehtoisissa ruokintamalleissa, joissa ruokinnassa käytettiin enemmän karkearehua, jäätiin selvästi heikompiin tuotantotuloksiin. Hyvä kasvutulos pienensi tuotannon ilmastovaikutusta sekä vähensi tuotettua lihakiloa kohden syntyvien rehevöittävien ja happamoittavien päästöjen määrää. Lihan laadun osalta tässä tutkimuksessa ei saatu näyttöä siitä, että karkearehuvaltaisilla ruokinnoilla olisi ollut positiivisia vaikutuksia naudanlihan laatuun. Sen sijaan leikkuuvastemittausten perusteella ulkofilee oli mureinta kontrolliruokintana olleella 40 % väkirehutasolla kasvatetuilla sonneilla.

Asiasanat: naudanlihantuotanto, ruokinta, säilörehu, ympäristövaikutus

1.1. Johdanto

Naudanlihantuotannolla on merkittäviä ilmasto- ja ympäristövaikutuksia (Hietala ym. 2021). Tuotantomenetelmät ja ruokinnan koostumus vaikuttavat nautojen metaanipäästöihin (Johnson & Johnson 1995, Steinfeld ym. 2006). Lisäksi intensiivinen nautakarjatalous aiheuttaa ravinnehävikkejä (Nousiainen ym. 2011). Usein nautojen rehuannokset sisältävät tyypeä ja fosforia yli eläimen tarpeen aiheuttaen ravinnehävikkiä, kun ylimääräiset ravinteet eritetään sonnan ja virtsan kautta (Jonker ym. 2002, Ondersteijn ym. 2002, Dou ym. 2003). Ruokinnan ympäristövaikutuksia arvioitaessa tulee huomioida myös rehuntuotannon aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Tanskalaisen tutkimuksen mukaan nurmisäilörehun tuotannosta aiheutuva hiilijalanjälki on satotasoon suhteutettuna selvästi pienempi kuin rehuohralla (Mogensen ym. 2014).

Nurmenviljely on yksi suomalaisen nautakarjatalouden vahvuus. Nurmeen perustuva nautakarjatalous voi merkittävässä määrin hyödyntää paikallisia tuotantoresursseja varsinkin alueilla, joilla viljanviljelyn kannattavuus on heikkoa tai joilta ei löydy viljanviljelyyn suotuisia alueita. Lisäksi nurmituotannolla on merkittäviä ympäristöhyötyjä (Virkajärvi & Järvenranta 2018).

Jos käytettävissä oleva peltopinta-ala riittää vain ruokinnassa tarvittavan nurmisäilörehun tuottamiseen, viljaa tarvitaan ainoastaan nurmen uudistamiseen, jos uusi nurmi perustetaan suoja-tilaan. Mikäli vilja korjataan nautojen rehuksi, korjuu voidaan tehdä joko puimalla tai kokoviljasäilörehuksi. Kokoviljasäilörehuksi korjuun etuna on, että se voidaan tehdä nurmenkorjuuseen tarkoitetulla kalustolla kertakorjuuna. Lisäksi ympäristöä kuormittava viljan kuivaus jää pois, mikäli puitu vilja säilöittäisiin kuivana.

Tulevaisuuden tavoitteena tulisi olla rehuntuotanto ja ruokinta, jossa nautojen ruokinnassa käytettäisiin mahdollisimman vähän suoraan ihmiselle kelpaavia ruokakasveja rehuksi (Godfray ym. 2010). Käytännössä tämä tarkoittaa Suomen olosuhteissa nurmen maksimaalista hyödyntämistä nautaketjussa. Tähän liittyen tarvitaan ratkaisumalleja nurmea tehokkaasti hyödyntävistä ruokinnoista ja tuotannon ympäristövaikutusten mallintamista.

Karkearehualtaisilla ruokinnoilla on joissakin aikaisemmissa tutkimuksissa osoitettu olevan positiivisia vaikutuksia naudanlihan laatuun, kuten makuun ja väriin (Priolo ym. 2001, Caplis ym. 2005). Jos nämä pystyttäisiin todentamaan, se toisi edelleen lisäarvoa nurmirehualtaisesti tuotetulle naudanlihalle.

Resurssitehokas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto -hankkeen (Rekina) yhtenä keskeisenä tavoitteena oli tuottaa säilörehualtaisia rehuntuotannon ja ruokinnan malleja suomalaisille lihanautojen loppukasvatustiloille. Tavoitteena oli löytää ruokintavaihtoehtoja, jotka tukevat ympäristöstävällistä naudanlihantuotantoa. Rehuntuotannon ja ruokinnan tarkastelussa vertailukohdaksi otettiin tyypillinen suomalainen ruokintatapa, jossa noin 40 % loppukasvatetavan naudan rehuannoksen kuiva-aineesta on viljaväkirehua ja loppuosa nurmisäilörehua. Tätä ruokintaa verrattiin vaihtoehtoisiiin ruokintoihin, joissa maksimoitiin nurmen käyttö ja tilan rehuomavaraisuus. Näissä vaihtoehtoisissa ruokinnoissa rehut tuotettiin tehokkaalla nurmikierrolla ja suojaviljalla, joka korjattiin joko puituna rehuviljana tai kokoviljasäilörehuna.

1.2. Aineisto ja menetelmät

1.2.1. Koepaikka ja eläimet

Tutkimus sisälsi kaksi erillistä ruokintakoetta, jotka tehtiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Siikajoen koetoiminta-aseman tutkimuspihatossa. Ensimmäinen koe (Koe 1) alkoi tammikuussa

2020 ja päättyi elokuussa 2020. Kokeessa oli 53 angus-rotuista (Ab) ja 52 simmental-rotuista (Si) sonnia. Toinen koe (Koe 2) alkoi puolestaan tammikuussa 2021 ja päättyi lokakuussa 2021. Tässä kokeessa koe-eläiminä oli 69 holstein-rotuista (Hol) ja 36 ayrshire-rotuista (Ay) sonnia.

Liharotuiset eläimet hankittiin yksityisiltä emolehmiätiloilta ja maitorotuiset sonnit välikasvattamosta. Kaikki eläimet tulivat A-Tuottajat Oy:n eläinvälityksen kautta. Ruokintakokeen alussa liharotuiset Ab- ja Si-sonnit olivat keskimäärin 285 ($\pm 18,6$) ja 277 ($\pm 15,8$) vuorokauden ikäisiä ja painoivat 417 ($\pm 50,7$) ja 447 ($\pm 61,3$) kg. Maitorotuiset Hol- and Ay-sonnit olivat kokeen alussa keskimäärin 231 ($\pm 6,2$) ja 234 ($\pm 9,5$) vuorokauden ikäisiä ja painoivat 298 ($\pm 30,0$) and 296 ($\pm 23,6$) kg.

Molempien kokeiden alussa sonnit jaettiin viiden eläimen ryhmäkarsinoin, joissa oli molempia rotuja. Karsinoiden pituus oli 10 m ja leveys 5 m. Karsinassa oli siten tilaa 10 m² eläintä kohden. Karsina-alue muodostui lantakäytävästä ja kuivitetusta makuualueesta. Makuualueen koko oli 5 × 5 m, jolloin eläintä kohti oli 5 m² kuivitetua makuualueetta. Lantakäytävät tyhjennettiin kokeen aikana keskimäärin kaksi kertaa viikossa, ja samalla lisättiin kuiviketta makuualueelle (turvetta kerran ja olkea kaksi kertaa viikossa). Makuualueet tyhjennettiin talvella noin kahden kuukauden ja kesällä noin kolmen kuukauden välein.

1.2.2. Koeruokinnat

Molempien kokeiden alussa sonnit jaettiin rodun perusteella kolmelle koeruokinnalle (seitsemän karsinaa ja 35 sonnia/koeruokinta). Kontrolliruokintana kokeessa oli tyypillinen loppukasvatettavien sonnien ruokinta, joka sisälsi nurmisäilörehua (600 g/kg ka), litistettyä ohraa (385 g/kg ka) ja kivennäis-vitamiinilisän (15 g/kg ka). Tätä ruokintaa verrattiin kahteen vaihtoehtoiseen malliin, joissa maksimoitiin nurmen käyttöä. Näissä vaihtoehtoisissa ruokinnoissa simuloitiin tilannetta, jossa rehut tuotetaan tehokkaalla nurmikierrolla ja suojaviljalla, joka korjataan joko puituna ja kuivattuna rehuviljana tai kokoviljasäilörehuna. Simuloinnissa viljaa viljeltiin vain nurmen uudistamiseen tarvittava määrä ja kaikki tuotettu rehu käytettiin lihanautojen ruokinnassa. Ruokinnassa, jossa vilja korjattiin puituna, oli nurmisäilörehua 850 g/kg ka, litistettyä ohraa 135 g/kg ka ja kivennäis-vitamiiniseosta 15 g/kg ka. Korjattaessa suojavilja kokoviljana, sonnien appeessa oli nurmisäilörehua 685 g/kg ka, ohrakokoviljasäilörehua 300 g/kg ka ja kivennäis-vitamiiniseosta 15 g/kg. Tulostaulukoissa ja tuloksia raportoitaessa koeruokinoista käytetään seuraavia lyhenteitä:

1. Ruokinta 1. Nurmisäilörehu (600 g/kg ka, litistetty ohra (385 g/kg ka) ja kivennäis-vitamiiniseos (15 g/kg ka) = keskimääräinen väkirehu = KV
2. Ruokinta 2. Nurmisäilörehu (850 g/kg ka, litistetty ohra (135 g/kg ka) ja kivennäis-vitamiiniseos (15 g/kg ka) = matala väkirehu = MV
3. Ruokinta 3. Nurmisäilörehu (685 g/kg ka, ohrakokoviljasäilörehu (300 g/kg ka) ja kivennäis-vitamiiniseos (15 g/kg ka) = ei väkirehua = EV

Koesuunnitelman mukaiset seosrehut valmistettiin seosrehuvaunulla (Trioliet, 10 m³), josta rehu jaettiin ruokintakaukaloihin (GrowSafe Systems). Jokaisessa karsinassa oli kaksi ruokintakaukaloa, jotka mahdollistivat yksilökohtaisen rehun kulutuksen seurannan. Eläinten automaattinen tunnistus perustui elektronisiin korvamerkkeihin. Eläimet saivat tutkimussuunnitelman mukaista seosrehua vapaasti eli ruokintakaukaloissa oli rehua jatkuvasti tarjolla. Ruokintakaukalot tyhjennettiin vanhasta rehusta kesäkauden aikana kerran päivässä ja talvikauden aikana noin kaksi kertaa viikossa. Vettä kaikki eläimet saivat vapaasti juomakupeista, joita oli yksi jokaisessa karsinassa.

Kokeessa käytettiin nurmisäilörehuna timoteisäilörehua, joka korjattiin useammalta eri lohkolta. Ruokintakokeen aikana käytössä oli sekä ensimmäisen että toisen korjuukerran satoja. Nurmisäilörehu niitettiin niittomurskaimella (Elho 280 Hydro Balance) ja korjattiin tarkkuussilppurilla (Lely Storm 130 P). Ohrakokoviljasäilörehun lajikkeena oli Wolmari. Ohrakokoviljasäilörehu korjattiin kasvuston taikinatuleentumisvaiheessa pystykasvustosta suoraniittopäällä varustetulla ajosilppurilla (Claas Jaguar 970). Kasvuston niittokorkeus oli noin 10 cm. Säilöntäaineena sekä nurmi- että kokoviljasäilörehulla oli muurahaishappopohjainen AIV Ässä, jota annosteltiin 5 litraa tonnille tuoretta ruohoa. Säilörehut varastoitiin laakasiiloihin. Väkirehuna käytetty ohra puitiin leikkuupuimurilla, kuivattiin noin 13 % kosteuspitoisuuteen, varastoitiin kokonaisina jyvinä ja litistettiin ennen ruokintaa.

1.2.3. Rehunäytteiden otto, esikäsitely ja analysointi

Nurmi- ja kokoviljasäilörehusta kerättiin seosrehun teon yhteydessä näytteitä. Säilörehunäytteet varastoitiin pakastimessa -20 °C lämpötilassa. Kerätyt osanäytteet yhdistettiin ruokintajaksoittaisiksi analyysinäytteiksi. Yhden ruokintajakson kesto oli keskimäärin 28 vuorokautta. Ohraväkirehun ja kivennäis-vitamiiniseoksen analyysinäytteenä käytettiin useamman ruokintajakson aikana kerätyistä osanäytteistä yhdistettyjä kokonaisnäytteitä. Rehujen kemiallinen koostumus analysoitiin Luken laboratoriossa Jokioisilla, ja säilörehunäytteiden säilönnällinen laatu määritettiin Valio Oy:n laboratoriossa Seinäjoella.

Rehujen primäärinen kuiva-aine määritettiin lämpökaapissa (105 °C, 20 h). Säilörehun kuiva-aine korjattiin Huidan ym. (1986) kuvaamalla menetelmällä haihtuvien yhdisteiden (maitohappo, haihtuvat rasvahapot ja ammoniakki) osalta. Tuhkapitoisuus saatiin polttamalla näytettä (600 °C, 2 h). Raakavalkuaisen määrittämisessä käytettiin Dumas-tyypin typpianalysaattoria (Leco FP-428 N Analyser, Leco Corporation, St. Joseph, MO, USA). Kuitu (NDF) määritettiin Van Soest'in ym. (1991) kuvaamalla tavalla. Säilörehun D-arvo (sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa) määritettiin Huhtasen ym. (2006) mukaisesti.

Säilörehun käymislaatu (pH, liukoinen typpi, ammoniumtyppi, vesiliukoiset hiilihydraatit, haihtuvat rasvahapot ja maito- sekä muurahaishappo) määritettiin Valio Oy:ssä käytössä olevalla puristenestetitrukseen pohjautuvalla laatumäärityksellä (Moisio & Heikonen 1989). Rehujen energia- ja valkuaisarvot laskettiin Rehutaulukoissa ja ruokintasuosituksissa (Luke 2022) kuvattulla tavalla. Säilörehujen syönti-indeksit laskettiin Huhtasen ym. (2007) mukaan rehuanalyysitulosten perusteella.

1.2.4. Koe-eläinten punnitukset, teurastus ja ruhon laatu

Sonnien kasvua seurattiin punnitsemalla eläimet kokeen alussa, kokeen aikana neljän viikon välein ja kokeen lopussa. Kokeen alussa ja lopussa eläimet punnittiin kahtena peräkkäisenä päivänä, ja punnitustuloksena käytettiin kahden punnituskerran keskiarvoa. Sonnien elopainon kasvu (päiväkasvu) laskettiin loppuelopainon ja kokeen alun elopainon erotuksena jaettuna kasvatuspäivillä.

Kokeessa 1 liharotuisilla Ab- ja Si-sonneilla vakioitiin sonnien kasvatusaika ja teurasikä, jolloin ruokintakoe kesti 200 vuorokautta, ja sonnit teurastettiin 480 vuorokauden iässä. Kokeessa 2 maitorotuisilla sonneilla alkuperäinen tavoite oli kasvattaa kaikkien ruokintaryhmien sonnit yhdenmukaiseen teuraspainoon. Hankeaika ei kuitenkaan mahdollistanut yli 500 päivän kasvatusaika, joten lopulliset toteutuneet teuraspainot erosivat ruokintaryhmien välillä (ks. tulokset ja tulosten tarkastelu).

Sonnit teurastettiin Atria Oy:n Kauhajoen teurastamossa. Kokeessa 1 sonnit teurastettiin yhdessä erässä ja kokeessa 2 kolmessa erässä. Teurastus tapahtui yleisten teurastuskäytäntöjen mukaan (EC 2006). Nettokasvu laskettiin teuraspainon ja kokeen alun ruhopainon erotuksena jaettuna kasvatuspäivillä. Ruhopainona kokeen alussa käytettiin arviota elopaino $\times 0,5$. Teurasprosentti saatiin jakamalla eläimen ruhopaino kokeen lopun elopainolla ja kertomalla sadalla. Ruhon lihakuus määriteltiin EUROP-luokituksella, jossa E tarkoittaa lihakuudeltaan erinomaista ja P lihakuudeltaan heikkoa ruhoa. Luokkia oli kaiken kaikkiaan 15 (E+, E, E-, U+, U, U-, R+, R, R-, O+, O, O-, P+, P, P-). Tilastollista käsittelyä varten lihakuusluokat numeroitiin numeroilla 1–15, jossa 1 tarkoittaa huonointa (P-) ja 15 parasta (E+) lihakuusluokkaa. Rasvaluokitus tehtiin niin ikään 15-portaisella asteikolla, jossa 1- tarkoittaa erittäin vähärasvaista ja 5+ erittäin rasvaista ruhoa (EC 2006). Tilastollista käsittelyä varten myös rasvaisuusluokat numeroitiin numeroilla 1–15.

1.2.5. Lihan laatuanalyysit

Kokeesta 2 valittiin 35 Hol- ja 30 Ay-sonnia lihan laatuanalyysiin. Siten sekä KV- että MV-ruokinnoilta valittiin 22 sonnia ja EV-ruokinnalta 21 sonnia, joiden ulkofileestä määritettiin lihan laatuominaisuuksia. Ulkofileestä analysoitiin kemiallinen koostumus (vesi, raakavalkuainen ja raakarasva), pH, väri, valuma, marmoroituminen, leikkuuvaste sekä aistinvaraisesti mureus, maku ja mehukkuus.

Lihan laatuanalyysijä varten valituilta eläimiltä otettiin teurastuksen yhteydessä ruhon oikean puolen ulkofileestä näytteet. Ulkofilee katkaistiin pään puolella 7. ja 8. kylkiluun välistä ja hännän puolella noin *gluteus medius* -lihaksen liitoskohdasta. Kolme erillistä näytettä otettiin 3. ja 4. lannenikaman välisestä kohdasta pään päin, laitettiin omiin pusseihin ja pakattiin vakuumiin. Näytteet kuljetettiin Luke Jokioisiin myöhempiä jatkoanalyysijä varten. Ensimmäisestä 3. ja 4. lannenikaman kohdalta pään päin leikatusta palasta tehtiin aistinvarainen arvio, toisesta palasta leikkuuvastemittaukset ja kolmannesta palasta pH-, väri-, marmoroitumismääritykset sekä kemiallisen koostumuksen analyysi.

Ulkofileen pH-arvo mitattiin pH-mittarilla (Schott handylab pH 12, Scott Geräte GmbH D-55014 Mainz) ja elektrodilla BlueLine 21 pH (SI Analytics GmbH, 82362 Weilheim, Germany) vakuu-
mipakkauksessa säilytetystä näytepalasta neljä päivää teurastuksen jälkeen. Samassa yhteydessä mitattiin väri Minolta-värimittarilla (Konica Minolta spectrofotometer CM-5, Konica Minolta INC, Osaka, Japan) vakuu-
mipakkauksessa säilytetyn näytepalan tuoreesta leikkuupinnasta noin 5 min punastumisajan jälkeen ja arvioitiin lihan marmoroituminen asteikolla 0–5, jossa 0=ei marmoroitumista/lihaksen sisäistä rasvaa ja 5=erittäin paljon marmoroitunut/lihaksen sisäistä rasvaa. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin pakkaskuivurissa (Christ gamma 2–20, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Germany), raakavalkuainen Kjeldahlin menetelmällä (AOAC 984.13) ja rasvapitoisuus happohydrolyysillä (AACC menetelmä 30–25).

Tyhjiöön pakatuista ulkofileistä analysoitiin 42 päivän raakakypsytyksen jälkeen leikkuuvaste Lloyd-
aineenکوestuslaitteella (Lloyd 1000 R, Lloyd Instruments PLC, Segensworth East Fareham, Hampshire, England) ja aistinvarainen laatu. Leikkuuvaste määritettiin 20 mittauksen keskiarvona noin 70 °C:een kypsennetyistä näytteistä. Leikkuuvaste on murealla lihalla 29–118, normaalilla lihalla 119–167 ja sitkeällä lihalla 168–400 N/4 cm². Aistinvaraista arviointia varten ulkofileestä leikattiin 1,5 cm paksut viipaleet, jotka lämmitettiin 70 °C sisälämpötilaan "telagrillissä". Näytteet tarjottiin välittömästi koulutetulle asiantuntijaraadille, jossa oli 4–6 henkilöä. Raadin jäsenet arvioivat itsenäisesti lihanäytteiden mureuden, mehukkuuden ja maun sekä

antoivat mahdolliset kommentit sivumausta. Lihan laatuanalyysissä käytetyt tutkimusmenetelmät on esitelty pääpiirteissään Huuskosen ym. (2017a) julkaisussa.

1.2.6. Tuotannon ympäristövaikutukset

Molempien ruokintakokeiden osalta laskettiin kokeen aikana tuotetun naudanlihan ilmastovaikutus sekä rehevöittävät ja happamoittavat päästöt elinkaariarviointimenetelmää hyödyntäen (ISO 14040). Kokeessa toteutuneiden rehun syöntitietojen ja ProAgrian lohkotietopankin keskimääräisten satotietojen perusteella laskettiin kunkin ruokinnan vaatima peltopinta-ala ruokintakokeiden ajalle.

Päästöt laskettiin ruokintakokeen aikana tuotettua lihakiloa kohden Hietalan ym. (2021) kuvailemalla tavalla. Ilmastovaikutuksen osalta arvioinnissa noudatettiin IPCC (2006, 2013) menetelmää, poiketen ruoansulatuksen metaanin osalta (Ramin & Huhtanen 2013) ja maaperän typpioksiduulipäästöjen osalta (Regina ym. 2013). Päästölaskenta käsitti rehujen tuotannosta, ruoansulatuksesta, lannan käsittelystä sekä eläinsuojien energian kulutuksesta aiheutuvat päästöt. Elinkaariarvioinnissa myös käytettyjen tuotantopanoksien, kuten polttoaineet, sähkö ja lannoitteet, valmistuksen päästöt sisällytettiin mukaan.

1.2.7. Tulosten tilastollinen käsittely

Kokeet 1 ja 2 analysoitiin erikseen samanlaisella lineaarisella sekamallilla. Malli oli seuraavanlainen kullekin vastemuuttujalle Y_{ijkl} (dieetti i , rotu j , karsina k , eläin l):

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + B_j + (D \times B)_{ij} + \beta W_{ijkl} + P_k + (B \times P)_{jk} + e_{ijkl}$$

missä vakio μ , dieetti D_i (MC, LC, NC), rotu B_j (kaksi rotua, mutta eri rodut kokeissa 1 ja 2), dieetti-rotu-yhdysvaikutus $(D \times B)_{ij}$ ja alkupainon W_{ijkl} regressiovaikutus β olivat kiinteitä vaikutuksia. Karsina P_k , rotu-karsina-yhdysvaikutus $(B \times P)_{jk}$ ja jäännösvirhe e_{ijkl} olivat normaalijakautuneita ja toisistaan riippumattomia satunnaisvaikutuksia, joista kahdella ensimmäisellä huomioitiin saman karsinan mittausten korreloituneisuus.

Dieettien keskimääräisten malliennusteiden eroja verrattiin Tukeyn menetelmällä merkitsevyystasolla 0,05. Esitetyt malliennusteet laskettiin mallin kiinteillä vaikutuksilla. Tilastolliset analyysit toteutettiin SAS-ohjelmiston GLIMMIX-proseduurilla (SAS versio 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

1.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

1.3.1. Koerhut

Kokeissa käytettyjen rehujen koostumus ja rehuarvot käyvät ilmi Taulukosta 1. Ensimmäisessä kokeessa nurmisäilörehun kuitupitoisuus oli 12 % ja D-arvo 8 % korkeampi kuin kokoviljasäilörehulla. Sen sijaan kokoviljasäilörehun syönti-indeksi oli 6 % korkeampi nurmisäilörehuun verrattuna. Toisessa kokeessa nurmisäilörehun raakavalkuaispitoisuus oli 49 % korkeampi, kuitupitoisuus 8 % korkeampi ja D-arvo 7 % parempi kokoviljasäilörehuun verrattuna. Kokoviljasäilörehulla oli 7 % korkeampi syönti-indeksi kuin nurmisäilörehulla. Säilörehujen säilönnällinen laatu oli analyysitulosten perusteella hyvä molemmissa kokeissa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Ruokintakokeissa käytettyjen rehujen kemiallinen koostumus, rehuarvot sekä säilörehujen säilönnällinen laatu.

	Koe 1			Koe 2		
	Nurmi-säilörehu	Kokovilja-säilörehu	Ohra	Nurmi-säilörehu	Kokovilja-säilörehu	Ohra
Näytämäärä, kpl	7	7	7	10	10	5
Kuiva-aine (ka), g/kg	350	307	875	422	506	889
Tuhka, g/kg ka	68	64	25	71	60	27
Raakavalkuainen, g/kg ka	125	120	126	142	95	104
Kuitu, g/kg ka	574	514	208	527	487	211
Muuntokelpoinen energia, MJ/kg ka	10,3	9,2	13,2	10,8	9,8	13,2
OIV, g/kg ka	76	75	98	81	75	95
PVT, g/kg ka	11	9	-21	21	-17	-39
D-arvo, g/kg ka	646	597		675	631	
Syönti-indeksi	103	109		110	118	
Säilörehujen säilönnällinen laatu						
pH	4,64	4,10		4,05	4,27	
Haihtuvat rasvahapot, g/kg ka	8	9		8	6	
Maito- ja muura-haishappo, g/kg ka	30	46		37	13	
Sokerit, g/kg ka	91	77		108	83	
Ammoniumtyppi konnaistypestä, g/kg	29	57		35	19	

Kokeissa käytettyjen seosrehujen koostumukset on esitetty Taulukossa 2. Säilörehun osuuden lisääminen lisäsi selkeästi seosten kuitupitoisuutta ja heikensi energiapitoisuutta molemmassa kokeissa. Jälkimmäisen kokeen säilörehut olivat hieman sulavampia kuin ensimmäisessä kokeessa, minkä vuoksi ruokintojen energiapitoisuudet olivat jälkimmäisessä kokeessa jonkin verran ensimmäistä koetta paremmat. Sen sijaan ruokintojen raakavalkuaispitoisuuksissa ei ollut merkittäviä eroja ruokintojen eikä kokeiden välillä. Ruokintojen PVT-arvot olivat kaikilla koe-ruokinnoilla ruokintasuosituksen, $PVT > -10$ g/kg ka, (Luke 2022) yläpuolella.

Taulukko 2. Ruokintakokeissa käytettyjen seosrehujen kemiallinen koostumus ja rehuarvot.

	Koe 1			Koe 2		
	KV ¹⁾	MV ²⁾	EV ³⁾	KV	MV	EV
Kuiva-aine (ka), g/kg	461	385	336	466	389	389
Tuhka, g/kg ka	51	62	67	53	65	68
Raakavalkuainen, g/kg ka	125	125	124	127	136	128
Kuitu, g/kg ka	428	519	556	399	479	515
Muuntokelpoinen energia, MJ/kg ka	11,5	10,7	10,0	11,8	11,2	10,5
OIV, g/kg ka	85	79	76	87	83	70
PVT, g/kg ka	-2	6	10	-3	12	10

¹⁾ KV-seoksessa: nurmisäilörehu 600 g/kg ka, litistetty ohra 385 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. ²⁾ MV-seoksessa: nurmisäilörehu 850 g/kg ka, litistetty ohra 135 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. ³⁾ EV-seoksessa: nurmisäilörehu 685 g/kg ka, kokoviljasäilörehu 300 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka.

1.3.2. Rehujen syönti, ravintoaineiden saantia ja tuotantotulokset

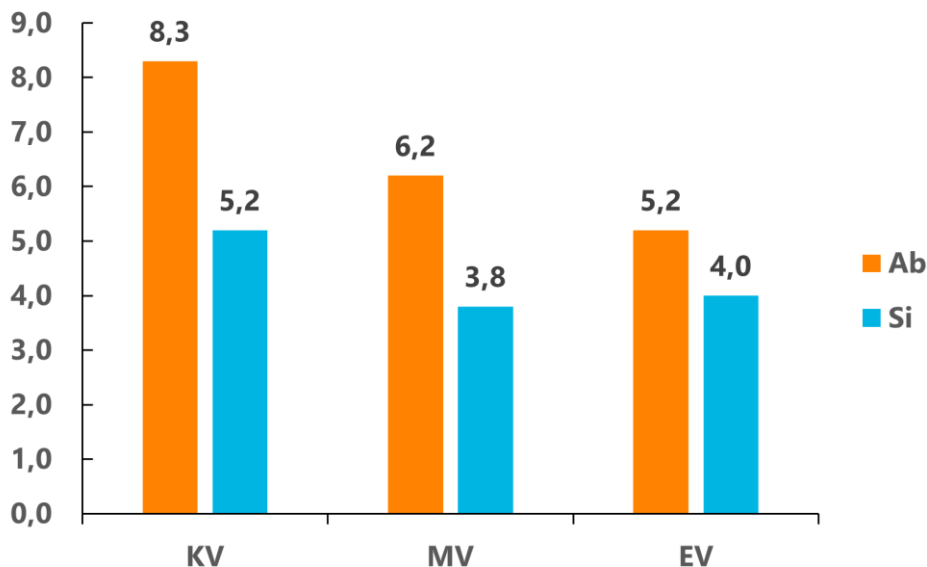
Sonnien tuotantotulokset esitellään koekohtaisesti Taulukoissa 3 (koe 1) ja 4 (koe 2). Kokeessa 1 Si-sonnien päiväkohtainen kuiva-aineen syönti ja energian saanti oli 8 % suurempi kuin Ab-sonneilla. Tämä selittyi Si-sonnien Ab-sonneja suuremmalla elopainolla. Kun kuiva-aineensyönti ja energian saanti laskettiin metabolista elopainokiloa kohden, rotujen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja.

Si-sonnien nettokasvu oli 10 % parempi kuin Ab-sonneilla, mutta rehun hyväksikäytössä ei havaittu eroja rotujen välillä (Taulukko 3). Teurastuloksissa oli merkittäviä rotujen välisiä eroja. Si-sonnien ruhot olivat painavampia ja niiden lihakkuus oli 23 % parempi kuin Ab-sonneilla. Ruhojen rasvaisuudessa kokeessa 1 havaittiin tilastollisesti merkitsevä rotu × ruokinta -yhdysvaikutus. Ab-sonnit olivat Si-sonneja rasvaisempia, mutta rotujen välinen ero oli EV- ja MV-ruokinnalla pienempi kuin KV-ruokinnalla (Kuva 1). Toisin sanoen ruokinnat vaikuttivat ruhojen rasvoittumiseen Ab-rodun sonneilla enemmän kuin Si-rodulla.

Taulukko 3. Tuotantotulokset liharotuisilla angus (Ab) ja simmental (Si) sonneilla.

	Rotu (B)		Ruokinta (F)			SEM ⁴⁾	Tilastollinen merkitsevyys ⁵⁾		
	Ab	Si	KV ¹⁾	MV ²⁾	EV ³⁾		B	F	B×F
Eläimiä, kpl	53	49	35	34	33				
Teurasikä, vrk	484	477	482	479	482	3,1	0,067	0,531	0,852
Loppupaino, kg	674	709	741 ^a	694 ^b	639 ^c	11,8	0,015	<0,001	0,802
Syönti, kg ka/pv	9,9	10,7	10,6	10,3	10,1	0,34	0,030	0,519	0,915
ME-saanti, MJ/pv	107	116	122 ^a	110 ^{ab}	101 ^b	3,7	0,030	<0,001	0,871
Päiväkasvu, kg/pv	1,29	1,31	1,57 ^a	1,29 ^b	1,04 ^c	0,027	0,396	<0,001	0,301
Nettokasvu, kg/pv	0,74	0,82	0,97 ^a	0,77 ^b	0,60 ^c	0,017	<0,001	<0,001	0,696
Kg ka/nettokasvu-kg	14,0	13,8	11,1 ^c	13,7 ^b	16,9 ^a	0,53	0,682	<0,001	0,926
MJ/nettokasvu-kg	151	149	127 ^c	146 ^b	169 ^a	6,2	0,776	<0,001	0,936
Teurastulokset									
Teuraspaino, kg	358	388	407 ^a	373 ^b	339 ^c	6,7	<0,001	<0,001	0,910
Teurasprosentti, %	52,9	54,5	54,9 ^a	53,6 ^b	52,6 ^c	0,24	<0,001	<0,001	0,344
Lihakkuus, EUROP (1–15)	7,9	9,7	9,8 ^a	9,1 ^b	7,5 ^c	0,20	<0,001	<0,001	0,701
Rasvaisuus, EUROP (1–15)	6,6	4,3	6,7 ^a	5,0 ^b	4,6 ^b	0,17	<0,001	<0,001	<0,001

1) KV-seoksessa: nurmisäilörehu 600 g/kg ka, litistetty ohra 385 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 2) MV-seoksessa: nurmisäilörehu 850 g/kg ka, litistetty ohra 135 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 3) EV-seoksessa: nurmisäilörehu 685 g/kg ka, kokoviljasäilörehu 300 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 4) SEM = Keskiarvon keskivirhe. 5) Tilastollinen merkitsevyys: B = rotu, F = ruokinta, B × F = rodun ja ruokinnan yhdysvaikutus. Jos sarakkeessa oleva P-arvo on pienempi kuin 0,05, ero on tilastollisesti merkitsevää. Ruokintakäsittelyjen osalta toisistaan tilastollisesti merkitsevästi eroavat keskiarvot on merkitty eri yläindeksikirjaimilla.



Kuva 1. Ruhojen rasvaisuus eri koeruokkinnoilla kokeessa 1 angus (Ab) ja simmental (Si) sonneilla. KV-seoksessa: nurmisäilörehu 600 g/kg ka, litistetty ohra 385 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. MV-seoksessa: nurmisäilörehu 850 g/kg ka, litistetty ohra 135 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. EV-seoksessa: nurmisäilörehu 685 g/kg ka, kokoviljasäilörehu 300 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka.

Kokeessa 2 ei havaittu tilastollisesti merkitseviä rotu × ruokinta -yhdysvaikutuksia (Taulukko 4). Hol- ja Ay-rotujen välillä ei havaittu eroja rehun syönnissä, energian saannissa tai rehun hyväksikäytössä. Sen sijaan Hol-sonnien päiväkasvu oli 4 % parempi kuin Ay-sonneilla. Ay-sonnien ruhot olivat puolestaan 12 % lihakkaampia Ho-sonneihin verrattuna. Myös aiemmissa tutkimuksissa Ay-sonnien ruhot ovat osoittautuneet Hol-sonneja lihakkaammiksi (Huuskonen ym. 2017b, 2020).

Taulukko 4. Tuotantotulokset maitorotuisilla holstein (Hol) ja ayrshire (Ay) sonneilla.

	Rotu (B)		Ruokinta (F)			SEM ⁴⁾	Tilastollinen merkitsevyys ⁵⁾		
	Hol	Ay	KV ¹⁾	MV ²⁾	EV ³⁾		B	F	B×F
Eläimiä, kpl	61	32	29	32	32				
Teurasikä, vrk	473	483	456 ^c	479 ^b	500 ^a	2,71	0,002	<0,001	0,433
Loppupaino, kg	622	617	634 ^a	630 ^a	594 ^b	5,4	0,394	<0,001	0,067
Syönti, kg ka/pv	10,2	10,0	10,4	10,0	10,0	0,25	0,505	0,468	0,622
ME-saanti, MJ/pv	114	112	122 ^a	112 ^b	104 ^c	2,8	0,494	<0,001	0,622
Päiväkasvu, kg/pv	1,35	1,30	1,51 ^a	1,35 ^b	1,12 ^c	0,021	0,019	<0,001	0,254
Nettokasvu, kg/pv	0,70	0,68	0,83 ^a	0,68 ^b	0,55 ^c	0,012	0,063	<0,001	0,280
Kg ka/nettokasvu-kg	15,2	15,4	12,6 ^c	14,9 ^b	18,3 ^a	0,49	0,677	<0,001	0,437
MJ/nettokasvu-kg	168	171	149 ^c	167 ^b	192 ^a	5,3	0,663	<0,001	0,421
Teurastulokset									
Teuraspaino, kg	316	314	333 ^a	317 ^b	294 ^c	3,2	0,544	<0,001	0,098
Teurasprosentti, %	50,7	50,8	52,1 ^a	50,3 ^b	49,9 ^c	0,25	0,507	<0,001	0,853
Lihakkuus, EUROP (1–15)	4,1	4,6	4,6 ^a	4,4 ^b	4,1 ^c	0,11	<0,001	<0,001	0,728
Rasvaisuus, EUROP (1–15)	4,8	5,1	5,6 ^a	4,5 ^b	4,9 ^b	0,18	0,110	<0,001	0,778

1) KV-seoksessa: nurmisäilörehu 600 g/kg ka, litistetty ohra 385 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 2) MV-seoksessa: nurmisäilörehu 850 g/kg ka, litistetty ohra 135 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 3) EV-seoksessa: nurmisäilörehu 685 g/kg ka, kokoviljasäilörehu 300 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 4) SEM = Keskiarvon keskivirhe. 5) Tilastollinen merkitsevyys: B = rotu, F = ruokinta, B × F = rodun ja ruokinnan yhdysvaikutus. Jos sarakkeessa oleva P-arvo on pienempi kuin 0,05, ero on tilastollisesti merkitsevää. Ruokintakäsittelyjen osalta toisistaan tilastollisesti merkitsevästi eroavat keskiarvot on merkitty eri yläindeksikirjaimilla.

Rehujen päivittäisessä kuiva-ainesyönnissä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ruokintojen välillä kummassakaan kokeessa (Taulukot 3 ja 4). Sen sijaan kasvuissa, rehun hyväksikäytössä ja teurastuloksissa oli selkeät ruokintojen väliset erot. Eniten väkirehua saaneilla KV-ruokinnan sonneilla oli suurin kasvunopeus, tehokkain rehun hyväksikäyttö, painavimmat ja lihakkaimmat ruhot ja ne olivat myös rasvaisimpia. Tuotantotulokset olivat heikoimmat EV-sonneilla, jotka eivät saaneet lainkaan väkirehua.

Ruokintojen välistä eroa kasvatuloksessa selittää todennäköisesti ennen kaikkea se, että energian saanti jäi ilman väkirehua kasvatetuilla sonneilla selkeästi muita ryhmiä heikommaksi. Esimerkiksi Huuskosen & Huhtasen (2015) meta-analyysissä energian saannin havaittiin olevan yksi tärkeimmistä lihanautojen kasvatuloksia ruokintakokeissa selittävistä tekijöistä. Jos kokeissa olisi käytetty sulavuudeltaan parempia säilörehuja, olisivat tulokset todennäköisesti hieinan muuttuneet ja ruokintojen väliset kasvuerot kaventuneet. Käytännön tilatasolla päästään kuitenkin harvoin tilanteeseen, jossa olisi mahdollista syöttää huippulaatuista säilörehua koko loppukasvatuskauden ajan.

Erot energian saannissa saattavat osaltaan selittää myös ruokintojen välisiä eroja teurasruhon laadussa, sillä aiemmissa tutkimuksissa lisääntyneen energian saannin on havaittu lisäävän teurasruhojen lihakkuutta ja rasvoittumista (Pesonen ym. 2013, Huuskonen & Huhtanen 2015). Myös teuraspainoissa havaitut erot ruokintaryhmien välillä selittänevät osan ruhojen lihakkuudessa ja rasvaisuudessa havaituista eroista. Lihakkuus ja rasvaisuus tyypillisesti lisääntyvät teuraspainojen noustessa (Keane & Allen 1998, Pesonen 2020).

1.3.3. Lihan laatu

Taulukossa 5 esitetään tulokset ulkofileen pH:n, marmoroitumisen, kemiallisen koostumuksen, värin, leikkuuvasteen ja aistinvaraisen laadun osalta. Ulkofileen pH-arvo oli keskimäärin 5,66. Rotu ei vaikuttanut pH-arvoon, mutta MV-ruokinnan sonneilla pH oli merkitsevästi KV- ja EV-ruokintoja korkeampi. Koesonneissa oli kolme tervalihatapausta, jotka kaikki havaittiin MV-ruokinnalla (toisessa teuraserässä). Tervalihaisuuden raja-arvona pidetään pH-arvoa 6,00. Toisen teuraserän (Ay ja Hol) keskimääräiset ulkofileen pH-arvot olivat noin 0,3 pH-yksikköä korkeammat kuin ensimmäisen ja kolmannen teuraserän vastaavat pH-arvot. Tämä ero voi johtua ruokinnasta tai lihasten energiankulutuksen eroista ennen teurastusta. pH-arvon alenemisessa lihakseen varastoitunut sokeri, glykogeeni, muuttuu laktaatiksi ja vetyioneiksi (maitohapoksi). Jos glykogeenia ei teurastuksen yhteydessä ole lihaksissa riittävästi alle 5,8 loppu-pH-arvon saavuttamiseksi, lihan pH-arvo jää korkeaksi. Immosen (2000) mukaan naudun lihaksen glykogeenipitoisuus on ruokinnalla hankalasti muokattavissa ja toisaalta runsaasti energiaa sisältävä ruokinta näyttäisi suojaavan potentiaalisilta lihaksen glykogeenia kuluttavilta stressitekijöiltä. Koska kaikki MV-ruokinnan lihanäytesonnit olivat toisessa teuraserässä optimaalista teuraspainoa tavoiteltaessa, varmaa johtopäätöstä toisen teuraserän ulkofileiden muita teuraseriä korkeampien pH-arvojen syystä ei voitu tehdä.

Ay-sonnien ulkofileet olivat hieman enemmän marmoroituneita sekä sisälsivät enemmän valkuaista ja vähemmän vettä kuin Hol-sonneilla (Taulukko 5). Ruokinnalla ei havaittu olevan yhteyttä marmoroitumiseen, mutta kemialliseen koostumukseen sillä oli selvä vaikutus. Ulkofileen rasvapitoisuus oli suurin KV-ruokinnalla ja pienin EV-ruokinnalla. Vastaavasti lihan vesipitoisuus väheni rasvapitoisuuden lisääntyessä, ja suurin vesipitoisuus oli EV-ruokinnalla.

Taulukko 5. Ulkofileen laatu maitorotuisilla holstein (Hol) ja ayrshire (Ay) sonneilla.

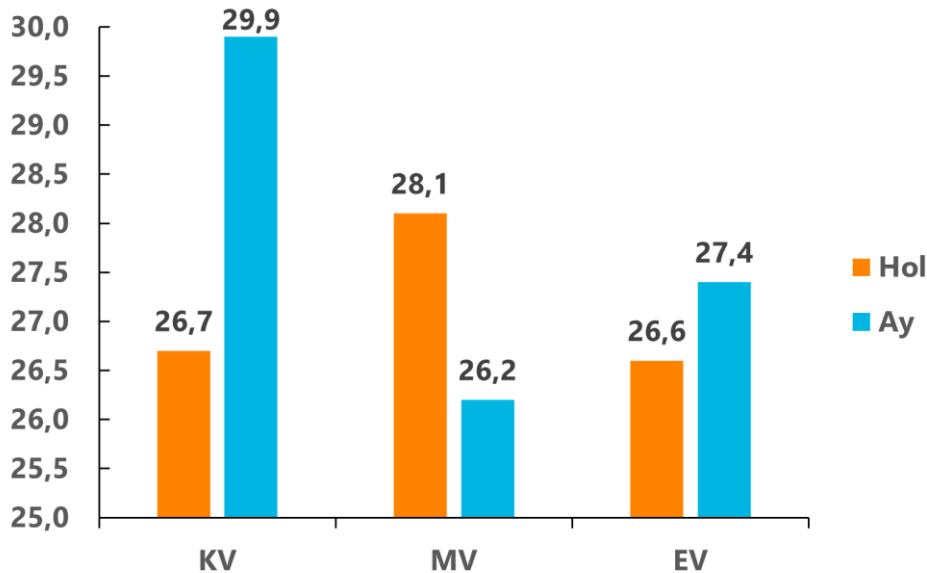
	Rotu (B)		Ruokinta (F)			SEM ⁴⁾	Tilastollinen merkitsevyys ⁵⁾		
	Hol	Ay	KV ¹⁾	MV ²⁾	EV ³⁾		B	F	B×F
Näytteitä, kpl	35	30	22	22	21				
pH	5,67	5,64	5,61 ^b	5,87 ^a	5,49 ^c	0,023	0,216	<0,001	0,521
Marmoroituminen ⁶⁾	1,42	1,82	1,77	1,59	1,53	0,165	0,015	0,619	0,755
Koostumus									
Vesi, g/kg	750	746	739 ^c	748 ^b	756 ^a	2,0	0,024	<0,001	0,241
Valkuainen, g/kg	216	219	218 ^{ab}	219 ^a	216 ^b	1,2	0,002	0,052	0,834
Rasva, g/kg	50	53	73 ^a	51 ^b	31 ^c	5,2	0,634	<0,001	0,211
Väri ⁷⁾									
L* (vaaleus)	26,7	28,2	28,2	27,2	27,1	0,56	0,008	0,351	0,015
a* (punaisuus)	10,6	10,4	11,0 ^a	10,3 ^b	10,2 ^b	0,33	0,180	<0,001	0,171
b* (keltaisuus)	10,2	9,6	11,0 ^a	9,4 ^b	9,3 ^b	0,28	0,031	<0,001	0,733
Leikkuuvaste ⁸⁾ , N/4 cm ²	77	77	67 ^b	83 ^a	81 ^a	2,7	0,909	<0,001	0,067
Aistinvarainen laatu ⁹⁾									
Mureus	5,0	4,9	4,9	5,0	4,9	0,18	0,928	0,740	0,549
Mehukkuus	4,8	4,8	4,4	5,2	4,8	0,28	0,928	0,057	0,597
Maku	5,3	5,2	5,1	5,3	5,3	0,10	0,453	0,091	0,857

1) KV-seoksessa: nurmisäilörehu 600 g/kg ka, litistetty ohra 385 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 2) MV-seoksessa: nurmisäilörehu 850 g/kg ka, litistetty ohra 135 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 3) EV-seoksessa: nurmisäilörehu 685 g/kg ka, kokoviljasäilörehu 300 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 4) SEM = Keskiarvon keskivirhe. 5) Tilastollinen merkitsevyys: B = rotu, F = ruokinta, B × F = rodun ja ruokinnan yhdysvaikutus. Jos sarakkeessa oleva P-arvo on pienempi kuin 0,05, ero on tilastollisesti merkitsevää. Ruokintakäsittelyjen osalta toisistaan tilastollisesti merkitsevästi eroavat keskiarvot on merkitty eri yläindeksikirjaimilla. 6) Marmoroitumisaste: asteikko 0–5. 0=ei marmoroitumista, 5=erittäin paljon marmoroitumista. 7) Lihan väri: mitä suurempi lukuarvo, sitä vaaleampi, punaisempi tai keltaisempi. 8) Leikkuuvaste määritetty leikkumittarilla: mitä suurempi luku, sitä sitkeämpää liha on. 9) Aistinvarainen arvio (mureus, mehukkuus ja maku) subjektiivinen arvostelu, jossa 1 = erittäin huono ja 7 = erittäin hyvä.

Ulkofileen vaaleuden (L-arvo) osalta havaittiin tilastollisesti merkitsevä rotu × ruokinta -yhdysvaikutus (Taulukko 5, Kuva 2). Ay-sonnien liha oli Hol-sonnien lihaa vaaleampaa KV- ja EV-ruokinnoilla, mutta ei MV-ruokinnalla. Eniten väkirehua saaneiden KV-sonnien ulkofilee oli mitausten perusteella punaisempaa (suurempi a-arvo) ja keltaisempaa (suurempi b-arvo) kuin MV- ja EV-sonneilla. Myoglobiini (lihaspuna, verenkierron hemoglobiinia vastaava) on pääasiallinen lihan väriä määrittävä proteiini. Lihan väriä määrittävät myös mm. pH-arvo ja lihasten toiminnallisten yksiköiden eli sarkomeerien pituus (Mancini & Hunt 2005, Hughes ym. 2018). On siis mahdollista, että lihan värin vaaleusarvojen erot Ay ja Hol sonnien välillä KV- ja EV-ruokinnoilla johtuivat pH-arvojen tasosta, joka oli MV-ruokinnalla hieman korkeampi kuin KV- ja EV-ruokinnoilla.

Eniten väkirehua saaneiden KV-sonnien ulkofilee oli leikkuuvastemittausten perusteella muurempaa kuin MV- ja EV-sonnien ulkofilee (Taulukko 5). Eniten väkirehua saaneiden KV-sonnien

paremmuus lihan leikkuuvasteessa liittyi todennäköisesti suurempaan ulkofileen rasvapitoisuuden kahteen muuhun ruokintaan verrattuna. Sen sijaan rotu ei vaikuttanut ulkofileen leikkuuvasteeseen. Aistinvaraisen laadun suhteen ei havaittu merkittäviä eroja rodun eikä ruokintojen välillä. Leikkuuvastemittaustulosten on todettu olevan usein erilaisia aistinvaraiseen mureusarvioon nähden (Van Wezemaal ym. 2014).



Kuva 2. Ulkofileen vaaleus (L-arvo) eri koeruoikinnolla kokeessa 2 ayrshire (Ay) ja holstein (Hol) sonneilla. KV-seoksessa: nurmisäilörehu 600 g/kg ka, litistetty ohra 385 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. MV-seoksessa: nurmisäilörehu 850 g/kg ka, litistetty ohra 135 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. EV-seoksessa: nurmisäilörehu 685 g/kg ka, kokoviljasäilörehu 300 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka.

1.3.4. Tuotannon ympäristövaikutukset

Kokeessa toteutuneiden rehun syöntien ja ProAgrian lohkotietopankin keskimääräisten sato-tietojen perusteella laskettu ruokintojen vaatima peltopinta-ala ja ruokintakokeen aikana tuotettua lihakiloa kohden lasketut päästöt esitetään Taulukossa 6. Rehuntuotantoalaa yhtä sonnia kohden tarvittiin 0,42–0,54 ha kokeesta ja ruokinnasta riippuen.

Koejakson ajalle laskettu hiilijalanjälki oli eniten väkirehua sisältäneellä KV-ruokinnalla ensimmäisessä kokeessa 19,1 ja toisessa kokeessa 20,7 kg CO₂ ekv/koejaksolla tuotettu lihakilo. MV- ja EV-ruokinnolla lihakiloa kohden laskettu hiilijalanjälki oli molemmissa kokeissa suurempi kuin KV-ruokinnalla. Vastaava tulos havaittiin myös rehevöittävien ja happamoittavien päästöjen osalta. Päästöt koejaksolla tuotettua lihakiloa kohden lisääntyivät eläinten kasvun heikentyessä, kun väkirehun määrää pienennettiin ruokinnassa, vaikka koko koejakson yhteenlaskettu päästö pieneni väkirehun määrää pienennettäessä.

Taulukko 6. Tarvittava peltoala ja tuotannon ympäristövaikutukset eri koeruokinnoina yhtä sonnia kohden laskettuna.

	Koe 1			Koe 2		
	KV ¹⁾	MV ²⁾	EV ³⁾	KV	MV	EV
Kokeen kesto, vrk	200	200	200	224	247	266
Rehun kulutus, kg ka koejakson aikana						
Nurmisäilörehu	1272	1751	1384	1398	2100	1822
Kokoviljasäilörehu	0	0	606	0	0	798
Litistetty ohra	816	278	0	897	333	0
Tarvittava peltoala, ha						
Nurmisäilörehu	0,23	0,32	0,25	0,25	0,38	0,33
Kokoviljasäilörehu	0	0	0,17	0	0	0,22
Ohra	0,25	0,10	0	0,27	0,12	0
Yhteensä	0,48	0,42	0,42	0,52	0,50	0,55
Päästöt koejakson aikana tuotettua lihakiloa kohden						
Ilmastovaikutus, kg CO ₂ eq	19,1	20,7	25,9	20,7	21,7	26,3
Rehevöitymispotentiaali, g PO ₄ eq	17,1	21,3	21,8	16,4	18,9	20,8
Happamoitumispotentiaali, AE eq	38,6	49,9	53,7	39,4	50,6	59,2

1) KV-seoksessa: nurmisäilörehu 600 g/kg ka, litistetty ohra 385 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 2) MV-seoksessa: nurmisäilörehu 850 g/kg ka, litistetty ohra 135 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka. 3) EV-seoksessa: nurmisäilörehu 685 g/kg ka, kokoviljasäilörehu 300 g/kg ka, kivennäis-vitamiiniseos 15 g/kg ka.

1.4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Havaitut tuotantotulokset olivat yhdenmukaisia molemmissa ruokintakokeissa. Tutkimuksessa kontrolliruokintana olleella 40 % väkirehutasolla saavutettiin parhaat kasvutulokset, suurimmat teuraspainot ja lihakkaimmat teurasruhot sekä liharotuisilla että maitorotuisilla sonneilla. Vaihtoehtoisissa ruokintamalleissa, joissa ruokinnassa käytettiin enemmän karkearehua, jäätiin selvästi heikompiin tuotantotuloksiin. Hyvä kasvutulos myös pienensi tuotannon ilmastovaikutusta sekä vähensi tuotettua lihakiloa kohden syntyvien rehevöittävien ja happamoittavien päästöjen määrää. Lihan laadun osalta tässä tutkimuksessa ei saatu näyttöä siitä, että karkearehualtaisilla ruokinnoina olisi ollut positiivisia vaikutuksia naudanlihan laatuun. Sen sijaan leikkuuvastemittausten perusteella ulkofilee oli mureinta sonneilla, joiden ruokinnassa väkirehun osuus oli 40 % seoksen kuiva-aineesta laskettuna.

Tuloksia tulkittaessa on kuitenkin muistettava, että optimaalinen ruokinta- ja kasvatustrategia on tilakohtainen asia. Kaikille lihanautatiloille sopivaa väkirehuprosenttia on mahdoton antaa, koska se riippuu muun muassa käytettävissä olevasta peltopinta-alasta, satotasoista, rehujen tuotantokustannuksista, mahdollisten ostorehujen hinnoista, vasikoiden saatavuudesta ja valitsevasta maataloustukipolitiikasta. Esimerkiksi jos tila pystyy tuottamaan hyvälaatuista nurmi- ja kokoviljasäilörehua ProAgrian lohkotietopankin keskimääräisiä satotietoja korkeammilla satotasoilla, pienenee rehuntuotantoalan tarve tässä artikkelissa esitettyihin laskelmiin verrattu-

na. Tämä puolestaan tarkoittaisi säilörehuvaltaisten ruokintavaihtoehtojen päästöjen vähene- mistä ja ympäristötehokkuuden paranemista suhteessa enemmän väkirehua sisältäviin ruokin- toihin.

Tulevaisuuden tavoitteena tulisi joka tapauksessa nautojen osalta olla ruokinta, jossa eläimille annettaisiin mahdollisimman vähän suoraan ihmiselle kelpaavia rehuja, mikä meillä Suomessa tarkoittaa nurmen maksimaalista hyödyntämistä. Tähän liittyen tarvitaan lisätietoa siitä, miten nurmivaltaisten ruokintojen tuotantovaikutusta, kilpailukykyä ja ympäristötehokkuutta voitai- siin edelleen parantaa.

1.5. Viitteet

- Caplis, J., Keane, M.G., Moloney, A.P. & O'Mara, F.P. 2005. Effects of supplementary concentrate level with grass silage, and separate or total mixed ration feeding, on performance and carcass traits of finishing steers. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 44: 27–43.
- Dou, Z., Ferguson, J.D., Fiorini, J., Toth, J.D., Alexander, S.M., Chase, L.E., Ryan, C.M., Knowlton, K.F., Kohn, R.A., Peterson, A.B., Sims, J.T. & Wu, Z. 2003. Phosphorus feeding levels and critical control points on dairy farms. *Journal of Dairy Science* 86: 3787–3795.
- EC 2006. Council Regulation (EC) No 1183/2006 of 24 July 2006 concerning the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. *The Official Journal of the European Union L 214*: 1–6.
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Rob- inson, S., Thomas, S.M. & Toulmin, C. 2010. Food Security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812–818.
- Hietala, S., Heusala, H., Katajajuuri, J.M., Järvenranta, K., Virkajärvi, P., Huuskonen, A. & Nousiainen, J. 2021. Environmental life cycle assessment of Finnish beef – cradle-to- farm gate analysis of dairy and beef breed beef production. *Agricultural Systems* 194, 103250.
- Hughes, J., Clarke, F., Purslow, P. & Warner, R. 2018. A high rigor temperature, not sarcomere length, determines light scattering properties and muscle colour in beef *M. sternoman- dibularis* meat and muscle fibres. *Meat Science* 145: 1–8.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 3: 293–323.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758– 770.
- Huida, L., Väätäinen, H. & Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agri- culturae Fenni-ae* 25: 215–230.
- Huuskonen, A. & Huhtanen, P. 2015. The development of a model to predict BW gain of grow- ing cattle fed grass silage-based diets. *Animal* 9: 1329–1340.

- Huuskonen, A., Pesonen, M. & Honkavaara, M. 2017a. Effects of replacing timothy silage by alsike clover silage on performance, carcass traits and meat quality of finishing Aberdeen Angus and Nordic Red bulls. *Grass and Forage Science* 72: 220–233.
- Huuskonen, A., Rinne, M. & Manni, K. 2020. Effects of different barley grain preservation techniques on intake, growth and carcass traits of finishing dairy bulls fed grass silage-based rations. *The Journal of Agricultural Science* 158: 748–755.
- Huuskonen, A., Seppälä, A. & Rinne, M. 2017b. Effects of silage additives on intake, gain and carcass traits of growing and finishing dairy bulls fed pre-wilted grass silage and barley grain based ration. *The Journal of Agricultural Science* 155: 1342–1352.
- Immonen, K. 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to diet, slaughter and ultimate beef quality. Academic dissertation. University of Helsinki. Department of Food Technology. EKT series 1203. 64 s.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Teoksessa: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (Toim.). IGES, Japan. Saatavissa: <http://www.ipccng-gip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>. Vol. 4: Agriculture, forestry and other land use. IGES, Kanagawa, Japan.
- IPCC. 2013. Climate change: the physical science basis. Teoksessa: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Qin T.F., Plattner, D., Stocker, G.K. et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
- ISO 14040. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.
- Johnson, K.A. & Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483–2492.
- Jonker, J.S., Kohn, R.A. & High, J. 2002 Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. *Journal of Dairy Science* 85: 1218–1226.
- Keane, M.G. & Allen, P. 1998. Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. *Livestock Production Science* 56: 203–214.
- Luke 2022. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Verkkopalvelu. Saatavissa: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot>.
- Mancini, R.A. & Hunt, M.C. 2005. Current research in meat color. *Meat Science* 71: 100–121.
- Mogensen, L., Kristensen, T., Nguyen, T.L.T., Knudsen, M.T. & Hermansen, J.E. 2014. Carbon footprint of cattle feeds – a method to include contribution from soil carbon changes. *Journal of Cleaner Production* 73: 40–51.
- Moisio, T. & Heikonen, M. 1989. A titration method for silage assessment. *Animal Feed Science and Technology* 22: 341–353.
- Nousiainen, J., Tuori, M., Turtola, E. & Huhtanen, P. 2011. Dairy farm nutrient management model. 1. Model description and validation. *Agricultural Systems* 104: 371–382.

- Ondersteijn, C.J.M., Beldman, A.C.G., Daatselaar, C.H.G., Giesen, G.W.J. & Huirne R.B.M. 2002. The Dutch Mineral Accounting System and the European Nitrate Directive: Implications for N and P management and farm performance. *Agriculture Ecosystems and Environment* 92: 283–296.
- Pesonen, M. 2020. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of different beef breeds in typical Finnish production systems. Doctoral Dissertation. *Natural resources and bioeconomy studies* 43/2020. Natural Resources Institute Finland, Helsinki. 89 s.
- Pesonen, M., Honkavaara, M., Kämäräinen, H., Tolonen, T., Jaakkola, M., Virtanen, V. & Huuskonen, A. 2013. Effects of concentrate level and rapeseed meal supplementation on performance, carcass characteristics, meat quality and valuable cuts of Hereford and Charolais bulls offered grass silage-barley-based rations. *Agricultural and Food Science* 22: 151–167.
- Priolo, A., Micol, D. & Agabriel, J. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research* 50: 185–200.
- Ramin, M. & Huhtanen P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science* 96: 2476–2493.
- Regina, K., Kaseva, J. & Esala, M. 2013. Emissions of nitrous oxide from boreal agricultural mineral soils—Statistical models based on measurements. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164: 131–136.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. 2006. *Livestock's Long Shadow*. FAO, Rome.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583–3597.
- Van Wezemael, L., De Smet, S., Ueland O. & Verbeke W. 2014. Relationships between sensory evaluations of beef tenderness, shear force measurements and consumer characteristics. *Meat Science* 97: 310–315.
- Virkajärvi, P. & Järvenranta, K. 2018. Nautakarjatuotannon ympäristövaikutusten arviointi ja sen kehittämistarpeet. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote* 35. 10 s. Saatavissaa: <https://journal.fi/smst/article/view/73231/35093>.

2. Tiivistämisen ja säilöntäaineiden vaikutus nurmisäilörehun säilönnälliseen laatuun

Marcia Franco¹, Marketta Rinne¹, Katariina Manni¹ ja Arto Huuskonen²

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

²Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31 A, 71750 Maaninka

Tiivistelmä

Säilörehun laatuun voidaan vaikuttaa monissa eri vaiheissa lähtien raaka-aineen ominaisuuksista ja kattaen kaikki korjuuketjun vaiheet mukaan lukien toimenpiteet syöttövaiheessa. Säilörehun pilaantumisen ehkäiseminen ja reuhävikin minimointi ovat yksi keino kotieläintuotannon kustannusten ja ympäristövaikutusten pienentämisessä. Tässä kokeessa selvittiin siilojen tiivistämistavan ja säilöntäainekäsittelyiden vaikutuksia säilörehujen käymislaatuun, säilöntätappioihin ja rehun jälkilämpenemisherkkyyteen.

Ensimmäisestä sadosta korjattu timotein ja nurminadan seoskasvusto säilöttiin n. 12 litran koesiiloihin käyttäen kolmea erilaista tiivistämismenettelyä: normaali, löyhä sekä normaali tiivistys + lisätiivistys seuraavana päivänä. Säilöntäainekäsittelyitä oli viisi: kontrolli ilman säilöntäainetta, homofermentatiivinen maitohappobakteeriympä (HO), heterofermentatiivinen maitohappobakteeriympä (HE) suolatyypinen säilöntäaine (Suola) muurahais- ja propionihappopohjainen aine (MPH). Rehuja säilöttiin 3 kuukautta ja ne analysoitiin Luonnonvarakeskuksen laboratorion standardimenetelmin.

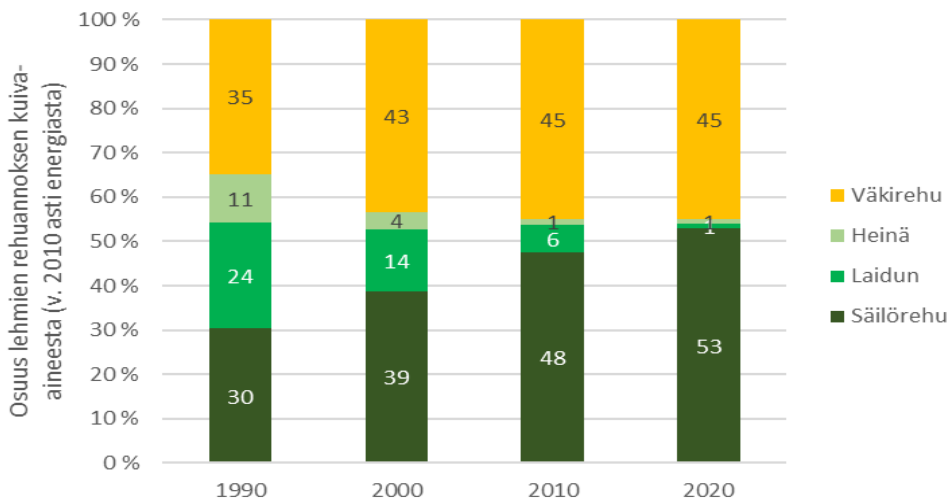
Raaka-aineen kuiva-ainepitoisuus esikuivauksen jälkeen oli 358 g/kg ja sokeripitoisuus 89 g/kg kuiva-ainetta, joten se oli kohtuullisen helposti säilöttävää. Rehujen tiivistämisellä ja siilojen sulkemisen viivästämällä ei ollut kovin selviä vaikutuksia rehujen laatuun, joten todennäköisesti pilottisiilotekniikka ei tässä suhteessa jäljittele käytännön olosuhteita riittävästi. Viivästetty siilon sulkeminen lisäsi säilönnän aikaisia käymistappioita, vaikka numeerisesti vaikutus oli pieni.

Säilöntäaineiden toimintaperiaatteissa ja tuloksissa oli selkeitä eroja. MPH rajoitti selvästi käymistä kaikkiin muihin säilöntäaineisiin verrattuna. Käymistappiot olivat pienempiä ja aerobinen stabiilisuus pidempi kemiallisia säilöntäaineita (Suola, MPH) käytettäessä kontrolliin ja biologisiin (HO, HE) säilöntäaineisiin verrattuna. Heterofermentatiivinen ympä tuotti rehuun enemmän etikkahappoa kuin homofermentatiivinen ympä, mikä näkyi sen parempana aerobisena stabiilisuutena. Homofermentatiivinen ympä oli hieman matalampi pH ja vähemmän etanolia kuin kontrollissa, mutta muuten se ei tässä aineistossa eronnut oikeastaan mitenkään kontrollirehusta. Tiivistystapojen ja säilöntäainekäsittelyiden välillä ei ollut käytännössä yhdysvaikutuksia eli säilöntäaineet vaikuttivat tuloksiin samaan tapaan niin normaalisti ja löyhästi tiivistetyssä kuin viivästetystikin suljetussa rehuissa.

Asiasanat: säilöntä, säilöntäaine, aerobinen stabiilisuus, jälkilämpeneminen

2.1. Johdanto

Tuoreen nopeasti pilaantuvan rehumassan säilöntä fermentoimalla säilörehuksi on Suomessa ja globaalisti toimivaksi ja taloudelliseksi todettu ratkaisu varmistaa naudoille tasainen rehujen saanti ympäri vuoden (Wilkinson & Rinne 2018). Rehuntekometelmät ovat muuttuneet teknologisen kehityksen ja tilakokojen kasvun myötä nopeasti viime vuosikymmeninä. Samalla säilörehu on käytännössä syrjäyttänyt kuivan heinän ja laidunnetun nurmen suomalaisten nykylehmiä rehuannoksessa (Huhtamäki 2021; Kuva 1).



Kuva 1. Eri rehuaineiden osuuksien kehitys lypsävien lehmien rehuannoksessa Suomessa. Lähde: ProAgrian rehunkulutustilastot.

Säilörehun laatuun voidaan vaikuttaa monissa eri vaiheissa lähtien raaka-aineen ominaisuuksista ja kattaen kaikki korjuuketjun vaiheet mukaan lukien toimenpiteet syöttövaiheessa. Säilörehun pilaantumisen ehkäiseminen ja rehuhävikin minimointi ovat yksi keino kotieläintuotannon kustannusten ja ympäristövaikutusten pienentämisessä.

Tässä pilottimittakaavassa tehdyssä säilöntäkokeessa selvitettiin kolmen erilaisen tiivistämistavan vaikutuksia rehunlaatuun. Vertailut käsittelyt olivat normaali tai löyhä tiivistäminen tai normaalisti tiivistetyn rehun lisätiivistäminen ja peittäminen seuraavana päivänä. Näin haluttiin selvittää käytännön siilotyöskentelyssä vastaan tulevien tilanteiden vaikutuksia säilörehun laatuun, käymistappioihin ja jälkilämpenemisherkyyteen. Rehun tiivistäminen siiloilla voi toisinaan jäädä riittämättömäksi ja aiheuttaa myöhemmin ongelmia löyhäksi jääneenä rehuna. Rehun teon venyessä pitkälle iltaan voi siilon tiivistämisen loppuun saattaminen ja siilon peittäminen käytännössä jäädä seuraavaan päivään.

Säilöntäaineiden käytöllä rehun laadun varmistajana on pitkä historia A.I. Virtasen mineraalihapoilla (suolahappo, rikkihappo, fosforihappo) 1920-luvun lopulla aloittamasta työstä lähtien (Heikonen 1990). Nykyään säilöntäaineiden kirjo on laaja ja kustannustehokkaiden säilöntäainevalintojen tekemisen pohjaksi on tunnettava eri säilöntäaineiden ominaisuudet ja soveltuvuus eri tilanteisiin. Tässä kokeessa käytettiin neljää erityyppistä säilöntäainetta ja lisäksi vertailussa oli mukana kontrolli ilman säilöntäainelisäystä.

Happopohjaiset rehumassan pH:ta suoraan laskevat säilöntäaineet ovat kehittyneet huomasti Virtasen ajoista, sillä ne perustuvat nykyään orgaanisiin happoihin. Lisäksi tuotteesta riippuen happojen korroosiovaikutusta on voitu puskuroida ja lisätä säilörehun jälkilämpenemisherkyyttä vähentäviä yhdisteitä.

Suomen markkinoilla on myös runsaasti erilaisia maitohappobakteeripohjaisia säilöntävalmisteita eli ymppejä, joiden tarkoitus on ohjata ja voimistaa luontaista maitohappokäymistä rehusssa. Ympit voidaan jakaa kahteen ryhmään eli homo- ja heterofermentatiivisiin riippuen siitä, mitä lopputuotteita käymisprosessissa pääsääntöisesti muodostuu. Homofermentatiivinen käyminen tuottaa maitohappoa, kun heterofermentatiivisessa käymisessä muodostuu myös merkittäviä määriä etikkahappoa.

Suolatyypiset säilöntäaineet eivät ole Suomessa saaneet merkittävää jalansijaa, mutta niillä on saavutettu hyvä teho klostridikäymistä vastaan. Lisäksi ne ovat tehokkaita jälkilämpenemisen hidastajia. Niissä tehoaineina ovat mm. natriumnitriitti ja orgaanisten happojen suolat kuten sorbaatti ja bentsoaatti. Tehoaineiden pitoisuudet kaupallisissa tuotteissa vaihtelevat eri tuotteiden välillä.

Pilottimittakaavan kokeissa on mahdollista tutkia useita eri käsittelyitä samoissa olosuhteissa, mikä ei maatilamittakaavassa ole mahdollista. Tässä kokeessa selvittiin sillojen tiivistämistavan ja säilöntäainekäsittelyiden vaikutuksia sekä niiden yhdysvaikutuksia (vaikuttavatko säilöntäaineet eri tavalla eri tiivistämisvaihtoehdoissa) säilörehujen käymislaatuun, säilöntätappioihin ja rehun jälkilämpenemisherkkyteen.

2.2. Aineisto ja menetelmät

Kokeessa käytetty nurmiraaka-aine korjattiin Luonnonvarakeskuksen Jokioisten kartanoiden pellolta (60°48'N, 23°29'E) kesän ensimmäisestä sadosta 16.6.2020 (Kuva 2). Kasvusto oli timotein (*Phleum pratense*) ja nurminadan (*Festuca pratensis*) seos tuorepainojen suhteessa 76:24. Kasvusto niittomurskattiin, karhotettiin ja tarkkuussilputtiin käyttäen maatilamittakaavan koneita. Nurmi kuljetettiin laboratorioon ilman säilöntäainelisäyksiä ja sitä esikuivattiin viileää ilmaa ajoittain puhaltavassa tasokuivurissa seuraavaan päivään, jolloin varsinainen säilöntätö suoritettiin.



Kuva 2. Timotei-nurminatakasvusto, josta koerhut tehtiin. Vasemmalla Marcia Franco mittaa kasvuston korkeutta (kuva Luke/Marketta Rinne) ja oikealla Marketta Rinne mittaa kokeeseen tarvittavan karhoon pituutta (kuva Luke/Marcia Franco).

Ruoho säilöttiin n. 12 litran muovilieriösiiloihin (Kuva 3) käyttäen kolmea erilaista tiivistämismenettelyä: normaali, löyhä sekä normaali tiivistys + lisätiivistys seuraavana päivänä. Normaali tiivistys toteutettiin laittamalla siiloon muutama kourallinen ruohoa ja tiivistämällä se pudottamalla 8-kiloinen lyijypaino 10 kertaa jokaisen täytön jälkeen. Löyhä tiivistys toteutettiin muuten samoin, mutta painoa pudotettiin vain 2 kertaa jokaisen ruoherän jälkeen. Täytön jälkeen siilot suljettiin välittömästi laittaen niiden päälle 8-kiloinen lyijypaino ja ilmalukko (vedellä täytetty

muovipussi). Viivästetty käsittely toteutettiin siten, että siilot tiivistettiin normaalisti, mutta jätettiin auki seuraavaan päivään, jolloin niitä tiivistettiin lisää pudottaen lyijypainoa 20 kertaa. Tämän jälkeen siilot suljettiin samoin kuin edellä.



Kuva 3. Vasemmassa kuvassa Gabriel Viana levittää säilöntäainetta tasaisesti rehumassaan. Oikealla Wencan Ke ja Marketta Rinne täyttävät koesiiloa. Kuvat: Luke/Marcia Franco.

Ruohoraaka-aineesta kerättiin näytettä tasaisesti kaikista rehueristä ennen säilöntäaineiden lisäämistä. Säilöntäaineet levitettiin kerrannekohtaisesti ruhomassaan käsin huolellisesti sekoittaen.

Säilöntäainekäsittelyitä oli viisi:

- Ei säilöntäainetta (kontrolli, **KON**), sama nestemäärä hanavetenä (10 litraa/tonni tuoretta ruohoa), kuin muissa käsittelyissä säilöntäaineiden mukana (laimennus hanavedellä tähän määrään myös muissa käsittelyissä).
- Homofermentatiivinen maitohappobakteeriympäristö 1 g/tonni tuoretta ruohoa veteen sekoitettuna (**HO**; *Lactobacillus plantarum* (DSM 12836; 1k2078; min.) and *Pediococcus pentosaceus* (DSM 12834; 1k2103); Bonsilage, Schaumann Agri International GmbH, Pinneberg, Saksa). Molempia bakteereita oli tuotteessa vähintään 1×10^{11} pesäkkeitä muodostavaa yksikköä (psy)/g, joten annostelu ruohoon oli 1×10^5 psy/g.
- Heterofermentatiivinen maitohappobakteeriympäristö 1 g/tonni tuoretta ruohoa veteen sekoitettuna (**HE**; *Lactobacillus buchneri* (DSM 13573, 1k20733; min. 1×10^{11} cfu/g), *Lactobacillus plantarum* (DSM 3676, 1k20731; min. 0.5×10^{11} cfu/g) and *Lactobacillus*
- Suolapohjainen aine 5 litraa/tonni tuoretta ruohoa (**Suola**; Safesil Pro, koostumus natriumnitriitti, natriumbetsoaatti ja kaliumsorbaatti; Salinity AB, Göteborg, Ruotsi; annostelumäärä oli korkeampi kuin kaupallisesti suositeltu 3 l/ tonni tuoretta ruohoa).
- Happopohjainen aine annostelutasolla 5 litraa/tonni tuoretta ruohoa (**MPH**; AIV Ässä Na, koostumus muurahaishappo, propionihappo, natriumformiaatti ja kaliumsorbaatti; Eastman, Oulu)
- *plantarum* (DSM 3677, 1k20732; min. 0.5×10^{11} cfu/g), Feedtech Silage F600, DeLaval, Tumba, Ruotsi). Bakteerien annostelumäärät olivat siis 1, 0.5 ja 0.5×10^5 psy/g ruohoa.

Jokaista koekäsittelyä tehtiin 3 rinnakkaista eli yhteensä siloja oli 3 (tiivistämistavat) × 5 (säilöntäaineet) × 3 (rinnakkaiset) = 45 kappaletta.

Siilot avattiin 93 päivän säilöntäajan jälkeen. Kuvassa 4 on koesiilot juuri ennen avaamista. Siilot punnittiin ja rehupatsaan korkeus mitattiin ennen siilojen tyhjentämistä kuutiopainojen ja säilöntätappioiden määrittämistä varten. Pintakerroksen homehtuminen arvioitiin silmämääräisesti asteikolla 0–3 (0 = ei homeetta, 1 = hieman homeetta, 2 = keskimääräisesti homeetta, 3 = paljon homeetta). Siilon pilaantunut pintakerros poistettiin ja punnittiin. Loppu rehu sekoitettiin huolellisesti ja siitä otettiin näytteet analyysijä varten. Rehut analysoitiin Luken laboratorion standardimenetelmin (Seppälä ym. 2014). MPH-rehujen propionihappopitoisuus korjattiin niin, että 80 % laskennallisesta säilöntäaineen mukana lisätystä määrästä vähennettiin analysoidusta määrästä.

Raaka-aineen fermentaatiokerroin laskettiin seuraavasti: kuiva-ainepitoisuus (%) + (8 × vesiliukoiset hiilihydraatit (% kuiva-aineessa) / puskurikapasiteetti (g/100 g)). Käymistappio laskettiin säilöntäajan painohävikistä käyttäen kerrointa 1,44. Kerroin perustuu siihen, että hiilidioksidin muodostumisen yhteydessä muodostuu myös vettä, joka jää siiloon (Knický & Spörndly 2015). Rehujen jälkilämpenemisherkkyys eli aerobinen stabiilisuus määritettiin pakkaamalla 500 g säilörehua pieneen polystyreenilaatikkoon avoimessa muovipussissa siten, että näyte sai ilmaa. Näytteeseen asetettiin termoparikaapeli, jonka avulla näytteen lämpötila mitattiin automaattisesti 10 minuutin välein MicroLite USB Data loggerilla. Näytteen aerobisen stabiilisuuden katsottiin päättyneen, kun sen lämpötila nousi 2 °C korkeammaksi kuin ympäröivä lämpötila (keskiarvo 19,4, SD 0,43, minimi 18,6 ja maksimi 20,8 °C).



Kuva 4. Koesiilot valmiina avattaviksi 3 kk säilöntäajan jälkeen. Kuva: Luke/Marcia Franco.

Tulokset analysoitiin tilastollisesti SAS Mixed-proseduurilla käyttäen mallissa kiinteinä tekijöinä tiivistämistapaa ja säilöntäainekäsittelyä sekä satunnaistekijänä rinnakkaisia. Käsitteilyjen eroja arvioitiin kiinteiden tekijöiden P-arvoilla ja lisäksi käsittelyiden parivertailut tehtiin Tukeyn testillä.

2.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

2.3.1. Raaka-aineen ominaisuudet

Säilörehun raaka-aineen koostumus oli varsin tyypillinen (Taulukko 1). Kuiva-ainepitoisuus 358 g kilossa on samaa luokkaa kuin tyypillisesti lypsykarjalle käytetyissä rehuissa. Raaka-aineen sokeripitoisuus ja D-arvo pienenevät jonkun verran esikuivauksen aikana. Muutokset hiivojen, homeiden ja aerobisten bakteerien määrässä sen sijaan olivat vähäisiä ja pitoisuudet melko korkeita. Fermentaatiokerroin 50 kuvastaa suhteellisen helposti säilöttävää rehua, sillä rehun puskurikapasiteetti oli heinille tyypillinen, ja kuiva-aine- sekä sokeripitoisuudet suhteellisen korkeita. Puskurikapasiteetti kertoo siitä, miten paljon happoja tarvitaan pH:n laske- miseksi, sokeri toimii ravintona bakteereille maitohapon (ja haihtuvien rasvahappojen) muo- dostamiselle ja korkeahko kuiva-ainepitoisuus rajoittaa osaltaan haitallisten mikrobien toimin- ta. Fermentaatiokertoimella voidaan kuvata säilörehun raaka-aineen ”säilöttävyyttä”. Kun ker- roin on alle 35, rehu on vaikeasti säilöttävää, välillä 35–45 keskimääräistä ja kun se on yli 45, rehu on helposti säilöttävää. Fermentaatiokertoimen laskennassa tarvittavan kuiva-ainepitoi- suuden mittaaminen onnistuu kohtuullisesti tilaolosuhteissa, mutta puskurikapasiteetin ja so- keripitoisuuden mittaamiseen ei ole tilakäyttöön soveltuvia menetelmiä. Tulokset pitäisi saada hyvin nopeasti, jotta niitä voisi hyödyntää esim. säilöntäainevalintaa tehtäessä.

Taulukko 1. Säilörehujen raaka-aineen koostumus ennen kuivausta ja n. 18 h kestäneen ko- neellisen kuivauksen jälkeen.

	Ennen kuivausta	Kuivauksen jälkeen
Kuiva-aine (ka), g/kg	249	358
Puskurikapasiteetti, g maitohappoa/100 g	6,4	5,0
Fermentaatiokerroin	39	50
Kuiva-aineessa, g/kg		
Tuhka	80	82
Raakavalkuainen	141	147
Vesiliukoiset sokerit	110	89
Kuitu (NDF)	597	588
D-arvo, g/kg ka	713	704
Mikrobiologinen laatu, pmy/g		
Hiivat	$1,1 \times 10^5$	$4,4 \times 10^5$
Homeet	$3,8 \times 10^4$	$7,3 \times 10^4$
Aerobiset bakteerit	$3,0 \times 10^7$	$3,8 \times 10^8$

2.3.2. Tiivistämistapojen vaikutukset

Säilöntäainekäsittelyiden ja tiivistämistavan vaikutukset nurmisäilörehujen laatuun on esitetty Taulukossa 2 ja Kuvissa 5–8. Rehujen tiiviydessä saavutettiin koesuunnitelman mukaisesti selvä ero (485 vs. 382 kg/m³ tiiviissä ja löyhässä keskimäärin), mutta tiivistyksen vaikutukset rehujen laatuun jäivät yllättävän vähäisiksi. Ainoat tilastollisesti merkitsevät tiivistämistapojen vaikutukset olivat viivästetyn sulkemisen ja lisäpainotuksen hieman suuremmat käymistappiot säilönän aikana ja hieman yllättäen pienempi pintapilaantumisen määrä.

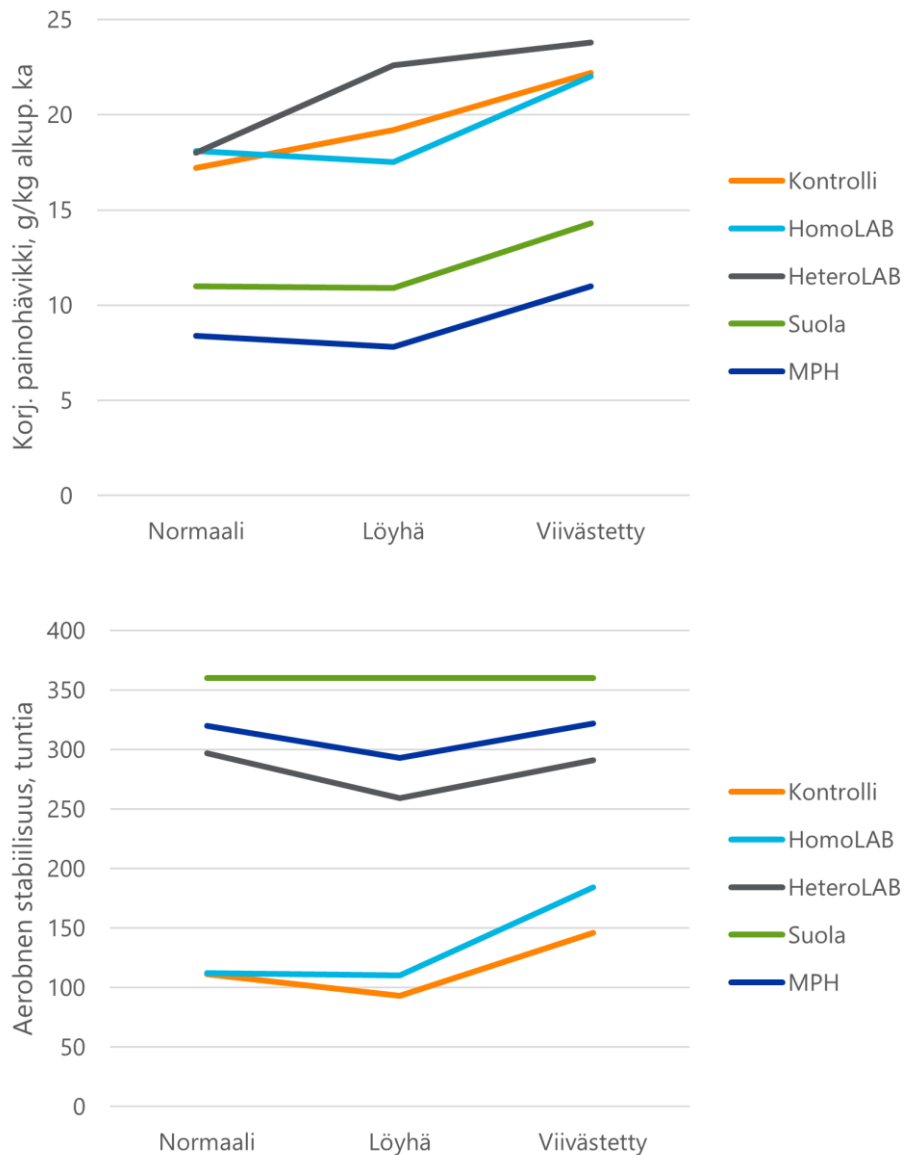
Selitys tiivistystapojen vähäiselle vaikutukselle on todennäköisesti se, että pilottisiilot eivät tässä suhteessa jäljittele käytännön olosuhteita riittävän hyvin, sillä ne ovat ilmatiiviimpiä kuin maatilamittakaavan siilot. Tällöin ilma ei pääse etenemään siilossa varastoinnin aikana. Samoin aerobisen stabiilisuuden mittausta aloitettiin välittömästi siilon avaamisen jälkeen, kun maataloilla siilot ovat syöttövaiheessa pitkään ilmalle alttiina ja ilman eteneminen löyhässä rehumassassa saa enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa rehuun. Koetekniikan kannalta positiivisena voidaan pitää sitä, että pienet erot siilojen tiiviydessä eivät vaikuta tuloksiin. Säilöntäainekäsittelyiden (MPH=muurahaishappopohjainen) ja tiivistämistavan (normaali, löyhä ja normaalisti tiivistetty ja seuraavana päivänä lisätiivistetty + suljettu (Norm+)) vaikutukset nurmisäilörehujen laatuun.

Taulukko 2. Säilöntäainekäsittelyiden (MPH=muurahaishappopohjainen) ja tiivistämistavan (normaali, löyhä ja normaalisti tiivistetty ja seuraavana päivänä lisätiivistetty + suljettu (Norm+)) vaikutukset nurmisäilörehujen laatuun.

	Säilöntäaine (SA)					SEM	Tiivistys/sulkeminen (T)			SEM	Tilastollinen merkitsevyys		
	Kontrolli	Homo-ferm. ympä	Heteroferm. ympä	Suola	MPH		Norm.	Löyhä	Norm+		SA	T	SA×T
Kuiva-aine (ka), g/kg	380	398	404	371	377	10,5	383	379	396	8,1	0,15	0,31	0,92
pH	4,28 ^{ab}	4,21 ^c	4,30 ^{ab}	4,25 ^{bc}	4,34 ^a	0,014	4,27	4,27	4,28	0,011	<0,001	0,76	0,64
Ammoniakki-N, g/kg N	56 ^{ab}	50 ^{bc}	54 ^{ab}	61 ^a	42 ^c	2,2	53	53	52	1,7	<0,001	0,78	0,90
Orgaanisen aineen sulavuus, g/g	0,749 ^c	0,750 ^c	0,759 ^{ab}	0,753 ^{bc}	0,761 ^a	0,0017	0,756	0,754	0,753	0,0013	<0,001	0,303	0,106
Kemiallinen koostumus, g/kg ka													
Tuhka	83 ^a	81 ^{ab}	78 ^b	83 ^a	83 ^a	0,9	82	82	81	0,7	<0,001	0,96	0,91
Vesiliukoiset hiilihydraatit	13 ^b	15 ^b	9 ^b	13 ^b	54 ^a	3,4	22	20	20	2,6	<0,001	0,72	0,88
Etanoli	8,9 ^a	7,1 ^b	7,9 ^{ab}	3,1 ^c	1,2 ^d	0,34	5,8	5,6	5,6	0,3	<0,001	0,84	0,79
Maitohappo	78,3 ^a	78,4 ^a	75,1 ^a	74,5 ^a	45,9 ^b	1,98	71,2	69,6	70,4	1,53	<0,001	0,77	0,69
Etikkahappo	12,1 ^b	11,8 ^b	16,2 ^a	16,1 ^a	6,3 ^c	0,31	12,5	12,7	12,4	0,24	<0,001	0,66	0,47
Propionihappo	0,09 ^b	0,08 ^b	0,09 ^b	0,09 ^b	2,72 ^a	0,03	0,61	0,65	0,59	0,024	<0,001	0,19	0,24
Korjattu propionihappo	0,09 ^b	0,08 ^b	0,09 ^b	0,09 ^b	0,23 ^a	0,026	0,12	0,13	0,11	0,020	0,00	0,66	0,97
Voihappo	0,05	0,01	0,01	0,01	0	0,014	0,01	0,02	0,02	0,010	0,09	0,44	0,73
Haihtuvat rasvahapot	12,2 ^b	11,9 ^b	16,3 ^a	16,3 ^a	6,6 ^c	0,32	12,6	12,8	12,5	0,25	<0,001	0,62	0,49
Käymistuotteet	99,4 ^a	97,4 ^a	99,3 ^a	93,8 ^a	53,7 ^b	2,17	89,6	88,1	88,5	1,68	<0,001	0,82	0,79
Etikkahappo/maitohappo	6,50 ^a	6,72 ^a	4,66 ^b	4,64 ^b	7,27 ^a	0,231	5,98	5,78	6,10	0,18	<0,001	0,46	0,60
Aerobinen stabiilisuus (2 °C), tuntia	117 ^c	135 ^c	272 ^b	360 ^a	312 ^{ab}	19,8	237	221	259	15,4	<0,001	0,23	0,97
Käymistappiot, g/kg alkup.ka	19,5 ^a	19,2 ^a	21,4 ^a	12,1 ^b	9,1 ^b	0,76	14,6 ^b	15,6 ^b	18,7 ^a	0,59	<0,001	<0,001	0,60
Tiheys, kg/m ³	453	432	447	454	454	9,8	485 ^a	382 ^b	477 ^a	7,6	0,49	<0,001	0,30
Pintapilaantuma, % tuoreesta	8,1 ^a	7,0 ^a	6,9 ^a	0 ^b	8,0 ^a	0,38	6,1 ^a	7,0 ^a	4,8 ^b	0,29	<0,001	<0,001	<0,001
Pinnan homeisuus asteikolla 0–3	2,1 ^a	2,2 ^a	1,9 ^a	0 ^b	2,5 ^a	0,2	1,7	1,9	1,7	0,15	<0,001	0,68	0,69
Homeet, pmy/g	1,4×10 ³	1,1×10 ³	8,2×10 ²	9,9×10 ²	2,1×10 ⁴	9,1×10 ³	3,7×10 ²	1,4×10 ⁴	5,1×10 ²	7,0×10 ³	0,45	0,30	0,50
Hiivat, pmy/g	1,1×10 ⁵	5,2×10 ⁵	1,1×10 ³	8,2×10 ²	2,4×10 ³	2,4×10 ⁵	3,2×10 ⁵	5,9×10 ³	5,2×10 ⁴	1,8×10 ⁵	0,47	0,42	0,46

SEM: keskiarvon keskivirhe. Käsittelykeskiarvot, joilla ei ole yhteistä yläindeksikirjainta, ovat tilastollisesti merkitsevästi erilaisia (P < 0.05) Tukeyn testin perusteella.

Myös viivästetyn sulkemisen ja lisätiivistyksen vaikutukset rehujen käymislaatuun olivat vähäisiä. Viivästäminen kuitenkin lisäsi käymistappioiden määrää (Kuva 5).



Kuva 5. Säilörehujen käymistappiot ja aerobinen stabiilisuus kolmella eri tiivistämistavalla (normaali, löyhä, viivästetty sulkeminen) koesäilörehuissa, jotka oli säilötty viidellä eri säilöntäainekäsittelyllä (kontrolli, homofermentatiivinen ymppe (HomoLAB), heterofermentatiivinen ymppe (HeteroLAB), suolatyyppinen säilöntäaine (Suola) ja muurahaishappopohjainen säilöntäaine (MH).

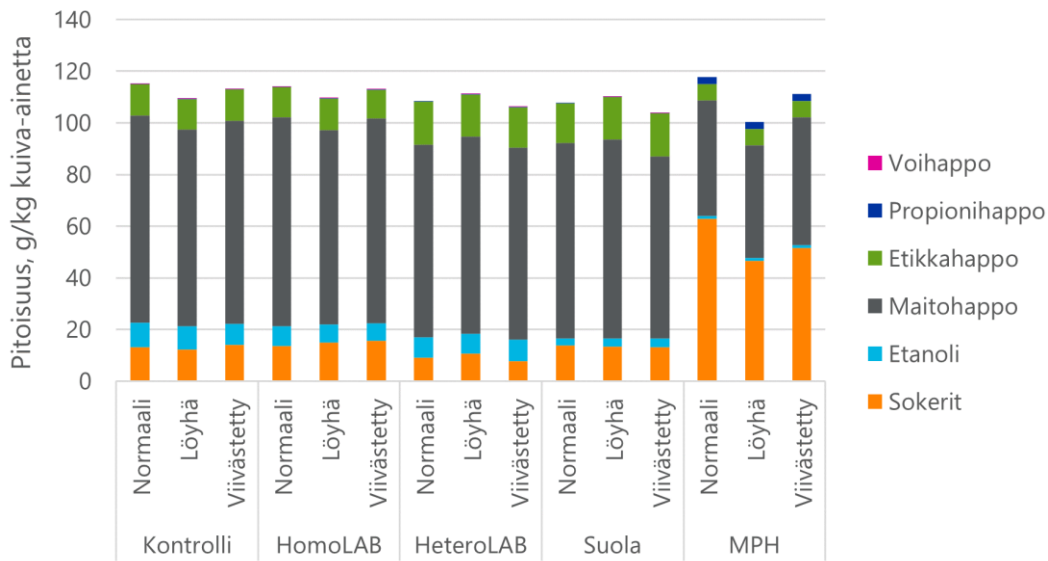
2.3.3. Säilöntäaineiden vaikutukset

Säilöntäaineiden vaikutukset rehujen laatuun olivat loogisia ja erot rehujen laadussa aineiden toimintaperiaatteiden mukaisia. MPH rajoitti selvästi rehujen käymistä niin että käymishappojen pitoisuudet olivat pienempiä ja jäännöskereiden määrä suurempi kuin muissa rehuissa (Kuva 6). HO laski tehokkaimmin rehujen pH:ta puhtaan ja runsaan maitohappokäymisen johdosta (Kuva 7). HE tuotti teorian mukaisesti rehuun enemmän etikkahappoa kuin HO. Suolatyyppisen säilöntäaineen vaikutukset käymislaatuun olivat melko vähäisiä, mutta etanolia siinä

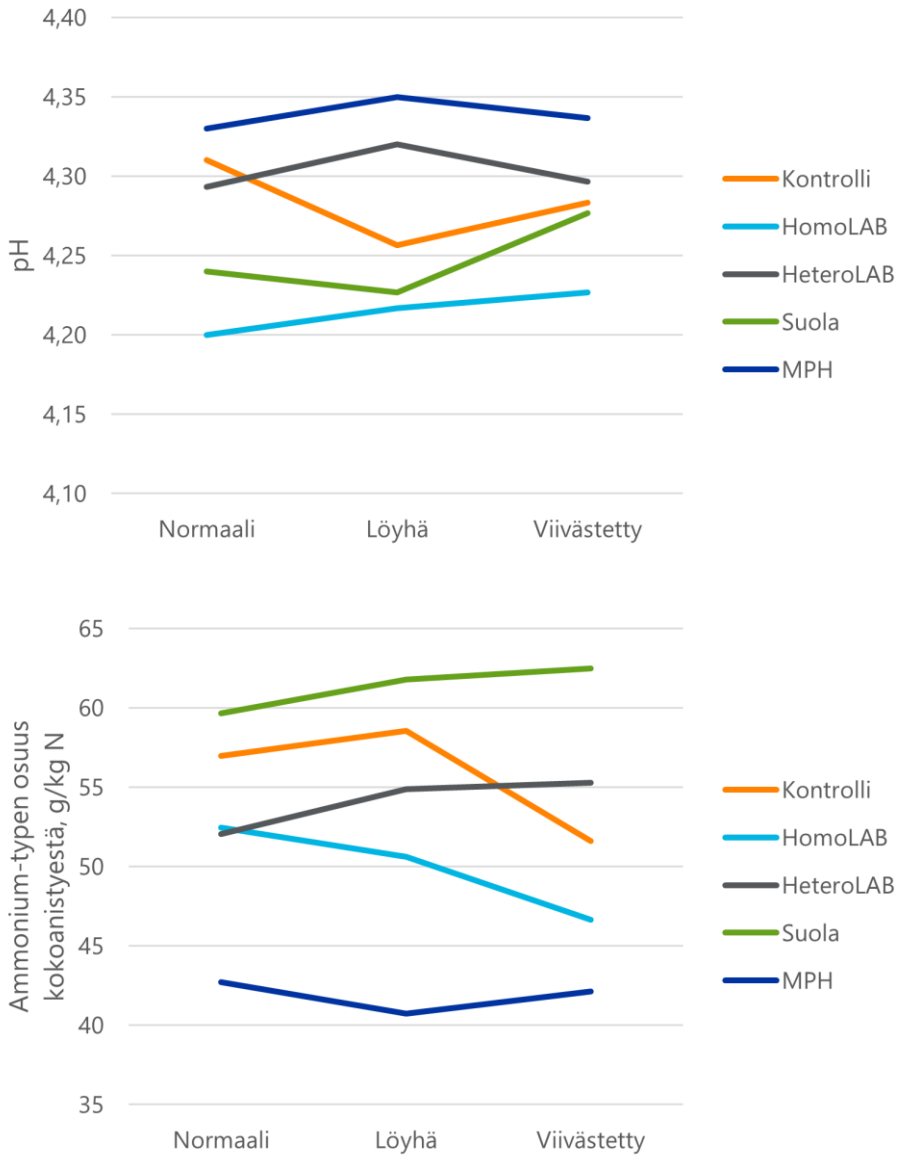
oli vähemmän ja etikkahappoa enemmän kuin kontrollirehussa. Tutkittavat käsittelyt eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi rehujen mikrobiologiseen laatuun.

Säilönnän aikana tapahtuvassa käymisprosessissa mikrobit kuluttavat rehumassan ravintoaineita, joista muodostuu mm. rehua säilövät käymishapot. Samalla tapahtuu myös käymistäpintoja ja rehun hyvin sulavia ravintoaineita menetetään hiilidioksidin muodossa. Säilörehun mikrobit käyttävät ensisijaisesti rehun hyvin sulavia ravintoaineita, joita myös nauta ja sen pötsin mikrobit pystyvät käyttämään hyväkseen. Jos mikrobitoiminta rehussa on kovin voimakasta, hyvin sulavien ravintoaineiden käyttäminen on runsasta ja huonosti sulavien ainesosien suhteellinen määrä kasvaa. Ilmiö on havaittavissa tämän kokeen säilörehujen *in vitro* orgaanisen aineen sulavuudessa (Kuva 8). Sulavuus oli MPH-rehussa korkeampi kuin kontrolli-, HO- ja Suola-rehuissa, mutta ero HE-rehuun ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

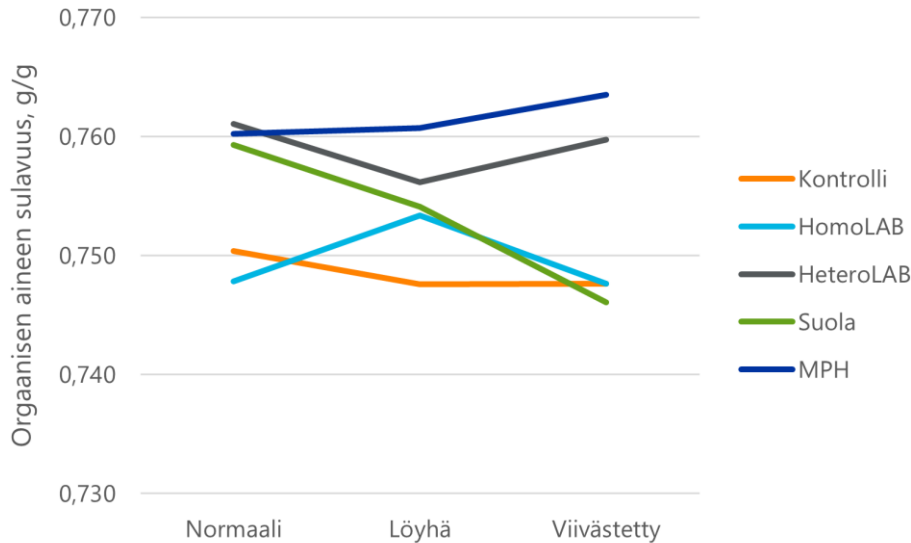
Suolatyypinen säilöntäaine osoittautui erittäin tehokkaaksi aerobisen pilaantumisen estäjäksi, sillä Suola-rehut eivät lämmenneet ollenkaan 360 h (15 vrk) kestäneen seurantajakson aikana. Tässä kokeessa käytetty annostelutaso oli kuitenkin selvästi käytännön suositusta korkeampi 5 vs 3 l/tonni). Seuraavaksi parhaiten menestyi MPH (12 vrk stabiilisuus). HE-ymppi tuotti rehuun aerobista stabiilisuutta parantavaa etikkahappoa niin että sen aerobinen stabiilisuus oli parempi (11 vrk) kuin HO-ympin ja kontrollin, jotka eivät tilastollisesti merkitsevästi eronneet toisistaan. Kontrollin stabiilisuus oli numeerisesti lyhin (alle 5 vrk).



Kuva 6. Sokereiden ja käymistuotteiden määrä kolmella eri tiivistämistavalla (normaali, löyhä, viivästetty) koესäilörehuissa, jotka oli säilöetty viidellä eri säilöntäainekäsittelyllä (kontrolli, homofermentatiivinen ymppi (HomoLAB), heterofermentatiivinen ymppi (HeteroLAB), suolatyypinen säilöntäaine (Suola) ja muurahaishappopohjainen säilöntäaine (MPH)).



Kuva 7. Säilörehujen pH ja ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä kolmella eri tiivistämistavalla (normaali, löyhä, viivästetty) koesäilörehuissa, jotka oli säilötty viidellä eri säilöntäainekäsittelyllä (kontrolli, homofermentatiivinen ymppi (HomoLAB), heterofermentatiivinen ymppi (HeteroLAB), suolatyyppinen säilöntäaine (Suola) ja muurahaishappopohjainen säilöntäaine (MH)).



Kuva 8. Säilörehujen orgaanisen aineen sulavuus (g/g) kolmella eri tiivistämistavalla (normaali, löyhä, viivästetty) koesäilörehuissa, jotka oli säilötty viidellä eri säilöntäainekäsittelyllä (kontrolli, homofermentatiivinen ymppe (HomoLAB), heterofermentatiivinen ymppe (HeteroLAB), suolatyypinen säilöntäaine (Suola) ja muurahaishappopohjainen säilöntäaine (MPH)).

2.4. Johtopäätökset

Tämän kokeen tulokset eivät osoittaneet rehujen tiivistämisellä tai siilojen sulkemisen viivästämisellä ja lisäpainotuksella olevan kovin selviä vaikutuksia rehujen laatuun. Rehujen tiivistämisellä on maatilamittakaavassa kuitenkin selkeä rehujen käymislaatuun ja jälkilämpenemisherkyyteen vaikuttava tekijä. Todennäköisesti pilottisiiloteknikka ei tässä suhteessa jäljittele käytännön olosuhteita riittävästi. Toisaalta se kertoo, etteivät pienet erot pilottisiilojen tiiviydessä aiheuta merkittävää virhettä koetuloksiin.

Viivästetty siilon sulkeminen lisäsi säilönnän aikaisia käymistappioita, vaikka numeerisesti vaikutus oli pieni. Viivästetty sulkeminen ja lisätiivistys paransi numeerisesti aerobista stabiiliisuutta kontrolli- ja HO-rehuissa siilojen välittömään sulkemiseen verrattuna, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Parempaa numeerista aerobista stabiiliisuutta ei selitä tässä kokeessa säilörehujen käymislaatu, sillä rehujen etikka- ja voihappopitoisuuksissa ei ollut eroja.

Säilöntäaineiden toimintaperiaatteissa ja tuloksissa oli selkeitä eroja. Muurahaishappopohjainen säilöntäaine rajoitti selvästi käymistä. Myös rehun sulavuus oli MPH-rehuissa paras (ero HE-ymppeihin ei ollut tilastollisesti merkitsevää). Suola vähensi etikkahapon pitoisuutta kontrolliin verrattuna ja oli tehokas jälkilämpenemisen estäjä. Heterofermentatiivinen ymppe tuotti rehuun enemmän etikkahappoa kuin homofermentatiivinen ymppe, mikä näkyi parempana aerobisena stabiiliisuutena. Homofermentatiivinen ymppe ei tässä aineistossa eronnut merkittävästi kontrollirehusta.

Tiivistystapojen ja säilöntäainekäsittelyiden välillä ei ollut käytännössä yhdysvaikutuksia eli säilöntäaineet vaikuttivat tuloksiin samaan tapaan niin normaalisti ja löyhästi tiivistetyssä kuin viivästetystikin suljetussa rehuissa.

2.5. Viitteet

Heikonen, M. 1990. AIV – keksintöjen aika. Helsinki: Kirjayhtymä. ISBN 951-26-3544-5.

Huhtamäki, T. 2021. Tuotosseurantakarjojen rehunkulutus 2020. ProAgria Keskusten Liitto. Saatavissa: https://proagria.fi/sites/default/files/attachment/rehunkulutus2020_maidon_tulosseminaari_huhtamaki_lisatty_luomukarjat.pdf.

Knický, M. & Spörndly, R. 2015. Short communication: Use of a mixture of sodium nitrite, sodium benzoate and potassium sorbate in aerobically challenged silages. *Journal of Dairy Science* 98: 5729–5734.

Seppälä, A., Kuusisto, K., Mäki, M. & Rinne, M. 2014. Eri säilöntäaineiden soveltuvuus härkäpapevehnä ja hernevehnäkokoviljojen säilöntään. Edistystä luomutuotantoon -loppuraportti. Toim. A. Huuskonen. MTT Raportti 175. s. 38–72. ISBN: 978-952-487-587-5.

Wilkinson, J.M. & Rinne, M. 2018. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. *Grass and Forage Science* 73: 40–52. Doi 10.1111/gfs12327.

Wilkinson, J.M. & Rinne, M. 2018. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. *Grass and Forage Science* 73: 40–52. Doi 10.1111/gfs12327.

3. Tilasäilörehujen lämpenemisherkkyys ja sen vaikutus rehun laatuun

Katariina Manni¹, Marcia Franco¹, Arto Huuskonen² ja Marketta Rinne¹

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

²Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31 A, 71750 Maaninka

Tiivistelmä

Säilörehu on määrällisesti ja ravitsemuksellisesti merkittävin yksittäinen märehtijöiden ruokinassa käytetty rehukomponentti. Siten siihen liittyvän hävikin vähentäminen voi tarkoittaa isoaikin säästöä. Säilörehun teossa säilöntätappioiden minimoimiseksi on tärkeää tiedostaa säilönnän onnistumisen kannalta kriittiset vaiheet ja panostaa rehunteossa erityisesti niiden hallintaan. Säilörehun säilönnän uudeksi haasteeksi on noussut erityisen kuivat rehut, joiden kuiva-ainepitoisuus on yli 400 g/kg. Tällaisten rehujen ongelmana on erityisesti rehun pintapilaantuminen siilossa/aumassa sekä jälkilämpeneminen rehuvaraston avaamisen jälkeen.

Säilörehujen aerobisen pilaantumisen vaikutuksia rehujen laadun muutoksiin tutkittiin Luonnonvarakeskuksen Jokioisten toimipisteessä. Kolmelta maatilalta kerättiin laakasiiloihin tehdyistä säilörehuista näytteet yhden päivän aikana. Rehunäytteistä määritettiin kuiva-aine, pH, sokerit, maito-, etikka-, propioni- ja voi happo, etanoli, ammoniumtyppi, liukoinen typpi, nitraatti, tuhka ja sulavuus. Yksi rehuista (Tila 1) oli säilötty muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella ja siitä analysoitiin myös muurahaishappo. Lisäksi kaikista rehuista määritettiin mikrobiologinen laatu (hiivat, homeet, bakteerit). Rehunäytteistä määritettiin aerobinen stabiilisuus. Aerobisen stabiilisuuden katsottiin päättyneen, kun rehun lämpötila nousi 2 °C korkeammaksi kuin ympäröivä lämpötila. Lisäksi 15 vuorokauden mittaisen jakson ajan seurattiin ilmalle altistumisen aiheuttamia muutoksia rehun hygieenisessä laadussa ja ruokinnallisessa arvossa.

Kaikissa kolmessa säilörehussa oli tiloilla havaittu lämpenemistä. Rehut olivat hyvin erityyppisiä erityisesti kuiva-ainepitoisuuksiltaan: 306 (Tila 1), 503 (Tila 2) ja 404 (Tila 3) g/kg. Tilojen 2 ja 3 rehujen kuiva-ainepitoisuudet olivat laakasiilossa säilöttävän raaka-aineen suosituksia korkeammat. Näiden tilojen rehujen pH ja ammoniumtyppi olivat myös korkeammat kuin Tilan 1 rehussa. Tilan 1 rehun mikrobiologinen laatu oli muita rehuja huonompi. Tilan 3 säilörehun lämpenemisherkkyys oli pienin ja Tilan 1 säilörehu alkoi lämmetä selvästi muita nopeammin. Altistettaessa rehuja ilmalle Tilan 1 rehu osoittautui kaikkein pilaantumisherkimmäksi. Laboratoriomittakaavan testissä se alkoi lämmetä nopeimmin ja sen mikrobiologinen laatu oli huonoin. Aerobisen pilaantumisen aikana kyseisessä rehussa käymishappojen määrä laski selvästi, pH nousi ja sulavuus huononi (723 → 679 g/kg ka) selvimmin. Tilalla 1 säilöntäaineen annostelu oli jäänyt valmistajan suositusta pienemmäksi, mikä saattoi osaltaan selittää huonoa säilyvyyttä. Lisäksi kyseinen rehu oli selvästi muita kosteampaa, mikä on hyvä kasvualusta rehua pilaaville mikrobeille. Kyseisen rehun mikrobimäärä oli jo lähtötilanteessa muita rehuja korkeampi, mikä osaltaan saattaa selittää eroja. Tilojen 2 ja 3 rehuissa edellä mainitut muutokset olivat vähäisiä.

Lämpenemisen estämisessä on oleellista hapen pääsyn rajoittaminen siiloon joka vaiheessa. Avainasemassa ovat huolellinen rehun säilöntä ja siilotyöskentely, siilon peittäminen, ilmatiiviys säilönnän aikana, riittävä syöttönopeus sekä siisti rehurintama ja rehun pöyhimisen minimointi syöttövaiheessa. Lisäksi jälkilämpenemistä voidaan jossain määrin hallita säilöntäaineilla, kunhan oikeasta annostelumäärästä huolehditaan.

Asiasanat: säilörehu, kuiva-aine, säilöntä, aerobinen stabiilisuus, jälkilämpeneminen, home

3.1. Johdanto

Säilörehu on määrällisesti ja ravitsemuksellisesti merkittävin yksittäinen märehittäjien ruokinassa käytetty rehukomponentti. Luonnonvarakeskuksen (Luke) virallisten tilastojen mukaan säilörehua tehtiin vuonna 2021 lähes 8 miljardia kiloa (Luken tilastot 2022). Koska kotieläintuottajan on vaikea vaikuttaa lopputuotteesta saatavaan perushintaan, yksi tehokkaimmista keinoista vaikuttaa tuotannon kannattavuuteen on tuotantokustannusten karsinta ja siinä erityisesti rehukustannuksen pienentäminen tuotantotulosten heikentymättä. Säilörehun tuotantokustannuksen pienentäminen on yksi keskeinen tekijä, jolla voidaan vaikuttaa kustannuksiin ja parantaa taloudellista tulosta.

Säilörehun määrä ja laatu ovat avainasemassa tarkasteltaessa rehun tuotantokustannuksia ja myös tuotantotuloksia, jotka molemmat vaikuttavat tuotannon kannattavuuteen. Yksi keino pienentää rehun tuotantokustannusta on pyrkiä minimoimaan määrällinen ja laadullinen rehuhävikki tuotantoketjun kaikissa vaiheissa. Lisäksi hävikkiä pienentämällä voidaan pienentää kotieläintuotteiden ympäristökuormitusta, kun tuotantopanoksia ei mene hukkaan. Nurmisäilörehun osalta hävikin pienentämisen kannalta kriittinen vaihe on säilönnän onnistuminen.

Nurmen säilönnässä tapahtuu aina väistämättä jonkun verran tappioita (McDonald ym. 1991), joten säilörehun teossa on keskeistä säilöntätappioiden minimointi (Huuskonen ym. 2020). Säilöntätappioiden minimoinnissa on tärkeää tiedostaa säilönnän onnistumisen kannalta kriittiset vaiheet ja panostaa rehunteossa erityisesti niiden hallintaan. Näin varmistetaan rehun hyvä säilönnällinen laatu, joka vaikuttaa myös rehun ravitsemukselliseen laatuun.

Suomalaisen säilörehun säilönnän haasteena ovat pitkään olleet märät rehut, mutta esikuivauksen vakiintumisen myötä uudeksi haasteeksi on noussut erityisen kuivat rehut, joiden kuiva-ainepitoisuus on yli 400 g/kg. Säilörehun tavoitekuiva-ainepitoisuus riippuu myös säilötyypistä. Laakasiilorehulle sopiva kuiva-ainepitoisuus on n. 250–350 g/kg, mutta jäätyksen ehkäisemiseksi ja paalien painon pienentämiseksi pyöröpaaleihin kannattaa tavoitella laakasiilorehua kuivempaa raaka-ainetta (n. 300–500 g/kg). Kun pyöröpaalutun rehun kuiva-ainepitoisuus on yli 500 g/kg, puhutaan jo säilöheinästä.

Jos korjuuolosuhteet ovat rehunteon aikana erityisen kuivat, lämpimät ja tuuliset, rehun liiallista kuivumista voi olla vaikea ehkäistä. Myös kasvuston määrä vaikuttaa yllättävän paljon kuivumiseen eli, jos sato on heikko ja karhot ohuita, kuivuminen on nopeaa. Kuivuusstressin vallitessa nurmen pystykasvuston kuiva-ainepitoisuus saattaa olla jo jopa luokkaa 300 g/kg, jolloin rehun liiallinen kuivuminen on hankalasti vältettävissä varsinkin, jos rehu vielä niitetään karhelle ennen korjuuta. Tällaisessa tilanteessa joudutaan väistämättä säilömään hyvin kuivaa rehua, vaikka tiedetään, että säilönnän haasteet kasvavat.

Esikuivatun nurmisäilörehun käytön yleistyessä ja varsinkin korjattaessa rehu suosituksia kuivempaan erityiseksi haasteeksi on noussut rehun pintapilaantuminen siilossa/aumassa sekä jälkilämpeneminen rehuvaraston avaamisen yhteydessä. Säilörehun korkea kuiva-ainepitoisuus altistaa rehut aerobiselle pilaantumiselle, sillä kuivaa rehua on vaikea tiivistää ja ilma liikkuu paremmin kuivassa kuin kosteassa rehussa. Lisäksi korkea kuiva-ainepitoisuus rajoittaa käymistä, mikä vähentää käymishappojen muodostumista ja siten myös pH:n laskua. Tällaiset olosuhteet suosivat homeiden kasvua rehussa. Lisäksi kuivemman rehun syöttönopeus laakasiilosta on hitaampaa kuin kosteamman, koska samaan kuiva-ainemäärään tarvitaan vähemmän kiloja kuin kosteampaa rehua käytettäessä. Mitä kosteampaa rehu on, sitä enemmän sen mukana siirretään vettä. Rehun syöttönopeuden hidastuessa pitkittyy sen altistuminen ilmalle, mikä pahentaa pilaantumisongelmaa entisestään.

Käytännössä kuivahkon säilörehun pilaantuminen havaitaan homehtumisena ja aerobisten mikrobien aineenvaihdunnan aiheuttamana rehun nopeana lämpenemisenä syöttövaiheen aikana tai jopa jo siilossa. Ravitsemuksellisia tappioita rehuun syntyy, kun hiivat ja bakteerit käyttävät rehun sisältämiä sokereita, maitohappoa ja valkuaista. Tyypillisesti tämä näkyy pienentyneenä sokereiden ja maitohapon määränä, minkä lisäksi ammoniakkipitoisuus nousee. Tappiot voivat pahimmillaan viedä jopa kymmeniä prosentteja säilötyn rehun tuotantovaikutuksesta. Lisäksi pilaantunut rehu lisää rehuhävikkiä ja aiheuttaa ylimääräistä työtä, mitkä nostavat rehun tuotantokustannusta. Lisätyötä aiheutuu erityisesti siitä, kun pilaantunutta rehua joudutaan erottelemaan, sillä homeista tai muuten pilaantunutta rehua ei voida turvallisesti käyttää millenkään eläinryhmälle (Manni ym. 2022). Myös ihmisille homeisen rehun käsittely on merkittävä terveysriski. Yleensä homepesäkkeiden esiintyminen rehussa johtaa siihen, että rehua kuoritaan siilon päältä pois paksu kerros, sillä homepesäkkeiden erottelu olisi liian työläs ratkaisu. Mikäli hometta esiintyy kauttaaltaan rehun seassa, on homeisten kohtien erottelu lähes mahdotonta. Joissain tapauksissa homeita ei näy rehuissa silmämääräisesti, mutta rehuista saattaa silti erittyä homeiden myrkyjä, hometoksiineja, jotka ovat haitallisia niin eläimille kuin ihmisillekin.

Tässä työssä tarkasteltiin maatilamittakaavan säilörehusiiloista otettujen rehunäytteiden aerobista stabiilisuutta ja rehun lämpenemisen aiheuttamia ravintoainetappioita. Seurantaan pyrittiin löytämään ensisijaisesti laakasiiloon säilöttyjä mahdollisimman kuivia rehuja. Tavoitteena oli tuottaa numeerista tietoa säilörehun lämpenemisen aikaisista tappioista.

3.2. Aineisto ja menetelmät

3.2.1. Maatiloilta kerätyt säilörehut

Säilörehujen aerobisen pilaantumisen vaikutuksia rehujen laadun muutokseen tutkittiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Jokioisten toimipisteessä. Tätä varten kolmelta maatilalta kerättiin säilörehunäytteet. Kauimmainen tila sijaitsi noin sadan kilometrin päässä Jokioisilta. Ensisijaisesti pyrittiin löytämään laakasiiloon varastoituja säilörehuja, jotka oli säilötty suhteellisen kuivina.

Säilörehut kerättiin maatiloilta yhden päivän aikana 5.11.2020 ja vietiin Jokioisiin jatkotoimenpiteitä varten. Rehua kerättiin noin 60 kg/tila muovilaatikoihin laakasiilon keskiosasta syöttörintauksesta. Jotta saatiin rehua, joka ei ollut ilmalle alttiina, rehunkeruukohdasta eturintauksesta poistettiin ensin rehua ja vasta tämän jälkeen otettiin tarvittava rehumäärä (Kuva 1). Lisäksi laakasiilossa olevan rehun pinnasta sekä keskikohdasta vastaleikatusta kohdasta otettiin analyysinäytteet. Pintanäyte otettiin noin 30 cm:n syvyydestä pinnasta mitattuna ja siitä määritettiin kuiva-aineen (ka) pitoisuus. Keskiosasta otetuista näytteistä määritettiin ka, pH, vesiliukoiset sokerit, maitohappo, etikka-, propioni- ja voi-happo, etanoli, ammoniumtyppi, liukoinen typpi, nitraatti, tuhka ja sellulaasiliukoisuus. Analyysit tehtiin Luken laboratorion standardimenetelmin (ks. Seppälä ym. 2016). Tilan 1 rehu oli ainoa, joka oli säilötty muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella ja siitä analysoitiin myös muurahaishappo niin pinta- kuin keskiosanäytteestäkin. Lisäksi kunkin siilon keskiosasta otettiin kolme rinnakkaista näytettä, joista määritettiin mikrobiologinen laatu (hiivat, homeet ja aerobiset bakteerit).



Kuva 1. Rehun irrotus laakasiilosta ja Luken tutkija Marcia Franco ottamassa rehunäytettä. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Rehujen keruun yhteydessä jokaisesta laakasiiloon varastoidusta rehusta mitattiin lämpötila (Kuva 2). Lämpötila mitattiin neljästä eri kohdasta pinnasta (n. 20–30 cm pintakerroksen alapuolelta), keskiosasta ja alaosasta (n. 50 cm pohjasta). Reunoista tehdyt mittaukset tehtiin n. 50 cm:n päästä laakasiilon reunoista. Tästä poikkeuksena tiloilla 1 ja 2 alaosan lämpötila mitattiin viidestä eri kohdasta. Lisäksi jokaisella tilalla mitattiin ulkoilman lämpötila.



Kuva 2. Kuvassa Luken tutkija Marcia Franco mittaamassa laakasiilossa olevan rehun lämpötilaa. Kuvat: Luke/Katariina Manni (vasemmanpuoleinen kuva) ja Luke/Marcia Franco (oikeanpuoleinen kuva).

Rehunäytteiden keruun yhteydessä kerättiin taustatietoja rehuista, joista näytteet otettiin. Taustatietoja olivat mm. rehuraaka-aine, säilöntäpäivä, säilöntäaine, säilönnän kesto kyseiseen laakasiiloon säilöittäessä, rehun painotus, siilon avaamisen ajankohta, rehun syöttönopeus (syöttörintauksen kuluminen yhdellä rehunottokerralla, leveys ja syvyys), miten usein rehua otettiin siilosta, laakasiilon mitat, rehunteon, säilönnän ja rehun syötön aikaiset erityishuomiot sekä rehun tiiviiden subjektiivinen arviointi.

3.2.2. Aerobisen stabiilisuuden ja säilöntähävikin määrittäminen

Kun säilörehut oli kerätty ja tuotu Luken Jokioisten toimipisteeseen, rehunäytteitä sekoitettiin altistaen rehu ilmalle. Heti sekoituksen jälkeen otettiin näytteet aerobisen stabiilisuuden seurantaan varten. Aerobisen stabiilisuuden määrittämistä varten jokaisesta rehusta otettiin kuusi rinnakkaista näytettä. Näytteiden aerobinen stabiilisuus määritettiin pakkaamalla noin 600 g säilörehua pieneen polystyreenilaatikkoon avoimessa muovipussissa siten, että näyte sai ilmaa (Kuva 3). Näytteeseen asetettiin termoparikaapeli, jonka avulla näytteen lämpötila mitattiin automaattisesti 10 minuutin välein MicroLite USB Data loggerilla (Kuva 3). Myös huoneilman lämpötila mitattiin. Näytteitä pidettiin tasaisessa 19,0 °C lämpötilassa (keskihajonta 0,14, minimi 18,2 ja maksimi 19,9 °C) 15 päivän ajan. Näytteen aerobisen stabiilisuuden katsottiin päättyneen, kun sen lämpötila nousi 2 °C korkeammaksi kuin ympäröivä lämpötila. Tulos ilmaistiin tunneissa.



Kuva 3. Luken tutkija Marcia Franco pakkaamassa rehunäytteitä polystyreenilaatikoihin aerobisen stabiilisuuden määrittämistä varten. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Ilmalle altistumisen aiheuttamia muutoksia säilörehun laadussa ja ruokinnallisessa arvossa seurattiin 15 vuorokauden mittaisen seurantajakson ajan hallissa, jonka lämpötila oli 16,1 °C (keskihajonta 0,14, minimi 15,9 ja maksimi 17,0 °C). Säilörehuista otettiin analyysinäytteet kolme kertaa. Määrittämiskerrat olivat 5, 10 ja 15 päivää aloitushetkestä, joka oli sama päivä, jolloin rehut kerättiin maataloilta. Seurantajakson alussa jokaista näytteenottokertaa varten punnittiin kutakin säilörehua kolme rinnakkaista viiden kilon painoista erää, jotka laitettiin erillisiin muovilaatikoihin (Kuva 4). Laatikot peitettiin kevyesti kuivumisen estämiseksi (Kuva 4). Rehuista analysoitiin kuiva-aine, pH, vesiliukoiset sokerit, maitohappo, haihtuvat rasvahapot, ammoniumtyyppi, tuhka, sellulaasiliukoisuus ja mikrobiologinen laatu (hiivat, homeet ja bakteerit) päivinä 5, 10 ja 15. Huoneen lämpötila mitattiin koko aerobisen vaiheen ajan.



Kuva 4. Rehuja pidettiin avoimissa, muovilla peitetyissä laatikoissa ilmalle alttiina 15 vuorokauden ajan ja seurattiin muutoksia niiden säilönnällisessä ja ruokinnallisessa laadussa. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

3.2.3. Tilastollinen analyysi

Tulokset analysoitiin tilastollisesti käyttäen SAS-ohjelmiston MIXED-proseduuria. Tilanäyte ja aika jonka rehu oli ilmalle alttiina, olivat mallissa kiinteitä tekijöitä ja rinnakkaiset havainnot satunnaistekijöitä. Tilanäytteiden ja ilmalle altistumisajan välisiä eroja arvioitiin parittaisina vertailuina Tukeyn testillä. Säilörehun lämpötilan ja laatuanalyysien välinen lineaarinen korrelaatio määritettiin SAS-ohjelmiston CORR-proseduurilla.

3.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.3.1. Tilasäilörehut

Tilan 1 säilörehu oli tehty nurmeseoksesta, jossa oli timoteitä, ruokonataa, puna-apilaa, raiheinää, valkoapilaa ja koiranheinää. Säilörehu oli ensimmäisen sadon rehua, joka oli korjattu noukinvaunulla aikavälillä 13.–16.6.2020. Silpun pituus vaihteli jonkin verran ja osa silpusta oli pitkäkököä, mikä osaltaan on saattanut vaikeuttaa rehun tiivistämistä. Säilöntäaineena oli AIV Ässä Na (muurahais- ja propionihappopohjainen säilöntäaine), jonka annostelutavoite oli 5 l/tonni.

Säilörehusiilo oli avattu elokuun puolivälissä. Rehua otettiin päivittäin syöttöön, joka päivä eri kohdasta. Rintaus kului 2–3 päivässä. Laakasiilon leveys oli 10 m, syvyys 50 m ja korkeus 2,5 m.

Yleisesti ottaen laakasiilossa ollut rehu oli melko hyvin tiivistettyä (Kuva 5). Säilörehu oli peitetty muovilla ja painona oli haketta, joka ei ollut levittänyt tasaisesti (Kuva 5). Ongelmana olivat linnut, erityisesti naakat, jotka olivat tehneet reikiä muoviin.



Kuva 5. Tilan 1 säilörehua laakasiilossa. Rehu oli peitetty muovilla ja painotettu hakkeella. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Säilörehussa oli erityisesti pintakerroksessa, mutta myös syvemmillä, lämmenneitä kohtia. Syvemmillä olevat lämmenneet kohdat tulivat esiin rehua otettaessa syöttöön. Lämpenemisen syyinä saattoi olla rehun pinnassa mahdollisesti olevat ilmataskut, joiden syyinä saattoi olla traktorilla ajo rehukasan päällä muovia levitettäessä. Toinen syy rehun lämpenemiselle saattoi olla se, että osa rehukuormista oli saattanut jäädä ilman säilöntäainetta. Kolmas rehun lämpenemiselle altistanut tekijä saattoi olla lintujen muovien tekemät reiät. Lähtökohtaisesti säilöntäaineen annostelu hoitui automaattisesti, mutta joskus sitä piti säätää manuaalisesti ja tällöin hapotin saattoi unohtua laittaa päälle. Lisäksi rehussa oli tummia, pahanhajuisia kohtia. Ne olivat todennäköisesti kunkin rehuntekopäivän jälkeisen säilörehun pintakerroksia. Rehua otettiin laakasiilosta traktorin etukuormaimessa olevalla rehuleikkurilla. Rehu ei irronnut tiiviinä, säännönmukaisina rehukakkuina, vaan se irtosi niin, että laakasiilon rintausta jäi löyhäksi. Suurin osa rehusta oli kuitenkin aistinvaraisesti arvioituna hyvin säilyneen oloista.

Tilan 2 säilörehu oli tehty nurmiseoksesta, jossa oli timoteita, nurminataa, puna-apilaa, raiheinää, alsikeapilaa, koiranheinää ja rehukattaraa. Säilörehu oli ensimmäisen sadon rehua, joka oli korjattu ajosilppurilla 6.6.2020. Säilöntäaineena oli käytetty Josilac Combia (heterofermentatiivinen maitohappobakteeriympäristö), jonka annostelutavoite oli valmistajan ohjeen mukainen. Rehu oli korjattu lämpimässä säässä. Ruoho oli kuivunut pellolla nopeasti, minkä seurauksena rehu jouduttiin korjaamaan tavoiteltua kuivempaan.

Säilörehusiilo oli avattu lokakuun puolivälin jälkeen. Rehua otettiin päivittäin syöttöön 3,5 m:n leveydeltä ja 30 cm:n syvyydestä, joka kerta eri kohdasta. Rintausta kului kolmessa päivässä. Laakasiilon leveys oli 11 m, syvyys 30 m ja korkeus 3 m.

Laakasiilossa ollut rehu oli erittäin hyvin tiivistettyä (Kuva 6). Rehun tiivistämisessä oli käytetty kahta painoilla varustettua traktoria. Säilörehu oli peitetty vakuukalvolla, aumamuovilla ja vihreällä verkolla ja painona oli autonrenkaita, rengasrivien välinen etäisyys noin 2 metriä (Kuva 6). Aumamuovi oli ehjä. Rehun päällä kävellessä tuntui, että muovin alla saattoi olla ilmataskuja.



Kuva 6. Tilan 2 säilörehua laakasiilossa. Rehu oli peitetty muovilla ja painotettu renkailla. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Rehussa oli valkoista hometta, jota esiintyi täplämäisesti ja nauhamaisesti erityisesti pinnassa ja reunoilla, mutta myös keskellä. Erityisesti pintakerroksessa, mutta myös syvemmällä, oli käsin tunnustelemalla havaittavia lämmenneitä kohtia. Kun rehua otettiin syöttöön, se ei lämmennyt lisää.

Tilan 3 säilörehu oli tehty nurmuseoksesta, jossa oli timoteitä, nurminataa, raiheinää ja ruokonataa. Säilörehu oli ensimmäisen sadon rehua, joka oli korjattu tarkkuussilppurilla aikavälillä 8.–13.6.2020. Säilöntäaineena oli käytetty Bonsilage Prota (homo- ja heterofermentatiivisia maitohappobakteereja sisältävä ympä), jota annosteltiin valmistajan ohjeen mukaan. Rehu oli korjattu hyvin lämpimässä säässä. Tilalla oli juuri valmistunut navetta ja rehusiilot. Rehusiilot olivat aiempaa suurempia, minkä seurauksena rehunteko kesti aiempaa kauemmin. Laakasiilon leveys oli 10 m, syvyys 36 m ja korkeus 3 m.

Laakasiilossa ollut rehu oli huonosti tiivistynyttä (Kuva 7). Lisäksi rehua otettiin laakasiilosta traktorin etukuormaimessa olevilla rehupihdeillä, mikä osaltaan aiheutti sen, että rehu oli löyhää eturintauksessa. Säilörehu oli peitetty vakuukalvolla, aumamuovilla ja vihreällä verkolla ja painona oli käytetty autonrenkaita tasaisesti koko rehupinnan päällä.



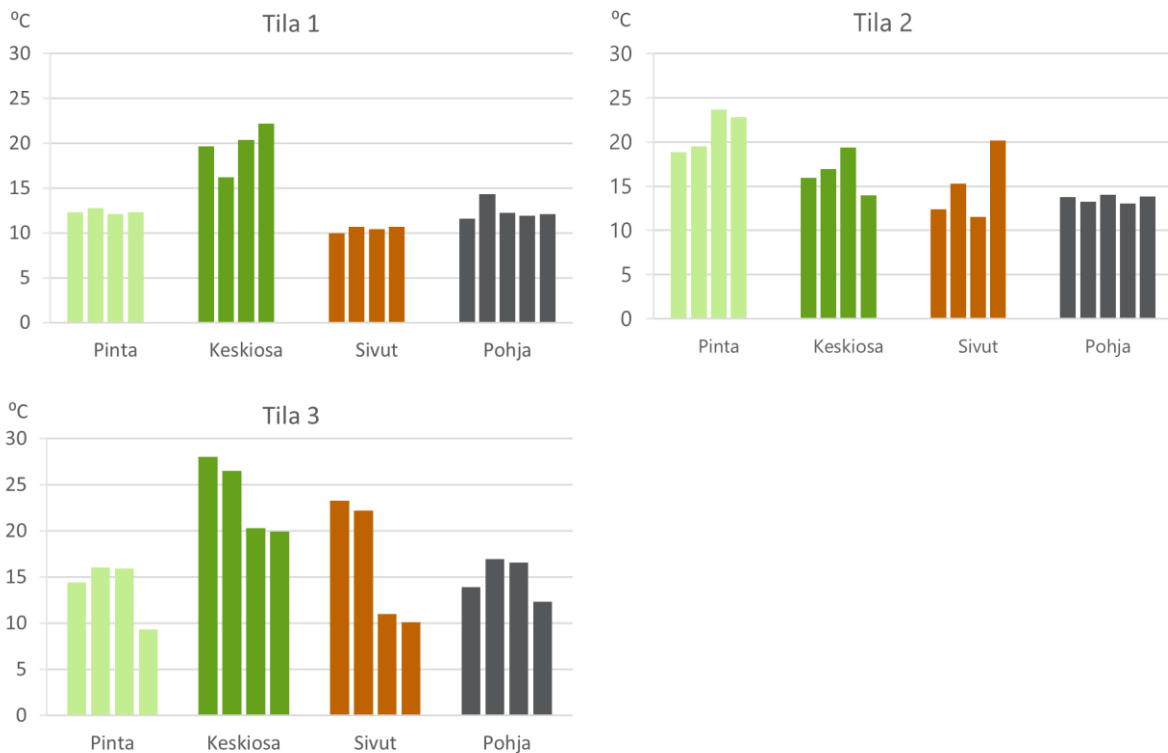
Kuva 7. Tilan 3 säilörehua laakasiilossa. Rehu oli peitetty muovilla ja painotettu renkailla. Jälkilämpenemisen hillitsemiseksi päälle oli laitettu paaleja painoksi. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Säilörehusiilo oli avattu 30.7.2020. Rehussa oli valkoista hometta, jota esiintyi täplämäisesti ja nauhamaisesti joka puolella. Lisäksi erityisesti pintakerroksessa, mutta myös syvemmällä, oli käsin tunnustelemalla havaittavia lämmenneitä kohtia. Siilon päälle oli laitettu paaleja pyrkimyksenä estää lämpenemistä (Kuva 7). Tämä oli auttanut hieman. Käytännön havaintona oli, ettei rehu ollut kovin maittavaa syötössä.

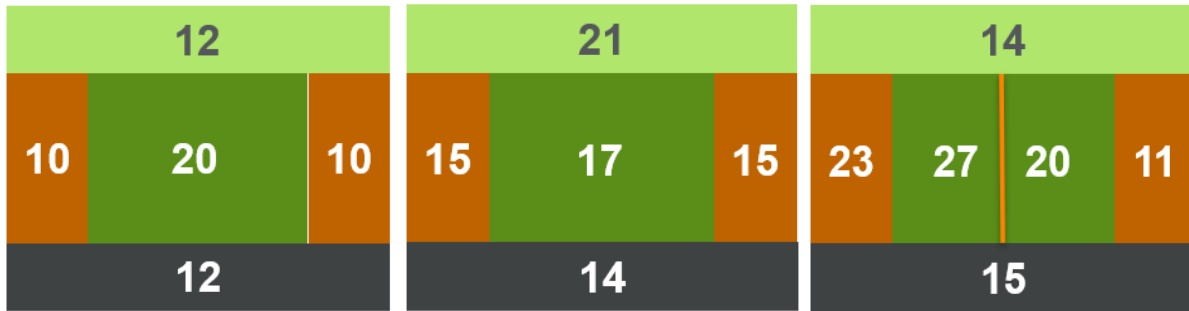
3.3.2. Säilörehujen lämpötilat laakasiilossa sekä koostumus ja säilönnällinen laatu

Ulkoilman lämpötila oli rehunäytteiden keruun aikana noin 7 °C. Laakasiiloista mitattujen rehujen lämpötilat mittauskohdittain on esitetty Kuvassa 8. Kuvassa 9 on laakasiiloissa olleiden rehujen pinnasta, keskiosasta, pohjasta ja reunoista mitatut keskimääräiset lämpötilat. Kaikilla kolmella rehulla laakasiiloista mitatut rehujen lämpötilat olivat alle 30 °C, mitä pidetään normaalina laakasiiloon säilötyn rehun lämpötilan ylärajana. Tämän perusteella millään tilalla ei ollut varsinaista rehun lämpenemisongelmaa. Vakavassa lämpenemisongelmatilanteessa rehun lämpötila on yli 40 °C.

Kaikilla kolmella tilalla Tilan 2 pintarehua lukuun ottamatta siilon keskiosassa oleva rehu oli jonkin verran lämpimämpää kuin pohjassa, reunoilla ja pinnassa oleva rehu. Tämä on tyypillinen loppusyksyn tilanne, sillä keskellä oleva rehumassa varastoi kesäajan lämmintä ulkoilmaa ja käymisen aikana muodostunutta lämpöä, minkä lisäksi reunoilla oleva rehu toimii kohtuullisen hyvänä eristeenä. Seurauksena keskiosassa olevan rehun jäähtyminen kestää kauan. Tästä syystä rehu voi kylmillä keleillä höyrytä rehun irrottamisen aikaan ilman, että kyseessä on lämpenemisongelma.



Kuva 8. Tilojen 1, 2 ja 3 säilörehujen keskimääräiset lämpötilat laakasiilojen eri kohdista mitattuna.



Kuva 9. Laakasiiloissa olevien säilörehujen keskimääräiset lämpötilat (°C) pinnassa, keskellä, pohjassa ja reunoissa vasemmalta oikealle Tiloilla 1, 2 ja 3.

Tilan 2 rehun pinta oli käsin tunnustelemalla lämpimämpää kuin muissa mittauskohdissa ollut rehu, vaikka lämpötilamittausten perusteella erot eivät olleetkaan kovin suuria. Rehun kuiva-ainepitoisuus oli myös kaikkein korkein. Korkea kuiva-ainepitoisuus saattoi olla ainakin osasyypintarehujen hienoiselle lämpenemiselle, sillä se altistaa aerobiselle pilaantumiselle. Kuivaa rehua on vaikea tiivistää, jolloin rehun sekaan jää herkästi ilmaa. Lisäksi ilma liikkuu helpommin kuivassa rehussa, mikä edelleen lisää hapellisten olosuhteiden rehua pilaavaa vaikutusta. Kuivassa rehussa on yleensä myös vähemmän käymishappoja ja korkeampi pH, mikä suosii homeiden kasvua rehussa. Säilöittäessä erityisen kuivia rehuja, yksi keino vähentää pintapilaantumista on laittaa päällimmäiseksi kerrokseksi kosteaa rehua, jos sellaista vain on saatavilla. Tähän voi myös varautua niittämällä pintaan tuleva rehu myöhemmin kuin muu sato.

Rehut olivat erityisesti kuiva-ainepitoisuudeltaan hyvin erityyppisiä (Taulukko 1). Tilojen 2 ja 3 rehujen kuiva-ainepitoisuudet olivat laakasiilossa säilöittävän raaka-aineen suosituksia korkeammat. Näiden tilojen rehujen pH, ammoniumtyppi ja liukoinen typpi olivat myös korkeammat kuin Tilan 1 rehussa. Tilan 1 rehun mikrobiologinen laatu oli muita rehuja huonompi. Erityisesti hiivojen ja homeiden määrä oli muihin rehuihin verrattuna suurempi. Tilan 3 rehussa bakteerien määrä oli puolestaan selvästi muita rehuja pienempi.

Taulukko 1. Tilasäilörehujen kemiallinen koostumus sekä säilönnällinen ja mikrobiologinen laatu näytteenottohetkellä.

	Tila 1	Tila 2	Tila 3
Kuiva-aine siilon pinnassa, g/kg	249	340	303
Rehun keskiosasta otettu näyte			
Kuiva-aine, g/kg	306	503	404
pH	3,90	4,36	4,24
Kuiva-aineessa, g/kg			
D-arvo	723	691	729
Raakavalkuainen	101	134	152
Ammoniumtyppi	0,56	1,03	1,09
Liukoinen typpi	7,2	14,5	14,5
Tuhka	66	83	84
Sokerit	34	72	42
Etanoli	8,0	3,0	9,9
Maitohappo	57	59	61
Etikkahappo	27	9	23
Propionihappo	1,90/0,10 ¹⁾	0,08	0,05
Voihappo	1,21	0,26	0,02
Haihtuvat rasvahapot yhteensä	31	10	23
Käymishapot yhteensä	87	69	84
Maitohappo/etikkahappo -suhde	2,09	6,53	2,71
Muurahaishappo, siilon keskiosasta otettu näyte ²⁾	7,24		
Muurahaishappo, siilon pinnasta otettu näyte ²⁾	8,02		
Ammoniumtyppi, g/kg N	35	48	45
Mikrobiologinen laatu, PMY ³⁾ /g			
Bakteerit	1,95×10 ⁶	3,43×10 ⁵	7,77×10 ²
Hiivat	5,15×10 ⁵	2,00×10 ²	4,15×10 ²
Homeet	2,81×10 ⁴	1,00×10 ²	1,00×10 ²

¹⁾ Käytetty säilöntäaine sisälsi propionihappoa. Kun lisätty propionihappo vähennetään analysoidusta laskennallisesti, on korjattu pitoisuus 0,10.

²⁾ Tilan 1 rehu oli ainoa, jonka säilönnässä oli käytetty muurahaishappopohjaista säilöntäainetta.

³⁾ Pesäkkeitä muodostava yksikkö.

3.3.3. Aerobinen stabiilisuus

Aerobinen stabiilisuus eli lämpenemisherkkyys kuvaa aikaa (h), joka näytteellä kuluu lämpötilan nousemiseen 2 (tai 3) C-astetta ympäristön lämpötilaa korkeammaksi. Mitä pidempi aika on, sen parempi on aerobinen stabiilisuus eli sitä hitaammin rehu alkaa lämmetä, kun se altistuu

ilmalle. Taulukossa 2 rehujen aerobisen stabiilisuuden kesto on esitetty tunteina. Tulosten perusteella Tilan 3 säilörehu oli kaikkein stabiilein, eli sen lämpenemisherkkyys oli pienin ja Tilan 1 säilörehu alkoi lämmentä selvästi muita nopeammin. Tilan 2 säilörehu oli lämpenemisherkkyydeltään keskimääräinen. Tilan 3 säilörehu ei lämmennyt lainkaan 360 h eli 15 vuorokauden seurantajakson aikana. Tuloksia tarkasteltaessa on syytä huomioida, että aerobisen stabiilisuuden määrittäminen pienessä mittakaavassa, eivätkä menetelmän tulokset sen vuoksi kerro suoraan siitä, mikä on kyseisen rehun stabiilisuus maatilamittakaavassa säilötyssä rehussa.

Taulukko 2. Tilasäilörehujen lämpenemisherkkyys.

	Tila 1	Tila 2	Tila 3 ¹⁾	SEM ²⁾	P-arvo
Aerobinen stabiilisuus (2 °C), tunteja	63 ^c	242 ^b	360 ^a	4,8	<0,001
Aerobinen stabiilisuus (3 °C), tunteja	76 ^c	253 ^b	360 ^a	4,9	<0,001

¹⁾ Näyte ei lämmennyt koko 15 vrk seurantajakson aikana.

²⁾ SEM = Keskiarvon keskivirhe.

Käsittelykeskiarvot, joilla ei ole samaa yläindeksikirjainta, eroavat toisistaan Tukeyn testin perusteella ($P < 0,05$).

Rehujen lämpenemisen aiheuttaa hapen pääsy rehun sekaan, jolloin happea tarvitsevat aerobiset mikrobit pääsevät lisääntymään (McDonald ym. 1991). Säilörehun jälkilämpenemisessä happea tarvitsevat mikrobit kasvavat rehussa ja niiden aineenvaihdunta tuottaa lämpöä. Lämpenemisen aloittavat yleensä hiivat, jotka pystyvät käyttämään ravinnokseen rehun maitohappoa ja sokereita. Seurauksena rehun pH nousee, mikä puolestaan mahdollistaa homeiden ja muiden pilaajamikrobien lisääntymisen rehussa eli itseään vahvistava kierre lämpenemisessä ja pilaantumisen etenemisessä kiihtyy.

3.3.4. Ilmalle altistumisen vaikutus rehujen lämpötilaan ja laatuun

Taulukossa 3 on tilasäilörehujen kolmen mittauskerran lämpötilat, käymislaadut ja mikrobiologinen laatu rehujen ollessa ilmalle alttiina 15 päivän ajan. Lisäksi taulukkoon on lisätty lähtötietojen tietoja rehuista, mutta niitä ei ole käytetty tilastollisessa vertailussa, koska niistä ei tehty rinnakkaisia määrittämiä. Muutosten havainnollistamiseksi tuloksia on kuvattu myös Kuvassa 10, jossa on muutamia säilörehun säilönnällistä ja ruokinnallista laatua kuvaavia parametrejä ja Kuvassa 11, jossa on mikrobiologista laatua kuvaavia parametrejä.

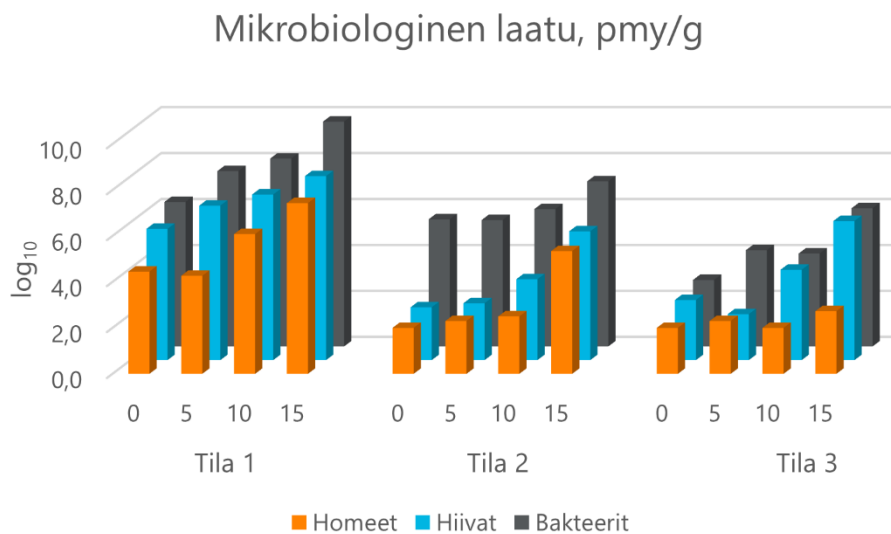
Taulukko 3. Tilasäilörehujen kolmen mittauskerran lämpötila, käymislaatu ja mikrobiologinen laatu rehujen ollessa ilmalle alttiina 15 päivän ajan. Päivä nolla kuvaa lähtötilannetta, eivätkä nämä tulokset ole mukana tilastollisessa vertailussa.

													SEM ¹⁾	P-arvo				
	Tila 1				Tila 2				Tila 3					Aika ²⁾	Tila	Aika ×Tila	Aika Lin	Aika Quad
Aika ilmalle altistuksen alusta, pv ¹	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15						
Lämpötila, °C		24,4 ^a	24,6 ^a	24,4 ^a		19,1 ^c	20,9 ^b	24,6 ^a		19,2 ^c	19,0 ^c	19,0 ^c	0,26	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,147
Rehun ja huoneilman lämpötilaero, °C		5,21 ^a	5,64 ^a	5,34 ^a		-0,13 ^c	1,95 ^b	5,54 ^a		-0,04 ^c	0,01 ^c	-0,02 ^c	0,256	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,515
Kuiva-aine, g/kg	306	312 ^{de}	304 ^e	286 ^e	503	478 ^{ab}	489 ^a	502 ^a	404	425 ^{bc}	369 ^{cd}	366 ^{cd}	12,0	0,107	<0,001	0,024	0,052	0,397
pH	3,90	3,93 ^b	4,23 ^b	5,70 ^a	4,36	4,38 ^{ab}	4,44 ^{ab}	4,41 ^{ab}	4,24	4,27 ^{ab}	4,27 ^{ab}	4,23 ^b	0,289	0,056	0,333	0,028	0,024	0,409
Kuiva-aineessa, g/kg																		
Ammoniumtyppi	0,56	0,55 ^e	0,76 ^d	0,64 ^{de}	1,03	1,11 ^{bc}	1,22 ^{ab}	1,23 ^{ab}	1,09	1,06 ^c	1,28 ^a	1,21 ^{abc}	0,031	<0,001	<0,001	0,269	<0,001	<0,001
Tuhka	65,5	65,3 ^d	64,8 ^d	74,7 ^c	82,7	83,8 ^{ab}	82,9 ^{ab}	84,3 ^{ab}	84,3	80,7 ^b	83,3 ^{ab}	85,4 ^a	0,81	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
Sokerit	34,2	39,7 ^{bc}	47,5 ^{bc}	35,3 ^c	72,4	79,5 ^a	78,3 ^a	84,4 ^a	41,8	54,4 ^b	54,4 ^b	55,0 ^b	5,74	0,264	<0,001	0,078	0,935	0,109
Maitohappo (mh)	56,5	60,0 ^{ab}	45,1 ^b	16,4 ^c	59,2	61,3 ^{ab}	56,5 ^{ab}	59,2 ^{ab}	61,4	61,4 ^{ab}	59,6 ^{ab}	73,7 ^a	4,41	0,022	<0,001	<0,001	0,007	0,617
Etikkahappo (eh)	27,1	30,2 ^a	22,0 ^b	7,9 ^c	9,1	10,5 ^c	8,6 ^c	7,7 ^c	22,6	22,8 ^b	24,7 ^{ab}	24,7 ^{ab}	1,22	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,217
Propionihappo	1,90	2,01 ^a	1,99 ^a	0,66 ^b	0,08	0,07 ^c	0,09 ^c	0,10 ^c	0,05	0,09 ^c	0,15 ^c	0,11 ^c	0,092	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
Voihappo	1,21	0,94 ^a	1,11 ^a	0,23 ^b	0,26	0,13 ^b	0,09 ^b	0,07 ^b	0,02	0,02 ^b	0,03 ^b	0,03 ^b	0,071	0,000	<0,001	<0,001	0,001	0,003
Haihtuvat rasvahapot, yhteensä	30,5	33,2 ^a	25,3 ^b	9,1 ^c	9,5	10,8 ^c	8,8 ^c	7,9 ^c	22,7	23,0 ^b	24,8 ^b	24,9 ^b	1,35	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,130
Käymishapot yhteensä	87,0	93,2 ^{ab}	70,4 ^{bc}	25,5 ^d	68,7	72,1 ^{abc}	65,3 ^c	67,1 ^{bc}	84,1	84,4 ^{abc}	84,4 ^{abc}	98,6 ^a	5,42	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,985
Mh/eh -suhde		1,99 ^c	2,06 ^c	1,81 ^c		5,82 ^b	6,53 ^{ab}	7,70 ^a		2,70 ^c	2,40 ^c	2,98 ^c	0,243	0,011	<0,001	0,006	0,004	0,333
D-arvo	723	722 ^{abc}	724 ^{ab}	679 ^d	691	685 ^d	694 ^{bcd}	693 ^{cd}	729	733 ^a	731 ^a	726 ^a	6,0	0,007	<0,001	0,004	0,012	0,032
Mikrobiologinen laatu, pmy ³⁾ /g																		
Bakteerit	1,95 × 10 ⁶	4,26 × 10 ^{7b}	1,50 × 10 ^{8b}	6,12 × 10 ^{9a}	3,43 × 10 ⁵	3,15 × 10 ^{5b}	9,54 × 10 ^{5b}	1,54 × 10 ^{7b}	7,77 × 10 ²	1,53 × 10 ^{4b}	1,10 × 10 ^{4b}	1,03 × 10 ^{6b}	7,129 × 10 ⁸	0,004	0,003	0,001	0,003	0,070
Hiivat	5,15 × 10 ⁵	5,31 × 10 ^{6b}	1,61 × 10 ^{7ab}	1,02 × 10 ^{8a}	2,00 × 10 ²	3,00 × 10 ^{2b}	3,32 × 10 ^{3b}	4,03 × 10 ^{5b}	4,15 × 10 ²	1,00 × 10 ^{2b}	8,56 × 10 ^{3b}	1,14 × 10 ^{6b}	1,708 × 10 ⁷	0,062	0,013	0,043	0,032	0,306
Homeet	2,81 × 10 ⁴	1,85 × 10 ^{4b}	1,20 × 10 ^{6b}	2,69 × 10 ^{7a}	1,00 × 10 ²	2,00 × 10 ^{2b}	3,15 × 10 ^{2b}	2,19 × 10 ^{5b}	1,00 × 10 ²	2,00 × 10 ^{2b}	1,00 × 10 ^{2b}	5,31 × 10 ^{2b}	4,633 × 10 ⁶	0,050	0,037	0,030	0,030	0,226

¹⁾ Keskiarvon keskivirhe, ²⁾ Päivän 0 tulokset eivät ole mukana tilastollisessa vertailussa, ³⁾ Pesäkkeitä muodostava yksikkö. Käsittelykeskiarvot, joilla ei ole samaa yläindeksikirjainta, eroavat toisistaan Tukeyn testin perusteella (P<0,05).



Kuva 10. Muutokset kolmen eri säilörehun lämpötilassa, kuiva-aineessa, säilönnällisessä laadussa, tuhkapitoisuudessa ja sulavuudessa, kun rehuja pidettiin ilmalle alttiina 15 vuorokauden ajan.



Kuva 11. Muutokset kolmen eri säilörehun mikrobiologisessa laadussa pesäkkeitä muodostavien yksiköiden (pmy) määränä mitattuna, kun rehuja pidettiin ilmalle alttiina 15 vuorokauden ajan.

Rehut olivat jo lähtötilanteessa hyvin erityyppisiä erityisesti kuiva-ainepitoisuuksiltaan, ja niiden välillä oli selkeitä eroja myös altistettaessa niitä ilmalle. Tilan 1 rehu osoittautui kaikkein pilaantumisherkimmäksi, kun rehu altistettiin ilmalle. On syytä huomata, että Tilan 1 rehu oli näistä rehusta märintä, mikä mahdollistaa mikrobien nopeamman kasvun kuin kuivemmissä rehuissa. Tilan 1 rehussa oli käytetty AIV Ässä Na -säilöntäainetta, joka sisältää myös propionihappoa jälkilämpenemisen estämiseksi. Säilöntäaineen annostelu oli kuitenkin jäänyt selvästi pienemmäksi kuin valmistajan suositus 5 l/t. Rehunäytteistä analysoidun muurahaishappopitoisuuden perusteella annostus oli siilon keskiosasta otetussa näytteessä 2,73 l/t ja pinnassa 3,03 l/t. Tilan 1 rehu alkoi lämmetä nopeimmin ja sen mikrobiologinen laatu oli huonoin. Lisäksi sen käymishappojen pitoisuus pieneni selvästi, pH nousi ja sulavuus huononi 15 vuorokauden mittaisen seurantajakson aikana. Tilan 1 rehussa maitohapon ja haihtuvien rasvahappojen määrän väheneminen ja ammoniakkin määrän lisääntyminen selitti selvästi havaittavaa pH:n nousua. Myös rehun sulavuuden heikkeneminen oli huomattavaa. Tilojen 2 ja 3 rehuissa edellä mainitut muutokset olivat vähäisiä.

Tuhkapitoisuuden nousu tarkoittaa sitä, että orgaanista ainesta on hävinnyt näytteestä. Tämä ilmiö näkyy selvästi Tilan 1 rehussa, jossa samalla orgaanisen aineen sulavuus on laskenut rajusti. Kaikkein arvokkaimpia ravintoaineita on haihtunut hiilidioksidina pois.

Kaikkien rehujen mikrobiologinen laatu heikkeni niiden ollessa ilmalle alttiina. Muutos näkyi bakteerien, hiivojen ja homeiden määrän lisääntymisenä.

Lämmenneet kohdat rehussa

Vaikka laakasiiloista mitattujen lämpötilojen perusteella minkään rehun kohdalla ei varsinaisesti ollut lämpenemisongelmaa, kaikissa rehuissa oli kuitenkin käsin tunnustelemalla selvästi havaittavissa lämmenneitä kohtia. Tämä saattoi johtua siitä, että rehun sekaan oli päässyt happea, jonka seurauksena rehua pilaavat aerobiset mikrobit aktivoituvat ja niiden aineenvaihdunta alkaa tuottaa lämpöä. Tiloilla havaittuja rehun lämpenemiselle mahdollisia altistavia tekijöitä on saattanut olla:

- Rehun sekaan on jäänyt ilmataskuja (Tilat 1 ja 2)
- Rehun tiivistäminen ei ole ollut riittävää (Tilat 1 ja 3)
- Puutteellinen säilöntäaineen annostelu (Tila 1)
- Suosituksia pienempi säilöntäaineen annostelu (Tila 1)
- Lintujen muovin tekemät reiät (Tila 1)
- Repivä rehun irrotus (Tila 1 ja 3)
- Liian vähäinen rehun syöttönopeus syvyysuunnassa (Tilat 1, 2 ja 3)
- Liian pitkä rehunteko aika (Tila 3)

Homeiset kohdat rehussa

Tiloilla 2 ja 3 rehun pinnalla ja seassa havaittiin homeisia kohtia. Homeiden kasvulle altistavia tekijöitä on saattanut olla:

- Rehujen korkea kuiva-ainepitoisuus
- Rehujen altistuminen hapelle
- Rehujen puutteellinen tiivistäminen

Säilörehun laatu on monen tekijän lopputulema, eivätkä kaikki laadun mittarit ole aina yksiselitteisiä. Siten säilörehun laatua tulee aina tarkastella kokonaisuutena, sillä yksittäisen tekijän perusteella ei voida tehdä vielä kovinkaan suoraa johtopäätöksiä. Yhtenä esimerkkinä rehujen laadun arvioinnin haastavuudesta on se, että joskus käymislaadultaan erittäin huonolaatuinen paljon etikka- ja voihappoa sisältävä rehu voi olla erittäin stabiili, koska edes pilaajamikrobit eivät kykene kasvamaan siinä. Siten pelkästään lämpenemisherkkyyden perusteella ei voida arvioida rehun soveltuvuutta eläinten ruokintaan.

Rehujen jälkilämpenemiseen vaikuttavat monet tekijät ja sitä voidaan myös ehkäistä. Kaikkiin asioihin ei aina voida olosuhteista riippuen vaikuttaa, mutta ne, joihin voidaan vaikuttaa, kannattaa huomioida sekä rehun teossa että rehua syötettäessä. Lisäksi mitä suurempi jälkilämpenemisen riski on, sitä kriittisemmäksi sen ennalta ehkäisy myös muodostuu. Alla olevassa listauksessa on säilörehun jälkilämpenemiselle altistavia tekijöitä:

- Korkea rehun kuiva-ainepitoisuus
- Löyhä tiivistys
- Päällismuovien riittämätön painotus
- Mikrobiologinen laatu (runsaasti hiivoja)
- Vähän käymistuotteita (erityisesti etikka- ja voihappo)
- Runsa maitohapon ja/tai sokereiden määrä, jos rehuun ei käymisen tai säilöntäaineen kautta ole tullut hiivojen kasvua estäviä yhdisteitä
- Rehurintauksen hidas eteneminen
- Rehun irrotuksessa rintauksen repiminen mahdollistaen ilman tunkeutumisen syvemmälle siiloon
- Rehuvaraston avaaminen alle kahden kuukauden kuluessa säilönnästä
- Lämmin ulkoilma

Jos rehun lämpenemisen riskitekijöitä on ennakoitavissa, säilöntäainevalintaan kannattaa kiinnittää huomiota (Seppälä ym. 2016). Muurahaishappopohjaisista säilöntäaineista löytyy tuotteita, joihin on lisätty jälkilämpenemisen hallitsemiseksi esimerkiksi propionihappoa ja/tai sorbaattia. Suolapohjaiset säilöntäaineet ovat varsin tehokkaita jälkilämpenemisen hidastajia (tehoaineina mm. nitriitti, sorbaatti, bentsoaatti), mutta niiden vaikutus käymislaatuun on vähäinen verrattuna ilman säilöntäainetta tehtyyn rehuun.

Maitohappobakteeripohjaiset säilöntäaineet voidaan jakaa kahteen tyyppiin: homofermentatiivisiin ja heterofermentatiivisiin ymppeihin. Homofermentatiiviset tuottavat pelkästään maitohappoa, mutta heterofermentatiiviset sen lisäksi etikkahappoa. Etikkahappo estää hiivojen ja homeiden kasvua ja hidastaa siten rehujen jälkilämpenemistä, mutta heterofermentatiivisen käymisprosessin kuiva-ainetappiot ovat suurempia.

Jos mahdollista, lämpenemisherkän säilörehun syöttö kannattaa ajoittaa mahdollisimman kylmään ajankohtaan. Säilörehun syöttömäärät kannattaa myös huomioida ja mahdollisuuksien mukaan ajoittaa lämpenemisherkän säilörehun syöttö ajankohtaan, jolloin syöttörintausta kuluu mahdollisimman nopeasti.

3.4. Johtopäätökset

Maatilasäilörehujen aerobista pilaantumista seuraamalla havaittiin, että kosteimman säilörehun sulavuus laski 44 g/kg ka, mikä vastaa 8 vuorokauden myöhästymistä ensimmäisen säilörehusadon korjuussa. Muutos sulavuudessa tapahtui kuitenkin vasta yli 10 vrk aerobisen altistuksen jälkeen, mikä tavallisesti on mahdollista vain siilon reuna- tai pintaosissa.

Säilörehun lämpenemisen estämisessä on oleellista hapen pääsyn rajoittaminen siiloon. Säilöntäaineita käytettäessä oikea annostelumäärä on toivotun tehon saavuttamisen edellytys. Laakasiilossa rehun kuiva-ainetavoite on 250–350 g/kg, sillä kuivemmassa rehussa ilma pääsee paremmin etenemään syöttörintauksesta syvemmälle rehumassaan. Avainasemassa ovat huolellinen rehun säilöntä- ja siilotyöskentely.

Siilotyöskentely ja erityisesti rehun huolellinen tiivistäminen säilönnän aikana on yksi keskeinen tekijä siilorehujen onnistuneessa säilönnässä. Ilmaston lämmitessä siilotyöskentelyn merkitys korostuu entisestään. Oikein tehdyllä säilöntäainevalinnalla ja säilöntäainetta oikein käytettynä voidaan parantaa rehujen säilyvyyttä, mutta niillä ei korvata puutteellista siilotyöskentelyä.

3.5. Viitteet

Huuskonen, A., Ilkka, J., Jokinen, M., Manni, K., Mustonen, A., Nyholm, L., Pajula, M., Rinne, M., Suokannas, A. & Tahvola, E. Säilörehun säilöntäopas. Atria Tuottajat. 44 s.

Luken tilastot. 2022. Maataloustilastot, tuotanto, satotilastot. Saatavissa: <https://stat.luke.fi/sa-totilasto>. Viitattu 11.4.2022.

Manni, K., Rämö, S., Franco, M., Rinne, M. & Huuskonen, A. 2022. Occurrence of mycotoxins in grass and whole-crop cereal silages – A farm survey. Agriculture 12, 398. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030398>.

McDonald, P., Henderson, A.R. & Heron, S.J.E. 1991. The Biochemistry of Silage. Edinburgh School of Agriculture Edinburgh, United Kingdom.

Seppälä, A., Heikkilä, T., Mäki, M. & Rinne, M. 2016. Effects of additives on the fermentation and aerobic stability of grass silages and total mixed rations. Grass and Forage Science 71: 458–471. <https://doi.org/10.1111/gfs.12221>.

4. Lämpökameran käyttö säilörehun pintapilaantumisen havaitsemisessa ja menetelmätestauksia maatilamittakaavan säilörehun säilönnässä

Katariina Manni¹ ja Arto Huuskonen²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

² Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31A, 71750 Maaninka

Tiivistelmä

Laakasiiloon ja aumaan varastoidun rehun lämpötilan perusteella voidaan osaltaan arvioida rehun säilönnän onnistumista. Rehuvaraston lämpötilaa voidaan mitata lämpömittarilla tai vaihtoehtoisesti lämpökameralla. Tässä työssä selvitettiin lämpökameran käyttöä säilörehun lämpötilan mittaamisessa ja erityisesti sen hyödyntämistä säilörehun lämpenemisen ja pintapilaantumisen havaitsemisessa. Neljän syötössä olevan säilörehun lämpötiloja mitattiin Flir E60 -lämpökameralla ja TFA:n kompostilämpömittarilla. Kolmessa säilörehussa oli lämpenemisen ongelmia. Lämpökuvaukset ja -mittaukset tehtiin säilörehujen syöttörintauksesta yhdeksästä eri kohdasta noin metrin etäisyydeltä kuvauskohteesta. Lisäksi koko syöttörintauksesta otettiin lämpökamerakuva niin läheltä kuin mahdollista kuitenkin niin, että koko syöttörintaus mahtui kuvaan. Lämpökamera oli käyttökelpoinen apuväline aumaan ja laakasiiloon varastoidun säilörehun lämpötilan seurannassa, kun halutaan saada yleiskuva rehuvarastossa mahdollisesti esiintyvistä lämpötilavaihteluista. Lämpökamera ei kuitenkaan osoittautunut kovinkaan tarkaksi apuvälineeksi rehun todellisen lämpötilan mittaamisessa, vaan tulokset olivat suuntaa antavia ja lähinnä kertoivat lämpötilojen vaihteluista rehuvarastossa. Lämpökameralla tehdyt mittaukset antoivat lähes systemaattisesti matalampia lämpötiloja verrattuna lämpömittarilla tehtyihin mittauksiin. Tarkempien lämpötilojen mittaamiseen kannattaakin käyttää lämpömittaria.

Säilörehun seassa olevien epäpuhtaiden materiaalien säilörehua pilaavaa vaikutusta selvitettiin laittamalla epäpuhtaita materiaaleja säilöttävän rehun sekaan ja ne pakattiin juurespusseihin. Pussit laitettiin laakasiiloon säilöttävän rehun sekaan eturintaukseen ja tiivistettiin hyvin. Pussit kaivettiin esiin, kun laakasiilo avattiin syöttöön. Viitteitä säilöntätuloksen heikkenemiseen saatiin lähinnä aistinvaraisesti arvioidun hajun perusteella, mikä todennäköisesti vaikuttaisi rehun syöntiin. Lisäksi on syytä huomioda, että epäpuhtaiden aineiden mukana rehuun tulee rehua pilaavia bakteereja, ja niiden syöttäminen eläimille saattaa olla hyvinkin haitallista. Syynä sille, etteivät epäpuhtaudet aiheuttaneet näkyvää pilaantumista säilörehussa, saattoi olla hyvä rehun tiivistys sekä säilöntään sopivan säilöntäaineen käyttö ja sen riittävä annostelu.

Laakasiilojen reunojen tiivistämistä tasaiseksi tai koveraksi ja niiden vaikutusta reunojen tiivistämisen testattiin. Laakasiilojen reunat olivat kuitenkin niin matalat, ettei reunojen tiivistäminen halutun muotoiseksi onnistunut. Tiivistämiskokeilua vaikeutti myös isot rehukuormat suhteessa laakasiilojen kokoon ja reunojen muotoilemiseen käytettävissä olevan ajan puute. Penetrometri on ensisijaisesti tarkoitettu maan tiivistymisen mittaamiseen. DICKEY-john-penetrometriä testattiin laakasiiloon säilötyn säilörehun tiiviyden mittaamiseen. Ongelmaksi muodostui se, kuinka paljon laitetta pitää painaa mittaustuloksen saamiseksi. Lisäksi tulosten tulkinnan osalta oli epäselvää, mikä lukema kuvastaa riittävää rehun tiiviyttä.

Asiasanat: karkearehu, säilöntä, tiivistys, lämpötila, lämpeneminen, home, rehuhävikki

4.1. Johdanto

Säilörehun aerobinen pilaantuminen havaitaan yleensä rehun nopeana lämpenemisenä mikrobitoiminnan seurauksena ja homeina. Rehun lämpenemisen aiheuttaa hapen pääsy rehuun, jolloin happea tarvitsevat aerobiset mikrobit pääsevät lisääntymään ja niiden aineenvaihdunta tuottaa rehuun lämpöä (McDonald ym. 1991). Tappiot heikentävät säilötyn rehun tuotantovaikutusta. Lisäksi pilaantunut rehu lisää rehuhävikkiä, mikä puolestaan nostaa syödyn rehun tuotantokustannusta.

Laakasiiloon ja aumaan varastoidun rehun lämpötilan perusteella voidaan osaltaan tehdä arvioita rehun säilönnän onnistumisesta. Normaalina laakasiiloon säilötyn rehun lämpötilan ylärajana pidetään 30 °C. Vakavassa lämpenemisongelmatilanteessa rehun lämpötila on yli 40 °C. Tyypillinen tilanne varsinkin loppusyksyllä on, että rehuvaraston keskiosassa oleva rehu on jonkin verran lämpimämpää kuin pohjassa, reunoilla ja pinnassa oleva rehu (Manni ym. 2022). Syynä tähän on se, että keskellä oleva rehumassa varastoi reunoja tehokkaammin rehun teon aikana muodostunutta lämpöä, ja toisaalta reunoilla oleva rehu toimii eristeenä hidastaen keskellä olevan rehumassan jäähtymistä. Seurauksena rehu voi kylmillä keleillä höyrytä rehua irrottaessa ilman, että kyseessä on varsinainen lämpenemisongelma.

Rehuvaraston lämpötilaa voidaan mitata lämpömittarilla, jolloin saadaan tietoa yksittäisten kohtien lämpötiloista. Toinen vaihtoehto on käyttää lämpökameraa rehun lämpötilojen mittaamisen apuvälineenä, jolloin on mahdollista saada nopeasti kokonaiskuva rehunpinnan lämpötilasta laajalta alueelta.

Lämpökamera kykenee mittaamaan lämpösäteilyn voimakkuuden ja muuttamaan sen lämpötilatiedoksi (Paloniitty ym. 2018). Koska kaikki lämpökameraan tuleva lämpösäteily ei kuitenkaan ole kuvauskohteesta peräisin olevaa lämpötilan säteilyä, tulee kameran asetuksiin antaa erilaisia parametrejä, kuten emissiivisyysarvo, taustan kohteiden lämpötila ja ilman lämpötila (Frondelius ym. 2019). Emissiivisyys kertoo, mikä osuus kappaleen lähettämästä lämpösäteilystä on kappaleesta itsestään peräisin ja kuinka iso osa on ympäristöstä heijastunutta (Frondelius ym. 2019).

Lämpökuvassa olevat kuvapisteen saavat omat lämpötila-arvot, joita havainnollistetaan väreillä ja värisävyillä (Frondelius ym. 2019). Lämpökamerassa oletusasetuksena on automaattinen lämpötilaskaala, ja lämpökuvan tulkinta perustuu siihen muodostuvaan väripalettiin. Kunkin yksittäisen kuvan lämpötilaskaalan ylä- ja alaraja määräytyvät kohteen pintalämpötilojen mukaan. Lämpötilaskaalan tulkinnassa kaikki ylärajan ylittävät lämpötilat näkyvät valkoisina ja alarajan alittavat lämpötilat tummina (Frondelius ym. 2019). Tulosten tulkinnassa on hyvä huomioida, että etäisyyden kasvaessa kunkin mittauspisteen edustama pinta-ala kasvaa ja tarkkuus pienenee (Paloniitty ym. 2018). Lämpökameran toimintaperiaatteista ja käytöstä voi lukea mm. Frondeliuksen ym. (2019) laatimasta raportista ”Lämpökuvantaminen nautojen terveyden ja hyvinvoinnin seurannan apuvälineenä”.

Lämpökamera voi olla yksi apuväline säilörehun lämpenemisongelman todentamisessa ja myös säilörehunteon kehittämisessä, kun mahdollisia ongelmakohtia voidaan tunnistaa ja pohtia niiden syntymiseen vaikuttavia tekijöitä ja sen pohjalta etsiä keinoja ongelmien ennaltaehkäisemiseksi. Tässä selvityksessä kokeiltiin lämpökameran käyttöä säilörehun lämpötilan mittaamisessa maatilaympäristössä. Tavoitteena oli testata lämpökameran käyttöä säilörehun lämpenemisen ja pintapilaantumisen havaitsemisessa tilatasolla.

4.2. Aineisto ja menetelmät

Selvityksessä kokeiltiin lämpökameran käyttöä laakasiilon tai aumaan säilötyn säilörehun aerobisen pilaantumisen ja siitä aiheutuvan lämpenemisen havaitsemiseksi maatilamittakaavan säilörehuista. Lämpökameralla tehtävien mittausten rinnalla säilörehujen lämpötiloja mitattiin lämpömittarilla. Säilörehuiksi, joista mittauksia tehtiin, valittiin kahden maatilan syötössä olevat säilörehut, jotka olivat alkaneet lämmetä. Lisäksi mittauksia tehtiin Luken Siikajoen koetointiminta-aseman kahdesta eri säilörehusta, joista toisessa oli havaittu lämpenemisongelmaa.

Lämpökuvaukset ja -mittaukset tehtiin säilörehujen syöttörintauksesta yhdeksästä eri kohdasta. Mittauskohdat olivat pinta-, keski- ja pohjakerroksen molemmat reunat ja keskiosa (Kuva 1). Yksittäisten kohtien lämpökuvaukset tehtiin noin metrin etäisyydeltä kuvauskohteesta. Lämpökuvauksessa käytettiin Flir E60 -lämpökameraa (Kuva 2). Tilojen 1 ja 2 säilörehujen lämpökuvaukset tehtiin kahteen kertaan niin, että ensin jokaisesta yhdeksästä kohdasta tehtiin lämpökuvaukset ja mitattiin säilörehun lämpötila TFA:n kompostilämpömittarilla (Kuva 3). Sen jälkeen samoista kohdista otettiin uudet lämpökuvat ja jokaisen lämpökuvauksen jälkeen valokuva kyseisen kohdan säilörehusta. Lisäksi koko syöttörintauksesta otettiin lämpökamerakuva niin läheltä kuin mahdollista kuitenkin niin, että koko syöttörintauma mahtui kuvaan. Tästä poikkeuksena Luken 1 ja 2 säilörehuista ei otettu valokuvia yksittäisistä mittauskohdista. Mittausten ja valokuvien lisäksi säilörehun säilyvyyttä havainnoitiin visuaalisesti. Lämpökuvaukset pyrittiin tekemään ensisijaisesti pilvisellä ja mahdollisimman vähätuulisella säällä sääolojen vaikutuksen minimoimiseksi kuvantamisessa. Ulkoilman lämpötila ja ilmankosteus dokumentoitiin. Koska tämän selvityksen tarkoituksena oli selvittää lämpökameran käyttöä säilörehun pintapilaantumisen havaitsemiseksi tilatasolla, tässä yhteydessä ei tarkasteltu rehujen säilönnällistä laatua ja siihen vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 1. Rukseilla merkittynä ohjeellinen esimerkki säilörehuvaraston syöttörintauksen yhdeksästä lämpötilan mittauskohdasta. Kuva Luke/Katariina Manni.



Kuva 2. Lämpökuvauksessa käytettiin Flir E60 -lämpökameraa. Kuva: Luke/Anna Tamminen.



Kuva 3. Säilörehun lämpötilan mittaamisessa käytettiin TFA:n kompostilämpömittaria. Kuvat: Luke/Anna Tamminen.

4.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

4.3.1. Taustatietoja

Taulukkoon 1 on koottu lämpökuvattuihin säilörehuihin liittyviä taustatietoja. Tilojen 1 ja 2 säilörehut oli säilötty aumoihin ja Luken säilörehut laakasiiloihin. Kaikki muut säilörehut Tilan 2 säilörehua lukuun ottamatta olivat melko kuivia. Kaikissa muissa säilörehuissa Luken 2 säilörehua lukuun ottamatta oli käsin tunnustelemalla havaittu lämpenemistä.

Taulukko 1. Taustatietoa säilörehuista, joista tehtiin lämpökuvaukset.

	Tila 1	Tila 2	Luke 1	Luke 2
Mittauspäivä	27.4.2021	27.4.2021	26.1.2021	13.7.2021
Ulkoilman lämpötila, °C	4,0	3,5	-1,0	18,0
Ilmankosteus, %	60	60	99	83
Säilörehun raaka-aine	Kokovilja	Nurmi	Nurmi	Kokovilja
Säilörehun varastointitapa	Auma	Auma	Laakasiilo	Laakasiilo
Säilörehuvaraston korkeus, m	2,7	1,7	1,4	3,0
Säilörehun kuiva-aine, g/kg	208	469	347	494
Lämpenemisongelma	Käsin tunnustelemalla reunoilla lämmentynyttä rehua	Käsin tunnustelemalla kauttaaltaan lämmentyneitä kohtia	Ei	Käsin tunnustelemalla kauttaaltaan lämmentyneitä kohtia
Pilaantunutta rehua	Vasemmassa reunassa pilaantunutta rehua	Pintapilaantumista ja rehun seassa homepesäkkeitä	Pintakerroksessa pilaantunutta rehua	Pintakerroksessa pilaantunutta rehua
Koko rehurintauksen kuvausetaisyys, m	15	15	10	20
Yksittäisen kuvauskohdan etäisyys, m	1	1	1	1

4.3.2. Tila 1

Tilan 1 säilörehu oli korjattu noukinvaunulla sateisessa säässä. Silpun pituus vaihteli keskimäärin välillä 5–10 cm. Säilörehuauma oli peitetty aumamuovilla ja painotettu rehulla. Auma oli keskiosasta reunoja paremmin tiivistynyttä. Rehu oli käsin tunnustelemalla reunoilta lämmentynyttä. Edestä katsottuna vasemman puolen reunan muovissa oli ollut reikä ja rehu oli siitä kohtaa pilaantunutta (Kuva 4).

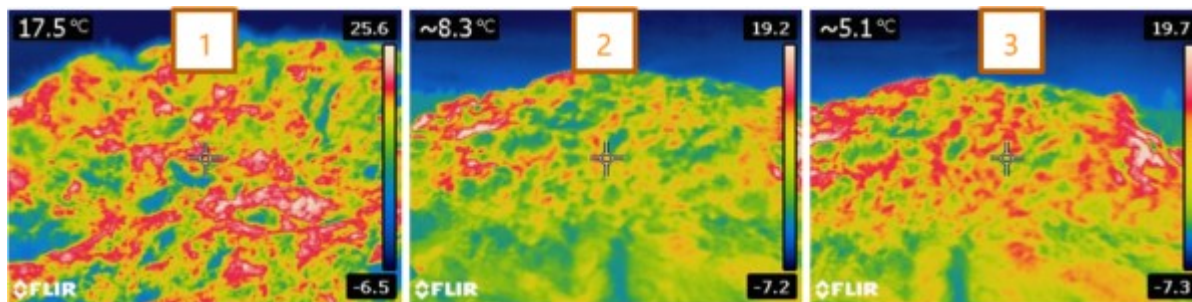


Kuva 4. Tilan 1 säilörehuauman vasemman reunan muovissa oli ollut reikä ja rehu oli siitä kohtaa pilaantunutta. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 5 on Tilan 1 säilörehuauma ja Kuvassa 6 koko aumasta otetut kolme lämpökamerakuvaa. Kuvaan 5 on suuntaa antavasti merkitty numeroilla ne kohdat, joiden lämpötilat näkyvät Kuvassa 6 lämpökameralla otettujen kuvien vasemmassa yläreunassa. Koko aumasta otetuissa kolmessa lämpökuvassa lämpötilaskaalan korkeimmat lukemat olivat välillä 19,2–25,6 °C. Ylärajan ylittävät lämpötilat näkyvät valkoisina alueina, joita jokaisessa kuvassa oli jonkin verran. Kuvien perusteella säilörehussa ei näyttänyt olevan laajamittaista lämpenemisongelmaa. Huomattavimmat lämmenneet alueet olivat auman reunoissa, mikä on yhdenmukainen tulos lämpenemishavainnon kanssa. Vasemmanpuoleinen lämmennyt alue selittynee muovissa olleella reiällä. Oikeassa reunassa rehua oli sortunut alas, mikä on todennäköisesti aiheuttanut rehun lämpenemistä. Tulosten tulkinnassa on kuitenkin syytä huomioida, että etäisyyden kasvaessa tarkkuus pienenee, joten kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä saaduista lämpötilalukemista ei voida tehdä.

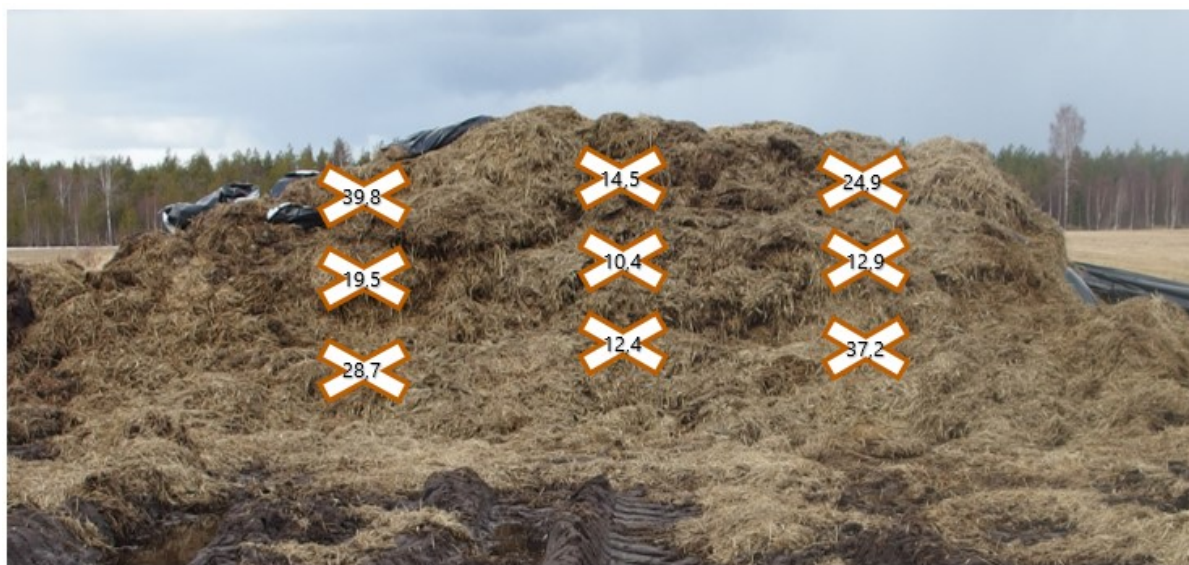


Kuva 5. Tilan 1 aumaan säilöttyä nurmisäilörehua. Kuvassa on numeroilla suuntaa antavasti merkitty kohdat, joiden lämpötilat näkyvät lämpökameralla koko aumasta otettujen kuvien yhteydessä Kuvassa 6. Kuva: Luke/Anna Tamminen.



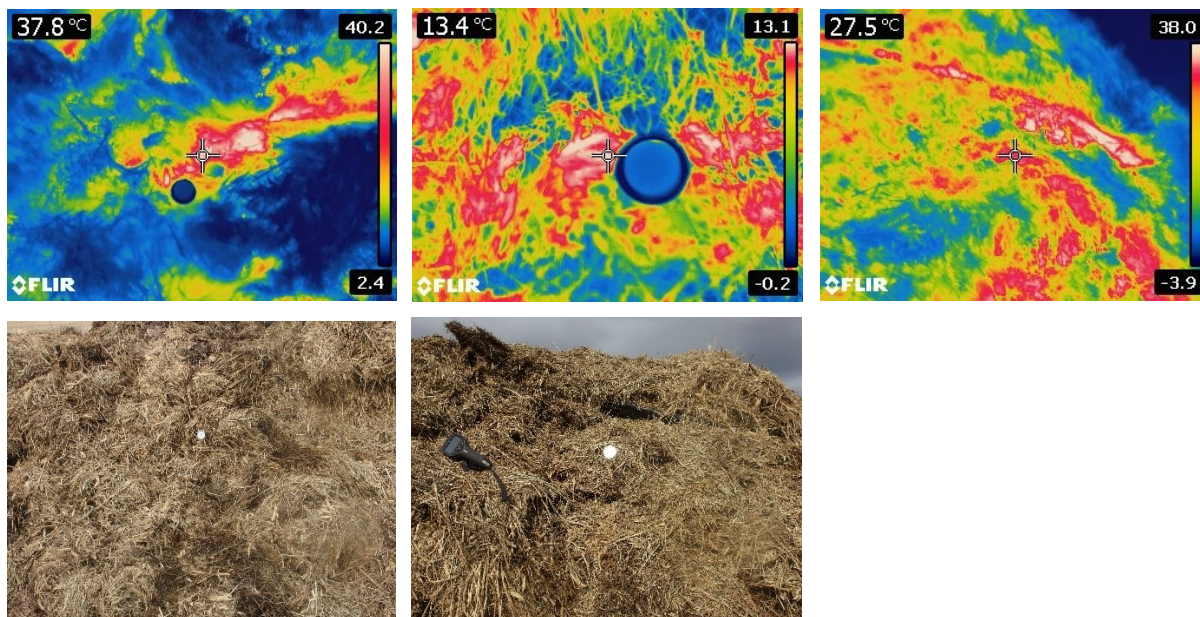
Kuva 6. Tilan 1 koko säilörehuamasta otettuja lämpökamerakuvia. Kuvassa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetäisyys noin 15 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 7 on suuntaa antavasti säilörehuamman yhdeksän lämpökuvaukskohtaa ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat. Eri kohdista mitattujen lämpötilojen välillä oli selkeitä eroja lämpötilan vaihdellessa välillä 10,4–39,8 °C. Myös näiden tulosten perusteella reunoissa oleva rehu oli selkeästi keskiosaa lämpimämpää. Lisäksi pinnassa ja alimmaisena oleva rehu oli keskiosaa lämpimämpää. Yksittäisten mittausten lämpötiloissa oli selkeästi korkeampia lämpötiloja, kuin mitä Kuvassa 6 koko aumasta otettujen kuvien perusteella oli havaittavissa. Tämä selittyy pitkälti kuvausetäisyyksien eroilla.

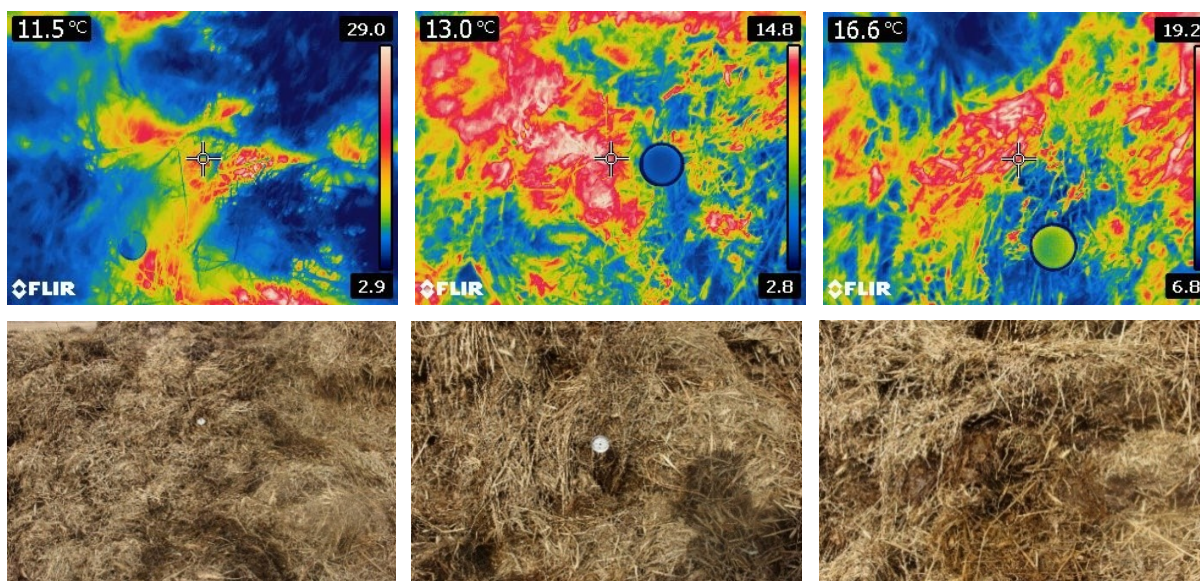


Kuva 7. Tilan 1 aumaan säilöttyä nurmisäilörehua. Kuvaan on merkitty lämpökuvaukskohdat suuntaa antavasti ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat (°C). Kuva: Luke/Anna Tamminen.

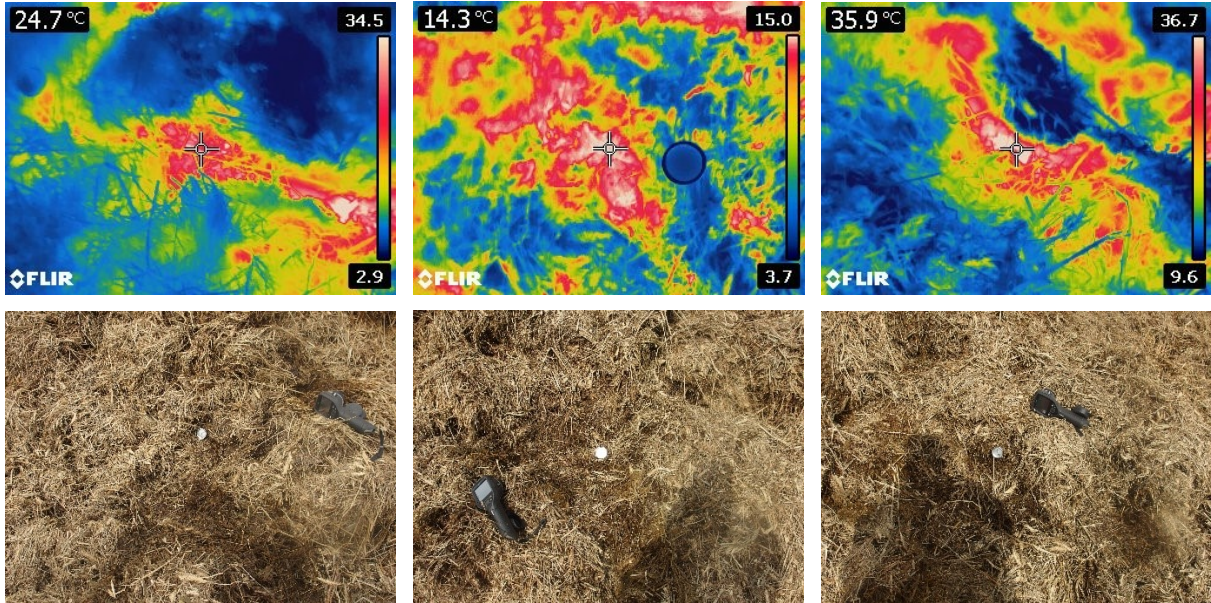
Kuvissa 8, 9 ja 10 on yksittäiset lämpökuvat pinta-, keski- ja pohjakerroksen eri kohdista kuvattuna sekä valokuvat kyseisten kohtien säilörehusta. Pinta- ja pohjakerroksesta otettujen kuvien perusteella erityisesti molemmissa reunoissa oli lämpötiloja, joiden perusteella voidaan todeta rehussa olevan lämpenemisongelmaa. Auman keskellä ollut rehu puolestaan näyttäisi olleen lämpötilojen perusteella hyvin säilynyttä. Se oli myös kaikkein tiivein kohta aumassa, mikä osaltaan selittänee reunoja alhaisempia lämpötiloja. Sama havainto oli lämpökuvissa, jotka oli otettu koko auman leveydeltä.



Kuva 8. Tilan 1 säilörehuauman pintakerroksesta otetut lämpökamerakuvat ylärivillä ja vastaa-
vasta kohdista otetut valokuvat alarivillä. Oikeasta reunasta otettu valokuva puuttuu. Lämpöka-
merakuvissa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreun-
nassa. Kuvausetäisyys noin 1 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

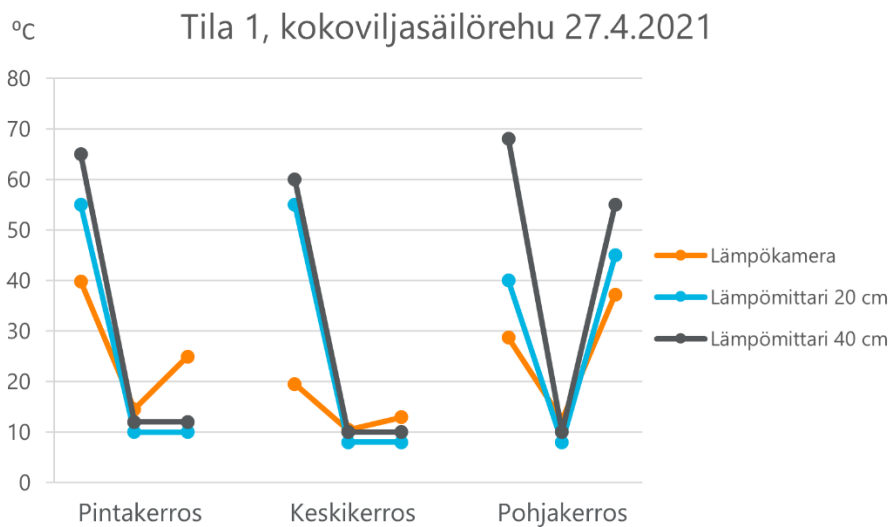


Kuva 9. Tilan 1 säilörehuauman keskikerroksesta otetut lämpökamerakuvat ylärivillä ja vastaa-
vasta kohdista otetut valokuvat alarivillä. Lämpökamerakuvissa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa,
jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetäisyys noin 1 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.



Kuva 10. Tilan 1 säilörehuauman pohjakerroksesta otetut lämpökamerakuvat ylärivillä ja vastaavista kohdista otetut valokuvat alarivillä. Lämpökamerakuvissa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetaisyys noin 1 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 11 on verrattu lämpökameralla saatuja yksittäisten kuvauskohtien lämpötiloja vastaavista kohdista lämpömittarilla kahdesta eri syvyydestä mitattuihin lämpötiloihin. Tulosten perusteella lämpökameralla mitatut lämpötilat olivat melko systemaattisesti matalampia kuin lämpömittarilla syvemmältä rehun sisästä mitatut lukemat yhtä pintakerroksen ja yhtä keskikerroksen mittauksissa ollutta poikkeamaa lukuun ottamatta. Lisäksi auman keskeltä mitatut pinta-, keski- ja pohjakerrosten lämpötilat olivat lämpökameralla ja eri syvyyksistä lämpömittarilla mitattuna lähes yhdenmukaiset. Muutokset lämpötiloissa olivat lähes yhdenmukaisia lämpökameralla ja lämpömittarilla mitattuna.



Kuva 11. Tilan 1 säilörehuaumassa olevan kokoviljasäilörehun lämpötilat lämpökameralla kuvattuna noin metrin etäisyydestä sekä 20 ja 40 cm:n syvyydestä lämpömittarilla mitattuna.

Pinta-, keski- ja pohjakerroksen mittauskohdat olivat vasen reuna, keskiosa ja oikea reuna, jotka näkyvät kuvassa pisteinä edellä mainitussa järjestyksessä.

4.3.3. Tila 2

Tilan 2 säilörehu oli korjattu noukinvaunulla ja rehun tiivistys oli tehty traktorilla polkemalla. Silpun pituus vaihteli keskimäärin välillä 10–20 cm. Rehuauma oli peitetty aumamuovilla ja muovin alareunat oli painotettu maata käyttämällä. Rehukasan päällä oli ollut muutamia pyöröpaaleja painona. Kun rehua irrotettiin aumasta, se oli käsin tunnustelemalla kauttaaltaan lämmennyttä. Pintakerros oli homeinen ja musta. Lisäksi koko syöttörintauksessa oli homepesäkkeitä (Kuva 12).



Kuva 12. Tilan 2 rehussa oli kauttaaltaan homepesäkkeitä, joita näkyy kuvan molemmissa reunoissa. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

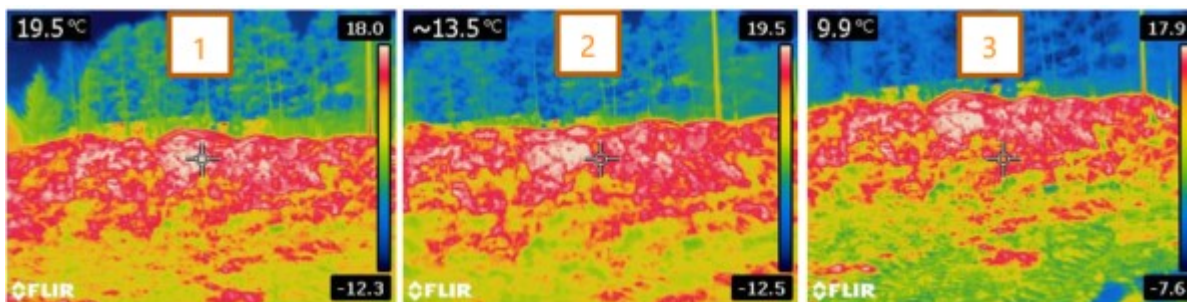
Kuvassa 13 on Tilan 2 säilörehuauma ja Kuvassa 14 koko aumasta otetut kolme lämpökamerakuvaa. Kuvaan 13 on suuntaa antavasti merkitty numeroilla ne kohdat, joiden lämpötilat näkyvät Kuvassa 14 lämpökameralla otettujen kuvien vasemmassa yläreunassa.

Koko aumasta otetuissa kolmessa lämpökuvassa lämpötilaskaalan korkeimmat lukemat olivat välillä 17,9–19,5 °C. Ylärajan ylittävät lämpötilat näkyvät valkoisina alueina, joita jokaisessa kuvassa oli havaittavissa. Lisäksi kuvien perusteella rehussa oli melko vähän lämpötilavaihtelua. Nämä antavat viitteitä havaitusta säilörehun lämpenemisongelmasta. Kaikkein lämpimimmät, kohdat, jotka erottuvat kuvissa valkoisina alueina, saattoivat olla homeisia kohtia, joita oli havaittu koko rintaüksessa. Auman keskiosassa ja siitä vasemmalle näyttäisi olevan laajimmalla

alueella lämpimintä rehua. Tulosten tulkinnassa on kuitenkin syytä huomioida, että etäisyyden kasvaessa tarkkuus pienenee, joten kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä saaduista lämpötilalukemista ei voida tehdä.



Kuva 13. Tilan 2 aumaan säilöttyä nurmisäilörehua. Kuvassa on numeroilla suuntaa antavasti merkitty kohdat, joiden lämpötilat näkyvät lämpökameralla koko aumasta otettujen kuvien yhteydessä Kuvassa 14. Kuva: Luke/Anna Tamminen.



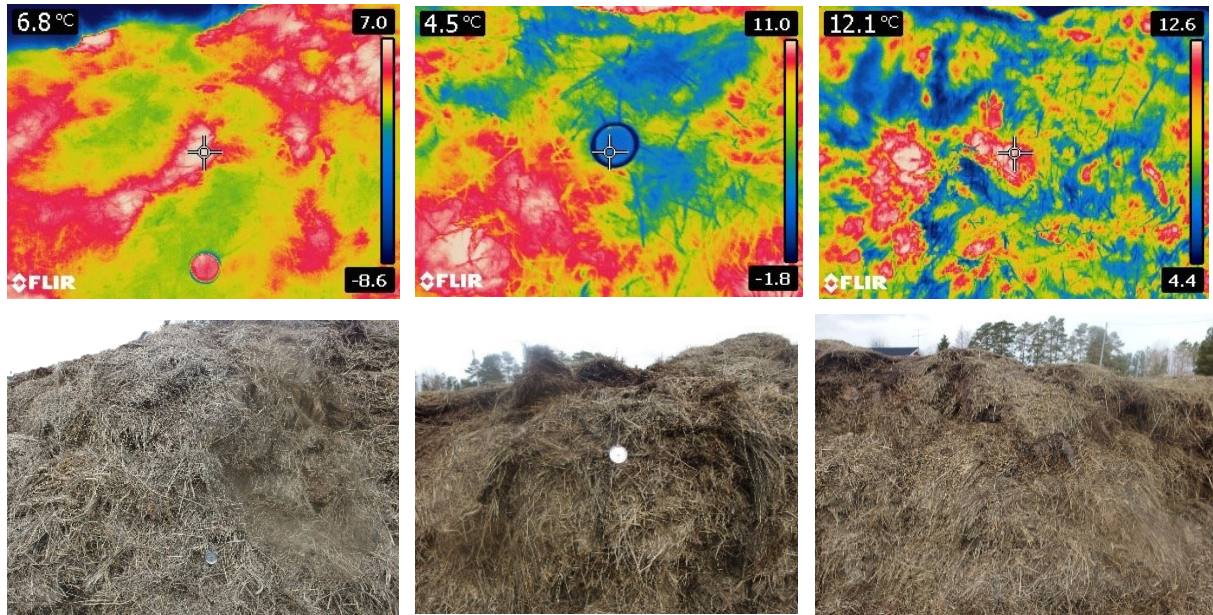
Kuva 14. Tilan 2 koko säilörehuaumasta otettuja lämpökamerakuvia. Kuvassa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetäisyys noin 15 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 15 on suuntaa antavasti säilörehuauman yhdeksän lämpökuvaukkohtaa ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat. Eri kohdista mitattujen lämpötilojen välillä oli melko vähäisiä eroja lämpötilan vaihdellessa välillä 6,5–11,8 °C. Yksittäisten mittausten lämpötiloissa ei ollut niin korkeita lämpötiloja kuin mitä Kuvassa 14 koko aumasta otettujen kuvien perusteella oli havaittavissa. Näiden mittaustulosten perusteella rehussa ei näyttänyt olevan lämpenemisongelmaa.

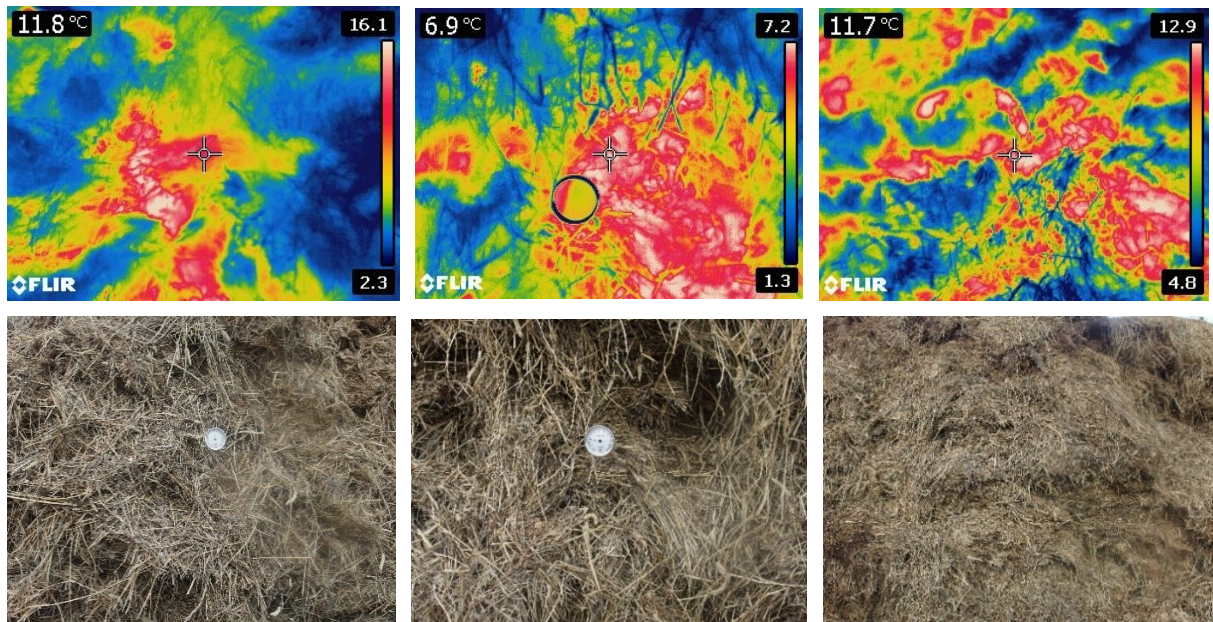


Kuva 15. Tilan 2 aumaan säilöttyä nurmisäilörehua. Kuvaan on merkitty lämpökuvauuskohdat suuntaa antavasti ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat (°C). Kuva: Luke/Anna Tamminen.

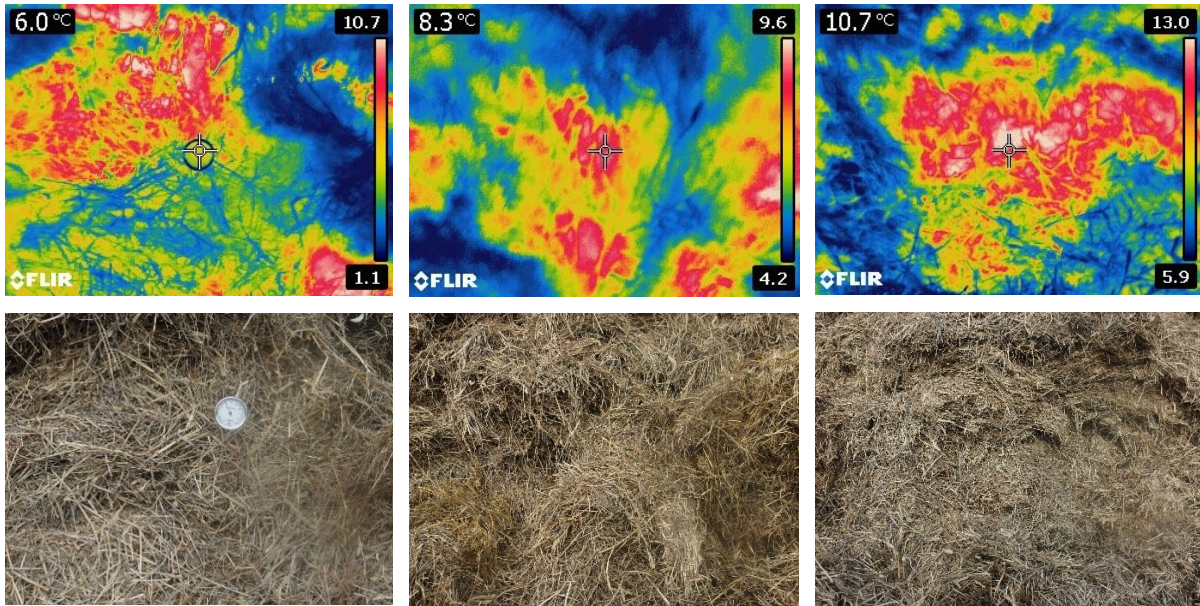
Kuvissa 16, 17 ja 18 on yksittäiset lämpökuvat pinta-, keski- ja pohjakerroksen eri kohdista kuvattuna sekä valokuvat kyseisten kohtien säilörehusta. Pintakerroksesta tehtyjen visuaalisten havaintojen mainintana oli homeinen pinta. Pintakerroksesta otettujen kuvien (Kuva 16) perusteella erityisesti vasemmalla reunassa ja keskikohdassa oli laajemmalla alueella lämmentyneitä kohtia kuin oikealla reunassa. Sama havainto oli lämpökuvissa, jotka oli otettu koko auman leveydeltä (Kuva 14). Kuvissa näkyvät yksittäiset lämpimimmät kohdat saattoivat olla homeisia kohtia, vaikka ne eivät rehusta otetuissa valokuvissa näy. Myös keskikohdasta otetuissa kuvissa (Kuva 17) erityisesti auman keskiosassa oli laajimmalla alueella lämpimintä rehua ja reunoilla pienempinä alueina erottuvia lämpimämpiä kohtia. Pohjakerroksesta otetuissa kuvissa (Kuva 18) vasemmalla ja oikealla reunassa oli laajimmat lämmentyneet alueet ja keskikohdassa vähiten lämmentynyttä rehua.



Kuva 16. Tilan 2 säilörehuauman pintakerroksesta otetut lämpökamerakuvat ylärivillä ja vastaavista kohdista otetut valokuvat alarivillä. Lämpökamerakuvissa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetaisyys noin 1 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

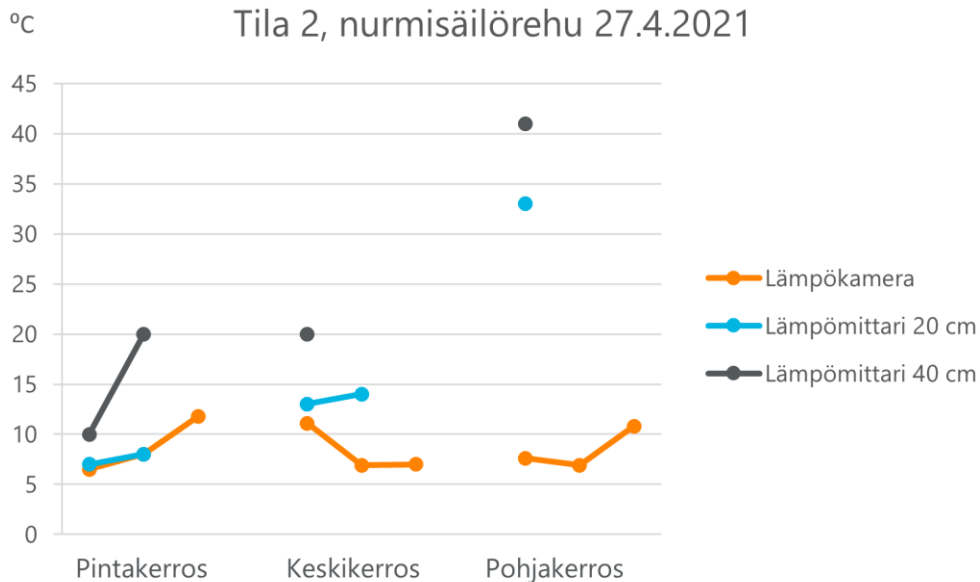


Kuva 17. Tilan 2 säilörehuauman keskikerroksesta otetut lämpökamerakuvat ylärivillä ja vastaavista kohdista otetut valokuvat alarivillä. Lämpökamerakuvissa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetaisyys noin 1 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.



Kuva 18. Tilan 2 säilörehuauman pohjakerroksesta otetut lämpökamerakuvat ylärivillä ja vastaavista kohdista otetut valokuvat alarivillä. Lämpökamerakuvissa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetäisyys noin 1 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 19 on verrattu lämpökameralla saatuja yksittäisten kuvauskohtien lämpötiloja vastaavista kohdista lämpömittarilla kahdesta eri syvyydestä mitattuihin lämpötiloihin. Lämpömittarin rikkoutumisen vuoksi tulokset jäivät puutteellisiksi. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että lämpökameralla mitatut lämpötilat olivat selkeästi matalampia kuin lämpömittarilla syvemmältä rehun sisästä mitatut. Lämpömittaritulosten perusteella pohjalla oleva rehu olisi selkeästi muita kerroksia lämpimämpää.



Kuva 19. Tilan 2 säilörehuaumassa olevan nurmisäilörehun lämpötilat lämpökameralla kuvattuna noin metrin etäisyydestä sekä 20 ja 40 cm:n syvyydestä lämpömittarilla mitattuna. Pinta-, keski- ja pohjakerroksen mittauskohdat olivat vasen reuna, keskiosa ja oikea reuna, jotka näkyvät kuvassa pisteinä edellä mainitussa järjestyksessä. Lämpömittarin rikkoutumisen vuoksi osa tuloksista puuttuu.

4.3.4. Luke 1

Luken 1 laakasiiloon varastoitu nurmisäilörehu oli korjattu noukinvaunulla ja rehun tiivistys oli tehty traktorilla polkemalla. Rehu oli peitetty aumamuovilla. Pintakerroksessa oli pilaantunutta rehua, mutta muutoin rehu oli hyvin säilynyttä (Kuva 20).

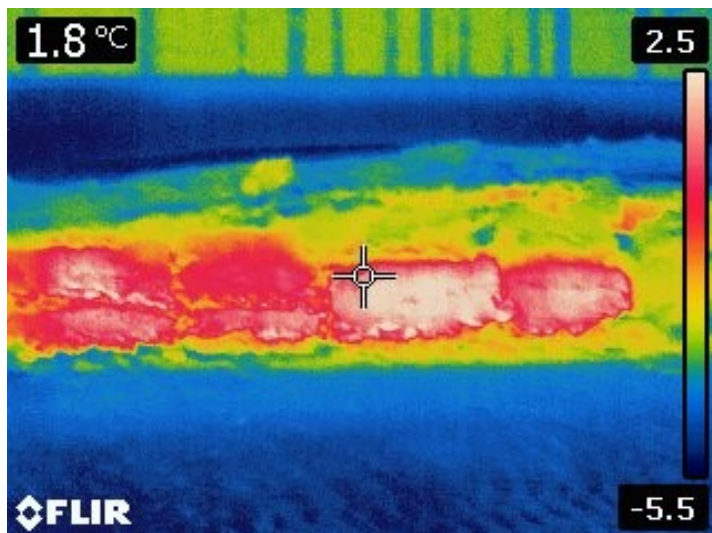


Kuva 20. Luken 1 laakasiiloon varastoidun nurmisäilörehun pinnassa oli pilaantunutta rehua. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 21 on suuntaa antavasti säilörehuauman yhdeksän lämpökuvauskohtaa ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat. Eri kohdista mitattujen lämpötilojen välillä oli hyvin vähäisiä eroja, lämpötilan vaihdellessa välillä $-3,3$ – $3,5$ °C. Lämpötilat olivat yhdenmukaisia koko aumasta otetun lämpökuvan kanssa (Kuva 22).

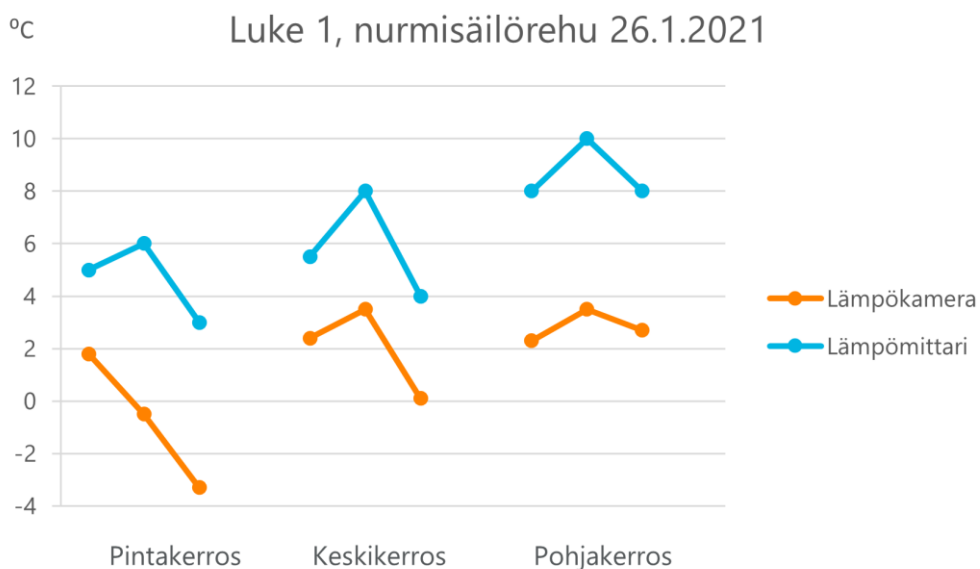


Kuva 21. Luken 1 aumaan säilöttyä nurmisäilörehua. Kuvaan on merkitty lämpökuvauskohdat suuntaa antavasti ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat (°C). Kuva: Luke/Anna Tamminen.



Kuva 22. Luken 1 koko laakasiiloon varastoidusta nurmisäilörehusta otettu lämpökamerakuva. Kuvassa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetaisyys noin 10 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 23 on verrattu lämpökameralla saatuja yksittäisten kuvauskohtien lämpötiloja vastaavista kohdista lämpömittarilla mitattuihin lämpötiloihin. Tulosten perusteella lämpökameralla mitatut lämpötilat olivat systemaattisesti matalampia kuin lämpömittarilla syvemältä rehun sisästä mitatut. Muutokset lämpötiloissa olivat yhdenmukaisia yhtä rehun pintakerroksen mitauksissa ollutta poikkeusta lukuun ottamatta.



Kuva 23. Luken 1 laakasiilossa olevan nurmisäilörehun lämpötilat lämpökameralla kuvattuna noin metrin etäisyydestä ja lämpömittarilla mitattuna. Pinta-, keski- ja pohjakerroksen mittauskohdat olivat vasen reuna, keskiosa ja oikea reuna, jotka näkyvät kuvassa pisteinä edellä mainitussa järjestyksessä.

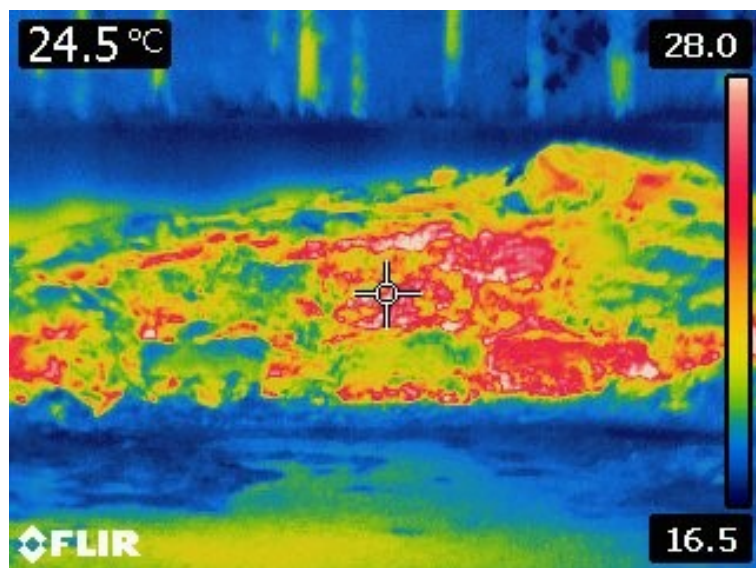
4.3.5. Luke 2

Luken 2 laakasiiloon varastoitu rehu oli kokoviljasäilörehua. Rehu oli peitetty aumamuovilla. Rehu oli kuivaa eikä se ollut tiivistynyt kunnolla. Rehua otettiin hyvin vähän päivässä. Rehu oli käsin tunnustelemalla lämmennyttä.

Kuvassa 24 on suuntaa antavasti säilörehuauman yhdeksän lämpökuvauskohtaa ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat. Eri kohdista mitattujen lämpötilojen välillä oli jonkin verran eroja lämpötilan vaihdellessa välillä 20,4–33,0 °C. Lämpötilat olivat yhdenmukaisia koko aumasta otetun lämpökuvan kanssa (Kuva 25).

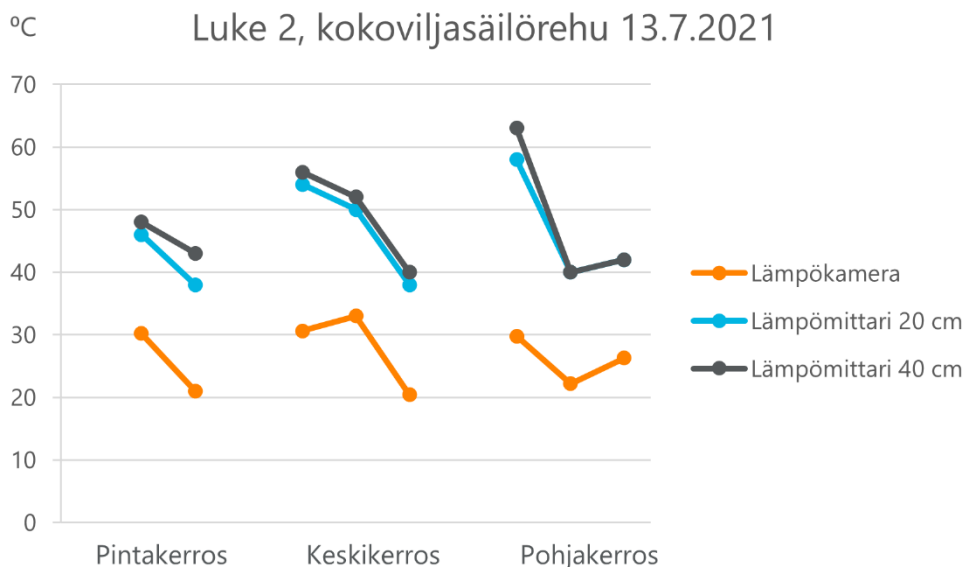


Kuva 24. Luken 2 laakasiiloon säilöttyä kokoviljasäilörehua. Kuvaan on merkitty lämpökuvauskohtat suuntaa antavasti ja kyseisistä kohdista noin metrin etäisyydeltä lämpökameralla mitatut lämpötilat (°C). Kuva: Luke/Anna Tamminen.



Kuva 25. Luken 2 koko laakasiiloon varastoidusta kokoviljasäilörehusta otettu lämpökamera kuva. Kuvassa oleva ruksi osoittaa sitä kohtaa, jonka lämpötila näkyy kuvan vasemmassa yläreunassa. Kuvausetäisyys noin 20 m. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuvassa 26 on verrattu lämpökameralla saatuja yksittäisten kuvauskohtien lämpötiloja vastaavista kohdista lämpömittarilla kahdesta eri syvyydestä mitattuihin lämpötiloihin. Tulosten perusteella lämpökameralla mitatut lämpötilat olivat systemaattisesti ja selkeästi alempia kuin lämpömittarilla syvemältä rehun sisästä mitatut. Muutokset lämpötiloissa olivat yhdenmukaisia yhtä rehun keskikerroksen mittauksissa ollutta poikkeusta lukuun ottamatta. Lämpökameralla mitattujen lämpötilojen perusteella rehussa ei ollut lämpenemisongelmaa, mutta lämpömittarilla mitattujen lämpötilojen perusteella lämpenemisongelma oli hyvinkin selkä, mikä oli havaittu myös jo ennen mittauksia.



Kuva 26. Luken 2 laakasiilossa olevan kokoviljasäilörehun lämpötilat lämpökameralla kuvattuna noin metrin etäisyydestä sekä 20 ja 40 cm:n syvyydestä lämpömittarilla mitattuna. Pintakerroksen vasemman reunan lämpötilat puuttuvat. Pinta-, keski- ja pohjakerroksen mittauskohdat olivat vasen reuna, keskiosa ja oikea reuna, jotka näkyvät kuvassa pisteinä edellä mainitussa järjestyksessä.

4.4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Lämpökamera osoittautui käyttökelpoiseksi apuvälineeksi aumaan ja laakasiiloon varastoidun säilörehun lämpötilan seurannassa, kun halutaan saada yleiskuva rehuvarastossa mahdollisesti esiintyvistä lämpötilavaihteluista. Tehtyjen mittausten ja saatujen tulosten perusteella lämpökamera ei kuitenkaan osoittautunut kovinkaan tarkaksi apuvälineeksi rehun todellisen lämpötilan mittaamisessa, vaan tulokset olivat vain suuntaa antavia ja kertoivat enemmänkin mahdollisista lämpötilojen vaihteluista rehuvarastossa. Lämpökameralla tehdyt mittaukset antoivat lähes systemaattisesti matalampia lämpötiloja verrattuna lämpömittarilla tehtyihin mittaustuloksiin. Siten käytettäessä lämpökameraa säilörehun lämpötilan mittaamiseen sen rinnalla on suositeltavaa käyttää lämpömittaria lämpötilojen varmistamiseksi. Koska lämpökamera mittaa rehun pinnan lämpötilaa, saatuihin tuloksiin vaikuttaa vallitseva sää. Pinnasta myös johtuu lämpöä ympäröivään ilmaan, joten se selittää pinnan matalampia lukemia syvemältä mitattuihin verrattuna.

Säilörehuvarastosta otettujen lämpökuvien tulosten tulkinnessa on tärkeää kokonaisvaltainen tarkastelu. Kuvia tarkasteltaessa kannattaa katsoa enemmänkin kokonaisuutta kuin yksittäistä lämpötilalukemaa. Yksittäinen lukema kertoo vain yhden pisteen lämpötilan, kun taas koko

kuvaa katsomalla saa käsityksen lämpötilavaihteluista ja mahdollisten lämmenneiden alueiden laajuudesta. Kuvia tarkasteltaessa tulee aina katsoa lämpötilaskaala, mikä on kuvakohtainen lämpötila-alue. Eri kuvien lämpötilojen tulkinnassa sama väri ei aina tarkoita samaa lämpötilaa, vaan ne skaalautuvat kuvauskohteen lämpötilojen perusteella. Lisäksi on syytä pitää mielessä, että kuvausetäisyys vaikuttaa tulokseen. Etäisyyden kasvaessa tarkkuus pienenee.

Lämpökameralla otettujen kuvien avulla on helppo visuaalisesti luoda kokonaiskäsitys rehun lämpötilavaihteluista, vaikka saatujen tulosten valossa lämpötilalukemat ovat enemmänkin suuntaa antavia. Lämpömittari on halpa investointi, joka tuo lisää luotettavuutta lämpötilojen mittaamiseen. Lämpökamera on kuitenkin käyttökelpoinen apuväline mm. arvioitaessa rehun säilönnän onnistumista. Yhdessä rehunteon aikaisten ja säilötystä rehusta tehtyjen havaintojen ja analyysitulosten sekä lämpömittarilla tehtyjen mittaustulosten kanssa sitä voidaan käyttää apuvälineenä arvioitaessa rehun säilöntään liittyviä riskikohtia ja niiden mahdollisia vaikutuksia rehun säilönnässä. Näiden riskikohtien tunnistaminen ja niihin liittyvien vaihtoehtoisten syiden selvittäminen auttavat kehittämään rehuntekoa.

4.5. Menetelmätestauksia maatilamittakaavan säilörehun säilönnässä

4.5.1. Rehun seassa olevien epäpuhtauksien vaikutus säilönnässä

Säilörehun säilönnän onnistumisen ja hyvän säilönnällisen laadun yksi edellytys on puhdas rehuraaka-aine. Epäpuhtaudet rehun seassa lisäävät säilörehun säilönnän epäonnistumisen riskiä, kun rehua pilaavia bakteereita pääsee epäpuhtauksien mukana rehun sekaan. Jos rehussa on samanaikaisesti muita säilöntää heikentäviä tekijöitä, kuten huono tiivistys tai vääränlainen säilöntäaineen käyttö, yksittäisten rehua pilaavien tekijöiden merkitys korostuu entisestään.

Tämän menetelmätestauksen tavoitteena oli todentaa, miten säilöttävän rehun seassa olevat epäpuhtaudet vaikuttavat säilörehun säilönnässä. Materiaalit, joita tässä testattiin, olivat vanhentunut kasvimateriaali, suojaviljan olki, maa-aines, kuivikelantapaakut ja pilaantunut säilörehu (Kuva 27). Tavoitteena oli kartoittaa kuivan rehun säilönnän kriittisiä kohtia ja etsiä ratkaisuja säilönnällisten riskien minimoimiseksi.



Kuva 27. Epäpuhtaat materiaalit: Ylärivissä vasemmalta oikealle ylivuotinen nurmi, kuivikelan-tapaakut, maa-aines ja alarivissä vasemmalta oikealle pilaantunut säilörehu ja olki.
Kuva: Luke/Katariina Manni.

Menetelmää testattiin Luonnonvarakeskuksen Siikajoen koetoiminta-asemalla ensimmäisen säilörehusadon korjuun yhteydessä 17.6.2020. Säilöntäpäivän sää oli aurinkoinen ja lämmin, ilman lämpötila oli + 26 °C. Rehunkorjuu ja säkkien pussitus sekä säilöntä tapahtuvat kaikki saman päivän aikana.

Toteutus on kuvattu alla olevassa listauksessa vaiheittain ja Kuvissa 28–32 on toteutuksen eri vaiheita:

1. Epäpuhtaita materiaaleja sekoitettiin säilöttävän rehun sekaan, jonka säilöntäaineena oli käytetty AIV ÄSSÄ -säilöntäainetta ja käyttömäärä oli noin 6 l/t. Sekoitus tapahtui 30 litran saavissa niin, että jokaista epäpuhdasta materiaalia oli noin ämpärillinen (10 l) ja loppuosa 20 l oli puhdasta säilöttäväksi tarkoitettua nurmea.
2. Epäpuhtaiden materiaalien ja puhtaan nurmen seos laitettiin juuressäkkeihin ja niiden ympärille puhdasta, happopohjaisella säilöntäaineella käsiteltyä rehua: Juuressäkin pohjalle levitettiin ensin puhtaan rehun kerros, sen päälle kerros epäpuhdasta materiaalia ja lopuksi päälle vielä puhdasta, happokäsiteltyä rehua.
3. Jokaisen säkin sisään laitetaan minigrip-pussissa lappu, jossa näkyi kunkin käsittelyn tiedot.
4. Säkki suljettiin huolellisesti narulla.
5. Säkkiin laitettiin pitkä, värillinen naru, joka toimii säkin merkkinaruna.
6. Kustakin epäpuhtaasta materiaalista tehtiin neljä rinnakkaista käsittelyä.
7. Säkit laitettiin laakasiilon täytön ja tiivistämisen jälkeen laakasiilon etuosaan säilöttävän rehun sekaan. Rehua nostettiin etukuormaajalla sen verran, että säkit saatiin aseteltua. Säkit laitettiin satunnaisessa järjestyksessä vierekkäin yksi kerran kerrallaan.
8. Merkkinaru vedettiin pitkäksi laakasiilosta ulospäin, jotta se tuli ennen säkkejä vastaan, kun laakasiilo aukaistiin.

9. Säkkien ympärillä oleva rehumassa tiivistettiin huolella kuten muukin laakasiilossa ollut rehu.
10. Kun laakasiilossa olevaa rehua alettiin syöttää ja säkit tulivat esiin, jokainen säkki avattiin säkin suusta ja säkin sisälle pakattu materiaali vedettiin varovasti ulos. Säilörehukerros säkin sisällön ympäriltä poistettiin varovasti niin, että keskellä oleva epäpuhdas materiaali tuli esiin.
11. Havainnot dokumentoitiin kirjallisesti ja valokuvin. Havainnoinnissa huomioitiin visuaalisesti säkin sisällä oleva epäpuhdas ja puhdas materiaali sekä säkkien ulkopuolella oleva säilörehu erityisesti säilönnällisen laadun osalta. Erityishuomiota kiinnitettiin säkin sisällä olevan epäpuhtaasta materiaalin ympärillä olevaan säilörehuun, oliko siinä havaittavissa pilaantuneita kohtia, lähinnä hometta, ja jos oli, minkälaisia alueita, kuinka tasaisesti, kuinka lähekkäin ja kuinka paljon.



Kuva 28. Epäpuhtaita materiaaleja laitettiin puhtaan ruohokerroksen päälle ja epäpuhtaan materiaalin päälle laitettiin vielä puhdas ruohokerros. Lopuksi säilöttävä materiaali laitettiin juuressäkkiin ja säkin suu suljettiin. Kuvat: Luke/Katariina Manni.



Kuva 29. Juuressäkkiin on laitettu epäpuhdasta materiaalia ja puhdasta ruohoa sen ympärille. Jokaiseen säkkiin laitettiin tunnistelappu minigrip-pussissa. Kuvat: Luke/Katariina Manni.



Kuva 30. Valmiit säkit, joihin on säilötty epäpuhtaita materiaaleja ja puhdasta ruohoa. Säkit laitettiin laakasiilon etuosaan rehun sekaan. Kuvat: Luke/Katariina Manni.



Kuva 31. Laakasiiloon varastoitua ja tiivistettyä rehua irrotettiin sen verran, että säkit saatiin rehumassan sekaan ja peitettiin rehulla. Kuvat: Luke/Katariina Manni.



Kuva 32. Kun säkit oli peitetty laakasiilossa olevan rehun sekaan, rehu tiivistettiin huolellisesti traktorilla ajaen. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Laakasiilo, johon epäpuhtaudet oli säilötty, avattiin 3.3.2021, jolloin säkit kaivettiin esiin, avattiin ja tarkasteltiin aistinvaraisesti säkin ympärillä ja sisällä olevan rehun säilyvyyttä (Kuva 33). Yhtä säkkiä lukuun ottamatta muissa säkeissä olleessa säilörehussa ei ollut silmämääräisesti havaittavaa pilaantumista. Ainoastaan reunimmaisina säkki, jossa oli maa-ainesta, oli täysin homeessa (Kuva 34). Myös muu säilörehu koko siilon vasemmassa laidassa oli homeista. Muissa säkeissä olevissa materiaaleissa ja niiden ympärillä olevassa säilörehussa ei havaittu homeita. Haju oli ainoa mahdolliseen pilaantumiseen viittaava havainto. Niissä säkeissä, joissa oli ylivuotista nurmea ja pilaantunutta säilörehua, säkin sisällä olevassa materiaalissa oli pistävä haju. Myös muilla epäpuhtailla materiaaleilla olkea lukuun ottamatta säkkien ympärillä olevassa säilörehussa havaittiin pistävää, kitkerää ja ummehtunutta hajua. Säkin sisällä oleva olki haisi pistävälle ja ummehtuneelle.



Kuva 33. Laakasiilon avaus. Ensin poistettiin lumet pois rehun päältä, sitten leikkurilla poistettiin säkkien päällä ollut rehu ja lopuksi kaivettiin esiin laakasiilon etuosassa rehun seassa olleet säkit. Kuvat: Luke/Kati Mattila.



Kuva 34. Vasemmassa laidassa reunimmaisena säkin ympärillä ja sisällä oli homeita. Kyseiseen säkkiin oli varastoitu säilörehua, jonka sekaan oli laitettu maa-ainesta. Vasemmassa reunassa ollut säilörehu oli koko reunan pituudelta homeista. Kuvat: Luke/Kati Mattila.

Aistinvaraisten hajuarvioiden subjektiivisuuden vuoksi pilaajamateriaalien merkitystä rehun laadulle ei saatu numeerisesti todennettua. Viitteitä säilöntätuloksen heikkenemiseen saatiin lähinnä aistinvaraisesti arvioidun hajun perusteella. Pistävä, kitkerä ja ummehtunut haju eivät kuitenkaan kuulu hyvään rehuun, ja mitä todennäköisimmin vaikuttaisi ainakin rehun syöntiin. Demojen perusteella voidaan todeta, että epäpuhtaudet voivat aiheuttaa rehuun aistinvaraisesti havaittavaa epämiellyttävää hajua.

Reunimmaisena olleen yhden säkin sisällä ja ympärillä olevan rehun pilaantuminen johtui todennäköisesti huonosta rehun reunan tiivistämisestä, sillä rehu oli koko reunan mitalta homehtunut. Homeet tarvitsevat kasvaakseen happea, jolloin riittämätön tiivistäminen ja maan aineksen homeitiöt yhdessä ovat myötävaikuttaneet rehun homehtumiseen siilon reunaosassa.

Yksi syy sille, etteivät epäpuhtaudet aiheuttaneet useampia visuaalisesti havaittavia pilaantumisia, saattoi olla hyvä laakasiilossa olevan rehun tiivistys ja hapettomat olosuhteet sekä säilöntään sopivan säilöntäaineen käyttö ja sen riittävä annostelu. Rehunteossa tulee aina kiinnittää huomiota siihen, ettei epäpuhtauksia joudu rehun sekaan. Sen lisäksi, että epäpuhteiden aineiden mukana tulee rehuun rehua pilaavia bakteereja, niiden syöttäminen eläimille saattaa olla hyvinkin haitallista. Haihtuvien aineiden kemiallinen analysointi rehunäytteistä olisi tuonut lisänäyttöä pilaaja-aineiden vaikutuksesta rehun laatuun.

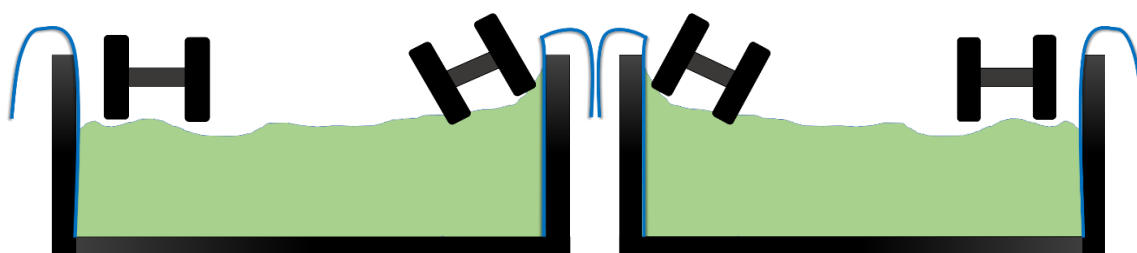
4.5.2. Laakasiilon reunojen tiivistämistapojen vertailu

Laakasiilojen reunojen riittävä tiivistäminen on säilörehun säilönnän kriittisiä kohtia, koska ne jäävät helposti muuta rehua huonommin tiivistetyiksi. Lisäksi mitä kuivempaa säilöttävä rehu on, sitä hankalampaa on sen tiivistäminen.

Tämän menetelmätestauksen tavoitteena oli todentaa, miten laakasiilojen tiivistäminen eri tavoin vaikuttaa laakasiilossa olevan säilörehun tiiviyyteen ja lämpötilaan. Reunojen tiivistämistä eri menetelmillä testattiin Luonnonvarakeskuksen Siikajoen koetoiminta-asetalla ensimmäisen säilörehusadon korjuun yhteydessä 17.6.2020. Säilöntäpäivän sää oli aurinkoinen ja lämmin, ilman lämpötila oli + 26 °C. Rehu oli korjattaessa hyvin kuivaa.

Tiivistämistapojen kuvaus:

1. Kahden laakasiilon vasen ja oikea laita tiivistetään mahdollisimman hyvin mutta eri tavoin. Toinen reuna tiivistetään tasaiseksi ja toinen koveraksi (Kuva 35). Laakasiilot tiivistetään samalla tavalla, mutta vaihdetaan tiivistämistapojen järjestystä keskenään, jotta vasen-oikea -ero jakautuu tasaisesti.



Kuva 35. Laakasiilojen reunojen tiivistäminen tasaiseksi ja koveraksi.

2. Laakasiilojen reunojen muotoilu aloitetaan heti, kun rehua on tullut riittävästi ja sitä jatketaan koko siilon täytön ajan.
3. Kun laakasiilossa oleva rehu otetaan syöttöön, rehun tiivyyttä mitataan reunoista ja keskeltä penetrometrillä ja tehdään lämpötilamittauksia muutamasta kohdasta syöttörintamasta.
4. Kokemuksia kirjataan ylös ja otetaan valokuvia.

Käytössä oli kaksi laakasiiloa, joihin yritettiin tehdä reunojen muotoilua yllä olevan ohjeistuksen mukaisesti. Laakasiilojen reunat olivat kuitenkin niin matalat, ettei reunojen tiivistäminen haluttu muotoiseksi onnistunut. Tiivistämiskokeilua vaikeutti myös se, että rehukuormat olivat isoja suhteessa laakasiilojen kokoon ja aikaa reunojen muotoilemiseen oli liian vähän.

Alla olevissa kuvissa (Kuva 36) on kuvattu rehuntekoa laakasiilon, jossa reunojen tiivistämistapojen vertailua yritettiin tehdä.



Kuva 36. Laakasiilo, jossa reunojen tiivistämistapojen vertailua yritettiin tehdä. Ongelmaksi muodostuivat liian matalat reunat ja nopea rehukuormien tulo. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

4.5.3. Penetrometrin käyttö rehun tiivyyden mittaamisessa

Penetrometri eli maantiiviysmittari on mittausväline, joka on ensisijaisesti tarkoitettu maan tiivistymisen mittaamiseen ja sen avulla voidaan määrittää, missä syvyydessä mahdollisia tiivistymiä on. Penetrometri ei ole täysin eksakteja lukuja antava mittausväline, vaan lähinnä sen avulla saadaan viitteitä maan tiivyydestä eri syvyysasteilla.

Penetrometrilla maan tiivistymistä määritettäessä mittaria painetaan hitaasti tasaisella voimalla maakerrosten läpi samalla seuraten mittarin lukemia. Tulosten tulkinnan apuna mittarissa on väriasteikko, joka ilmaisee maan tiivistymistä. Mittarin viisarin ollessa vihreällä alueella maassa ei pitäisi olla tiivistymää ja punainen alue puolestaan kuvaa sitä, että maa on tiivistynyt.

DICKEY-john-penetrometriä testattiin kokeilumielessä laakasiiloon säilötyn säilörehun tiivyyden mittaamisessa (Kuva 37). Lähtökohtaisesti menetelmä voisi toimia, mutta ongelmaksi muodostui se, kuinka paljon laitetta pitää painaa mittaustuloksen saamiseksi. Jos laitetta painoi liian vähän, se ei mennyt rehukerroksesta lainkaan läpi ja kun laitetta painoi riittävällä voimalla, terän sai menemään lähes joka kohdasta rehumassan läpi. Lisäksi tulosten tulkinnan osalta oli epäselvää, mikä lukema ylipäättään kuvastaa riittävää rehun tiivyyttä.



Kuva 37. DICKEY-john-penetrometri. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

4.6. Viitteet

- Frondeius, L., Nykänen, I., Mononen, J., Ruuska, S., Pekkarinen, S. & Lindeberg, H. 2019. Lämpökuvantaminen nautojen terveyden ja hyvinvoinnin seurannan apuvälineenä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 23/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 71 s.
- Manni, K., Franco, M., Huuskonen, A. & Rinne, M. 2022. Tilasäilörehujen lämpenemisherkyys ja sen vaikutus rehun laatuun. Julkaisussa: Huuskonen, A. & Manni, K. (toim.). Resurssi- viisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 41–58.
- McDonald, P., Henderson, A.R. & Heron, S.J.E. 1991. The Biochemistry of Silage. Edinburgh School of Agriculture Edinburgh, United Kingdom.
- Paloniitty, S., Paloniitty, J. & Haimilahti, J. 2018. Lämpökuvaus rakentamisessa. 2. painos. Vaasa: Rakennustieto, Waasa Graphics. 140 s. ISBN 978-952-267-107-3.

5. Kasvavien lihanautojen veden kulutus – kirjallisuuskatsaus

Leena Tuomisto, Jaakko Mononen ja Arto Huuskonen

Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31 A, 71750 Maaninka

Tiivistelmä

Hyvälaatuinen juomavesi, jota eläin saa juoda vapaasti oman tarpeensa mukaisesti, on eläimen hyvinvoinnin ja eläintuotannon perusedellytys. Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on koota tietoa kasvavien lihanautojen vedenkulutuksesta, juomiskäyttäytymisestä ja riittävästä vedensaannista.

Kasvavien lihanautojen vedenkulutukseksi on raportoitu 16–42 litraa vuorokaudessa. Eläimeen itseensä, ympäristöön sekä ruokintaan, veden laatuun ja hoitoon liittyvät tekijät vaikuttavat vedenkulutukseen. Ympäristön lämpötilan nousu yli 25–26 celsiusasteen ja eläimen kokema lämpöstressi lisäävät huomattavasti lihanaudan vedenkulutusta. Kasvavien lihanautojen vedenkulutusta ja vedentarvetta on mallinnettu useissa tieteellisissä julkaisuissa, mutta ulkomaisilla aineistoilla tehnyt mallinnukset eivät välttämättä sovellu suomalaisen naudanlihantuotannon tarpeisiin. Nautojen luontainen tapa on juoda vapaasta veden pinnasta. Vesialtaasta juotettuna naudat juovat 3–10 kertaa vuorokaudessa ja käyttävät juomiseen aikaa 2–10 minuuttia/vrk. Juomakupista juotettuna juomiskertojen lukumäärä on suurempi ja juomiseen käytetty aika pidempi. Veden hidas virtaus kuppiin lisää juomiseen käytettyä aikaa. Veden saannin rajoittaminen heikentää merkittävästi nautojen hyvinvointia: eläinten käyttäytymisessä ja fysiologiassa ja tapahtuu muutoksia. Lisäksi rehun syönti vähenee ja maitotuotos pienenee. Nauta ei pysty täysin kompensoimaan harvoin tapahtuvaa juottoa juomalla kerralla suurempia määriä, koska eläimen anatomia (pötsin tilavuus) asettaa fysiologisen rajan kerralla juodun veden määrälle. Naudat erottavat ulosteen pilaaman veden ja saadessaan valita valitsevat juota-vaksi puhtaan ja hyvälaatuisen veden. Heikkolaatuinen tai saastunut juomavesi vähentää veden juontia ja voi heikentää tuotantoa. Veden lämpötilan vaikutukset nautojen vedenkulutukseen ovat ristiriitaisia. Naudat eivät ole halukkaita nauttimaan vettä kiinteässä muodossa lumena tai jäämurskana, ja vedenkulutus laskee silloin huomattavasti verrattuna sulaan veteen. Kuumissa olosuhteissa naudat pääsääntöisesti näyttävät hyötyvän viileän (noin 10–18 °C) veden tarjoamisesta. Vaikutus todennäköisesti selittyy sillä, että viileä juomavesi vähentää eläinten kokemaa lämpöstressiä. Jos nautojen juontikertoja rajoitetaan, eläimet juovat sitä enemmän mitä lämpimämpää vesi on. Tämä voi liittyä kylmän veden elimistöä jäähdyttävään vaikutukseen. Preferenssikokeiden perusteella naudat haluavat juoda vesialtaasta, jonka vapaan veden pinta-ala on suuri. Altaan sijoituskorkeus voi vaikuttaa eläinten tekemään valintaan, mutta veden syvyydellä altaassa (vähintään 30 cm) tai vesialtaan värillä ei ole merkitystä naudoille. Veden tarjoaminen mieluisasta vesialtaasta voi lisätä veden juontia. Tutkimustulokset sopivasta juomapaikkamitoituksesta puuttuvat lihanaudoilta kokonaan.

Asiasanat: nauta, juomavesi, vedenkulutus, juomiskäyttäytyminen, veden laatu, veden lämpötila

5.1. Tausta ja tavoitteet

Hyvälaatuinen juomavesi, jota eläin saa juoda vapaasti oman tarpeensa mukaisesti, on eläimen hyvinvoinnin ja eläintuotannon perusedellytys. Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on koota tieteellisestä kirjallisuudesta ja muista luotettavista lähteistä tietoa kasvavien lihanautojen vedenkulutuksesta ja juomiskäyttäytymisestä sekä siitä, mikä on lihanautojen riittävä vedensaanti ja miten riittävä vedensaanti pystytään varmistamaan.

5.2. Elimistön vesitasapaino

Vesi on elämän edellytys ja välttämätön ravintoaine. Vettä tarvitaan elimistön normaaliin toimintaan kuten ruuansulatukseen ja aineenvaihduntaan, kasvuun ja lisääntymiseen, lämmönsäätelyyn, eritykseen ja maidontuotantoon (National Research Council 2000). Nauta saa pääosan vedestä juomalla ja rehun mukana. Kosteat rehut kuten laidunrehu ja säilörehu voivat sisältää jopa 80 % vettä. Lisäksi ravintoaineiden sisältämän kemiallisen energian vapautuminen elimistössä tuottaa jonkin verran vettä (ns. metabolinen vesi). Vedenkulutuksella tarkoitetaan eläimen juomaa vettä (Winchester & Morris 1956). Veden kokonaiskulutus pitää sisällään sekä juomaveden että rehun sisältämän veden. Veden tarve on määritelmän mukaan yhtä suuri kuin elimistön vesitasapainon säilyttämiseen tarvittava kaikista vesilähteistä peräisin oleva vesi (juomavesi, rehun vesi ja metabolinen vesi).

Nauta menettää vettä virtsan ja ulosteen mukana, hikoillessa sekä vesihöyrynä iholta ja keuhkoista (National Research Council 2000). Ympäristön lämpötilan noustessa tai fyysisen aktiivisuuden lisääntyessä elimistön pinnoilta haihtuva sekä hien mukana poistuva vesimäärä kasvaa. Hikoilu on olennainen osa naudan lämmönsäätelyä, koska hien haihtuminen iholta jäähdyttää elimistöä. Hikoilun seurauksena eläimen täytyy juoda enemmän korvatakseen menetettyä nestettä.

Vedenpuute voi aiheutua esimerkiksi juottolaitteen toimintahäiriöstä, juomaan pääsyn estymisestä tai huonosta juomaveden laadusta. Riittämätön veden saanti ilmenee naudoilla rehun syömisen vähentymisenä, maitotuotoksen pienentymisenä, virtsan konsentroitumisena ja ulosteen vesipitoisuuden pienenemisenä (Utley ym. 1970, Little ym. 1978, Little ym. 1980). Nestehukan edetessä kudosten vesipitoisuus pienenee ja seerumin natriumpitoisuus suurenee, iho menettää kimmoisuuttaan ja silmät painuvat syväälle silmäkuoppaan (von Keyserlingk ym. 2016). Tilan edelleen edetessä kehon elintärkeät toiminnot kuten lämmönsäätely alkavat heikentyä.

Yhteenveto elimistön vesitasapainosta:

- Hyvälaatuinen juomavesi, jota eläin saa juoda vapaasti oman tarpeensa mukaisesti, on eläimen hyvinvoinnin ja eläintuotannon perusedellytys
- Nauta saa veden juomalla ja rehun mukana. Myös metabolia tuottaa vettä. Nauta menettää vettä virtsan ja ulosteen mukana, hikoillessa sekä vesihöyrynä iholta ja keuhkoista.
- Riittämätön veden saanti vähentää rehun syöntiä ja pienentää lehmillä maitotuotosta

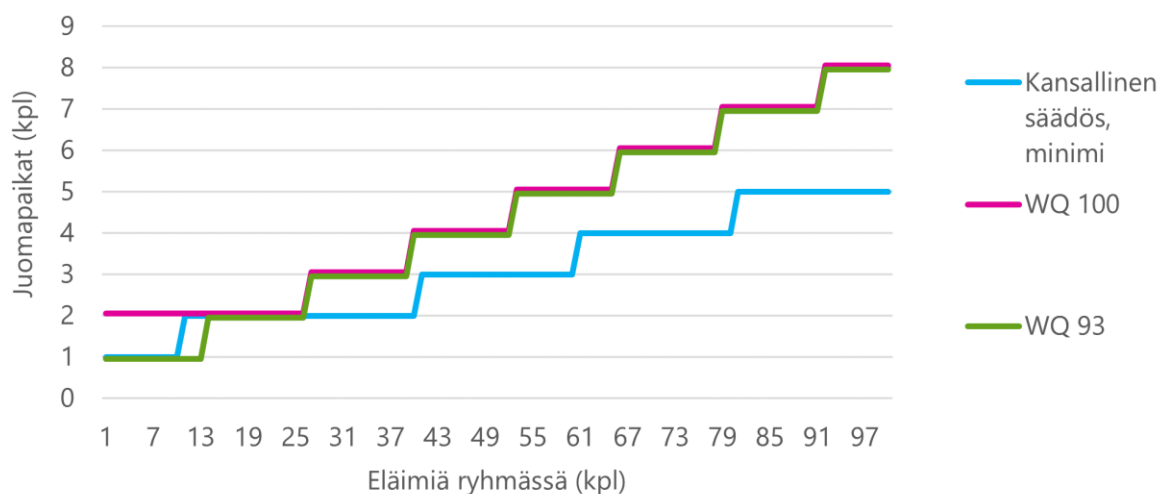
5.3. Juomaveden liittyvät määräykset ja suositukset

Tämänhetkinen kansallinen lainsäädäntö (eläinsuojelulaki 247/1996, eläinsuojeluasetus 396/1996 sekä valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010) määrää tiivistetysti

seuraavaa: Naudoille on tarjottava hyvälaatuista juomaa, jota virtsa ja ulosteet eivät pääse liikaamaan. Kunkin eläimen tarpeet tulee huomioida ja on varmistettava, että jokainen eläin saa juomavettä riittävästi. Juoma-astiat ja juottolaitteet on sijoitettava kaikkien eläinten ulottuville. Kylmissä kasvatusympäristöissä eläimille tulee tarjota sulaa juomavettä.

Lisäksi lainsäädäntö (valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010) määrää hyvin tarkasti juomapaikkojen lukumäärästä. Lihanaudoilla ja hiehoilla (eli muilla kuin lypsylehmillä) on jokaista alkavaa 20 naudan ryhmää kohden oltava vähintään yksi juoma-astia tai juottolaite. Yli 10 naudan ryhmää kohden juoma-astioita tai juottolaitteita on kuitenkin oltava vähintään kaksi. Lypsylehmien juomapaikkamitoitus on suurempi kuin muilla nautaryhmillä: 1 juomapaikka jokaista alkavaa 10 lypsylehmän ryhmää kohden. Tarjottaessa vesi altaista, joista eläimet voivat juoda samanaikaisesti, on juomapaikkojen vastattava edellä mainittua juoma-astioiden tai juottolaitteiden määrää. Lainsäädännössä juomapaikkojen lukumäärän mitoitus perustuu arvioon niiden tarpeesta, koska naudoilla ei löydy tieteellistä tutkimustietoa aiheesta. On kuitenkin perusteltua, että lypsylehmillä on suurempi juomapaikkamitoitus kuin muilla naudoilla, koska ensinnäkin lypsävien lehmien vedentarve on huomattavan suuri ja toisekseen lypsylehmien juomiskäyttäytyminen on hyvin synkronoitua ja sijoittuu suurimmilta osin lypsyn ja ruokintojen yhteyteen (kts. kappaleet mitattu vedenkulutus ja vedenkulutuksen mallintaminen sekä juomiskäyttäytyminen).

Welfare Quality® (WQ) on tieteelliseen tutkimukseen ja eläinten hyvinvoinnin asiantuntijoiden näkemykseen perustuva menetelmä tuotantoeläinten hyvinvoinnin arvioimiseen tilalla (Welfare Quality® 2009). WQ-arviointimenetelmässä lihanautojen juomaveden saantia arvioidaan veden laadun sekä juottolaitteiden tai juomatililan määrän perusteella. Jotta juomapaikkojen lukumäärä olisi WQ:n mukaan riittävä, juottolaitteita on oltava yksi 13 eläintä kohden tai avointa juoma-allastilaa on vähintään 6 cm eläintä kohden. Juottolaitteiden likaisuus vähentää WQ-pisteitä. Juottolaitteiden puhtauden ja juomapaikkojen riittävyyden lisäksi korkein WQ:n pistemäärä (100 pistettä, ”erinomainen taso”) edellyttää, että jokaisella eläimellä on pääsy vähintään kahdelle juottolaitteelle. Vertailu WQ-pisteytykseen osoittaa, että Suomen lainsäädäntö heijastaa vain minimivaatimusta (Kuva 1).



Kuva 1. Lihanautojen juomapaikkojen lukumäärän vertailu kansallisen lainsäädännön (valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010) ja Welfare Quality®-arviointimenetelmän (Welfare Quality® 2009) kahden korkeimman pistemäärän välillä.

Tämänhetkinen kansallinen lainsäädäntö ei varsinaisesti velvoita siihen, että juomavettä tulee olla juottolaitteissa tai juoma-astioissa koko ajan tarjolla. Jatkuvasti tarjolla oleva juomavesi on säädetty pakolliseksi vain rajatulle joukolle nautoja: sairaille ja vahingoittuneille vasikoille sekä vasikoille kuumalla säällä (neuvoston direktiivi 2008/119/EY, valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010). Käytännössä juomaveden jatkuva saatavuus ei kuitenkaan normaalioloissa ole ongelma tavanomaisissa lihanautakasvattamo- tai navettatyypeissä. Tulevaisuudessa juomaveden tarjolla olon velvoittavuuteen voi tulla muutos: eläinten hyvinvointilakiesitykseen (Hallituksen esitys uudeksi eläinten hyvinvointilakiksi) on sisällytetty vaatimus veden jatkuvasta saatavuudesta kaikille naudoille pysyvässä pitopaikassa.

Yhteenveto juomaveteen liittyvistä määräyksistä ja suosituksista:

- Kansallinen lainsäädäntö määrää tarkasti nautojen juomaveden laadusta, saatavuudesta ja juomapaikkojen lukumäärästä
- Kansallisen lainsäädännön juomapaikkojen lukumäärän mitoitus perustunee arvioon niiden tarpeesta eri nautaryhmien fysiologinen tila ja käyttäytyminen huomioiden
- Juomapaikkojen lukumäärän vertailu kansallisen lainsäädännön ja Welfare Quality -mittausmenetelmän ”erinomaisen tason” välillä osoittaa, että Suomen lainsäädäntö heijastaa vain minimivaatimusta

5.4. Mitattu vedenkulutus ja siihen vaikuttavat tekijät

Vedenkulutuksella tarkoitetaan eläimen juomaa vettä. Taulukossa 1 on esitetty lihanautojen ja lehmien mitattuja vedenkulutuksia eri lähteistä. Korkeatuottoisten lehmien vedenkulutus on hyvin suuri, jopa yli 80–90 litraa vuorokaudessa. Kasvavilla lihanautoilla vedenkulutus on tyypillisesti ollut 16–42 litraa vuorokaudessa.

Taulukko 1. Eri tutkimuksissa raportoidut vedenkulutukset eri nautatyypeillä.

Nautatyyppi ja kasvatusolosuhde	Tarkentava kuvaus	Vedenkulutus/vrk	Viite
maitorotuinen sonni, rakolattia	elopaino 193–550 kg	18 l	Meyer ym. 2006
laiduntava härkä	elopaino 295–312 kg	42 l	Lardner ym. 2013
risteytyshärkä, karsina	eri vuodenaikoina	40 l	Ahlberg ym. 2017
maitorotuinen sonni, parsi, pihattokarsina tai metsätarha	elopaino 185–602 kg (alku - loppu)	talvella 15–22 l, seuraavana kesänä 22–28 l	Huuskonen 2003
maitorotuinen vasikka, ryhmäkarsina	lämpötila 11–23 °C	juottokaudella (ikä alle 75 vrk) 2 l, vieroituksen jälkeen (ikä 75–195 vrk) 16 l	Huuskonen ym. 2011
härkä, feedlot-karsina	elopaino 170–275 kg, kesällä korkea ympäristön lämpötila	kesällä 32 l, seuraavana talvena 28 l	Ray 1989
liharotuinen härkä, metaboliahäkki	elopaino 250 kg, lämpötila 18–27 °C	16 l	Utley ym. 1970
puhdasrotuiset tai risteytetyt härät, hiehot ja sonnit, pihattokarsina	elopaino 276–404 kg (alku - loppu), kasvu 1,41 kg/vrk, keskilämpötila 15 °C	30 l	Brew ym. 2011
kasvavat liharotuiset härät	elopaino 256–490 kg (alku - loppu), kesällä keskilämpötila 5–23 °C ja talvella 11– (-13) °C	kesällä 31 l, talvella 19 l	Hoffman & Self 1972
risteytyshärkä, feedlot-karsina	elopaino 332–482 kg, kesä	37 l	Hicks ym. 1988
laiduntava liharotuinen hieho	elopaino 295, keskilämpötila 23–29 °C	30–36 l	Coimbra ym. 2010
maitorotuinen hieho, parsi	elopaino 385 kg	33–37 l	Robles ym. 2007
maitorotuinen lehmä	ei-lypsävä, lämpötila -3 tai 12	42–54 l	Cunningham ym. 1964
maitorotuinen lehmä, pihatto	keskituotos 17 kg/vrk, keskilämpötila 8 °C	50 l	Castle & Thomas 1975
laiduntava maitorotuinen lehmä	maitotuotos 17 kg/vrk, keskilämpötila 13 °C	23 l	Castle 1972
maitorotuinen lehmä, pihatto	maitotuotos yli 40 kg/vrk	78–82 l	Huzzey ym. 2007
maitorotuinen lehmä, pihatto	maitotuotos 27 kg/vrk	84 l	Cardot ym. 2008
maitorotuinen lehmä, pihatto	maitotuotos 31 kg/vrk	82 l	Meyer ym. 2004
maitorotuinen lehmä	maitotuotos 19–20 kg/vrk	77–90 l	Andersson ym. 1984
maitorotuinen lehmä, parsi	maitotuotos 25–26 kg/vrk	72–77 l	Andersson 1985
maitorotuinen lehmä, parsi	maitotuotos 29–38 kg	63–90 l	Dado & Allen 1994
maitorotuinen lehmä, parsi	maitotuotos 27–37 kg/vrk lämpötila 12–24 °C	80–93 l	Osborne ym. 2002

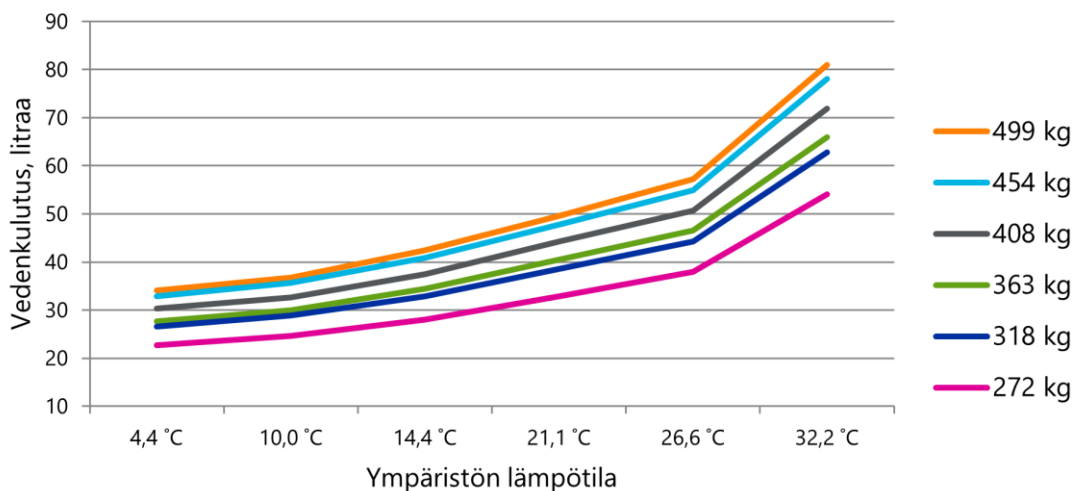
Nautojen vedenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä on selvitetty useissa tutkimuksissa. Golher ym. (2021) keräsivät tekijät yhteen katsausartikkelissaan (Taulukko 2). Nautojen vedenkulutukseen vaikuttavat eläimeen itseensä, ympäristöön, ruokintaan, veden laatuun ja hoitoon liittyvät tekijät.

Taulukko 2. Yhteenveto lehmien (nautojen) vedenkulutukseen vaikuttavista tekijöistä (katsausartikkeli; Golher ym. 2021).

Tekijä	Miten vaikuttaa
Eläimeen itseensä liittyvät tekijät	
rotu	tropiikkiin sopeutuneet rodut kuluttavat vähemmän vettä kuin muut rodut
koko tai paino	mitä suurempi eläin sitä suurempi vedentarve
kasvu	kasvu lisää rehun syöntiä ja siten myös vedenkulutusta
tiineys	sikiön kudosten kasvu ja sikiövesi lisäävät vedentarvetta
laktaatio	maidon tuottaminen lisää vedentarvetta
fyysinen aktiivisuus	aktiivisuus lisää vedenkulutusta
sopeutuminen	yksilön akklimatisaatio tai populaation adaptaatio parantaa lämmönsietoa
Ympäristötekijät	
vuodenaika	vedenkulutus on talvella pienempää kuin kesällä
ympäristön lämpötila	ympäristön lämpötilan nousu lisää vedenkulutusta (lehmillä 1,11–1,52 l/vrk jokaista celsiusasteen nousua kohden)
suhteellinen ilmakestius	ilmakosteus vaikuttaa yhdessä lämpötilan kanssa vedenkulutukseen
katos	kuumalla säällä katos vähentää lämpöstressiä ja vedenkulutusta
Ruokinta ja veden laatu	
rehun kuiva-ainepitoisuus	rehun korkeampi kuiva-ainepitoisuus lisää vedentarvetta
juomaveden laatu	liian suolainen (yli 1,0–1,5 %) tai kova vesi vähentää vedenkulutusta
juomaveden saatavuus	juontikertojen rajoittaminen 1–2 kertaan/vrk vähentää vedenkulutusta ja pienentää maitotuotosta, todennäköisimmin koska pötsin tilavuus rajoittaa kerralla juotua vesimäärää
juomaveden lämpötila	lehmät juovat enemmän lämmintä kuin kylmää vettä

Winchester ja Morris (1956) laskivat pääosin 1940 ja 1950 luvuilla raportoitujen tutkimusten perusteella keskimääräiset vedenkulutukset erikokoisille loppukasvatettaville lihanaudoille eri lämpötiloissa (Kuva 2). Laskelmien perusteella vedenkulutus on melko vakio 4,4 celsiusasteeseen saakka ja kasvaa sen jälkeen melko tasaisesti ympäristön lämpötilan noustessa. Käänne selkeästi suurempaan vedenkulutukseen tapahtuu lämpötilan noustessa yli 26,6 celsiusasteen. Lisääntynyt vedenkulutus voi selittyä vedenhukan (hikoilu ja läähätys) voimakkaana lisääntymisenä ympäristön lämpötilan ylittäessä naudan ylemmän kriittisen lämpötilan. Ylempi kriittinen lämpötila on ympäristön lämpötila, jossa eläimen täytyy tehostaa haihduttamalla tapahtuvaa lämmönhukkaansa säilyttääkseen lämpötasapainonsa (IUPS thermal commission 2003). Ylemmän kriittisen lämpötilan määrittäminen eläimillä on hankalaa (Sjaastad ym. 2003), mutta esim. Webster (1995) arvioi, että se on märehäijöillä 25 ja 30 celsiusasteen välillä.

Lämpöstressiä, jonka eräänä seurauksena on juomaveden tarpeen lisääntyminen, kuvataan naudoilla (ja laajemminkin kotieläimillä) yleensä lämpötila-kosteus -indeksillä (THI, temperature humidity index) (Polsky & von Keyserlingk 2017). Taulukossa 3 on esitetty esimerkkejä THI arvoista kolmessa eri lämpötilassa kahdelle eri ilmankosteudelle. Arvoista nähdään, että lämpöstressin THI raja 72 on ylittynyt 27 celsiusasteessa vaikka ilman kosteus olisi vielä kohtuullinen (50 %). Vaikka THI jättää huomiotta monia muita eläimen lämpökuormaan vaikuttavia tekijöitä, kuten auringon säteilyn ja tuulen (Gaughan ym. 2008), loppupäätelmä on kuitenkin selvä: Winchesterin ja Morrisin (1956) vedenkulutusmittaukset ovat hyvin linjassa THI-arvoihin perustuvan lämpöstressin arvioinnin kanssa.



Kuva 2. Eripainoisten loppukasvatettavien lihanautojen vedenkulutus eri lämpötiloissa (muokattu Winchesterin ja Morrisin (1956) taulukosta). Eläinten odotettu päiväkasvu on 998 grammaa.

Taulukko 3. Lämpötila-kosteus -indeksin (THI, temperature humidity index) esimerkkiarvoja ja niiden sanalliset tulkinnat. $THI = 0,8 \times T + (RH\%/100) \times (T - 14,4) + 46,4$ (esim. Arias & Mader 2011).

T, lämpötila, °C	RH%, suhteellinen kosteus, %	THI	Lämpöstressitulkinta (Polsky ja von Keyserlingk 2017 mukaan)
20	50	65	Ei lämpöstressiä (eläin lämpömukavuusalueellaan)
20	90	67	Ei lämpöstressiä (eläin lämpömukavuusalueellaan)
27	50	74	Lievä lämpöstressi
27	90	79	Lievä lämpöstressi
32	50	81	Kohtuullinen lämpöstressi
32	90	88	Kohtuullinen lämpöstressi

Hansen ym. (2007) havaitsivat liharotuisilla angus-sonneilla tekemässään tutkimuksessa, että rehuhyötysuhteeltaan tehokkaammat sonnit käyttivät vähemmän vettä elopainokasvuyksikköä kohden kuin rehuhyötysuhteeltaan heikommat eläimet. Brew ym. (2011) puolestaan eivät havainneet yhteyttä veden juonnin ja rehuhyötysuhteen välillä eläinaineksellaan, joka oli heterogeeninen ja koostui mannermaisten ja tropiikkiin sopeutuneiden rotujen risteytyksistä ja puhdasta eläimistä ja eri sukupuolista.

Yhteenveto vedenkulutuksesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä:

- Kasvavilla lihanaudoilla vedenkulutus on tyypillisesti ollut 16–42 litraa vuorokaudessa. Korkeatuottoisten lehmien vedenkulutus voi olla jopa yli 80–90 litraa vuorokaudessa.
- Eläimeen itseensä, ympäristöön, ruokintaan, veden laatuun ja hoitoon liittyvät tekijät vaikuttavat nautojen vedenkulutukseen
- Ympäristön lämpötilan nousu yli 25–26 celsiusasteen ja eläimen kokema lämpöstressi lisäävät huomattavasti lihanaudan vedenkulutusta

5.5. Vedenkulutuksen mallintaminen

Kasvavien lihanautojen vedenkulutusta ja vedentarvetta on pyritty mallintamaan useissa tutkimuksissa. Näissä mallinuksissa havaittuja eroja eläinten vedenkulutuksessa ovat nousseet selittämään osin eri tekijät eri painoarvoilla.

Meyer ym. (2006) selvittivät eri tekijöiden vaikutusta maitorotuisten, 193–550 kg painoisten, rakolattialla kasvatettujen sonnien vedentarpeeseen. Osa betonipalkeista oli päällystetty kumi-matolla. Kokeen aikana ympäristön keskilämpötila oli 11,2 °C, maksimilämpötila 26,0 °C ja minimilämpötila -8,6 °C. Eläinten ruokinta koostui maissisäilörehusta ja väkirehusta. Lineaarisen regressioanalyysin tuloksena saatiin yhtälö: vedenkulutus (kg/vrk) = -3,85 + 0,507 × keskimääräinen ympäristön lämpötila (°C) + 1,494 × kuiva-aineen syönti (kg/vrk) - 0,141 × karkearehun osuus dieetistä (%) + 0,248 × karkearehun kuiva-ainepitoisuus (%) + 0,014 × elopaino (kg). Kaava ei näyttäisi soveltuvan käytettäväksi suomalaisen naudanlihantuotannon tarpeisiin, koska matalissa lämpötiloissa kaavalla voidaan saada hyvin pieniä tai jopa negatiivisia vedenkulutuksen arvoja (Taulukko 4).

Taulukko 4. Meyer ym. (2006) yhtälöllä laskettu vedenkulutus (l/vrk) sonneille suomalaista naudanlihantuotantoa vastaavilla ruokinnoilla ja lämpötila-alueella (kuiva-aineen syönti 9,5 kg/vrk, nurmisäilörehun kuiva-ainepitoisuus 39 %, ohrakokoviljasäilörehun kuiva-ainepitoisuus 29 %).

Ruokinta	Paino (kg)	Ympäristön lämpötila						
		-30	-20	-10	0	+10	+20	+30
nurmisäilörehu 60 % ja litistetty ohra 40 % seoksen kuiva-aineesta	400	1,9	7,0	12,1	17,2	22,2	27,3	32,4
	500	3,3	8,4	13,5	18,6	23,6	28,7	33,8
	600	4,7	9,8	14,9	20,0	25,0	30,1	35,2
nurmisäilörehu 70 % ja ohrakokoviljasäilörehu 30 % seoksen kuiva-aineesta	400	-4,4	0,6	5,7	10,8	15,8	20,9	26,0
	500	-3,0	2,0	7,1	12,2	17,2	22,3	27,4
	600	-1,6	3,4	8,5	13,6	18,6	23,7	28,8
nurmisäilörehu 85 % ja litistetty ohra 15 % seoksen kuiva-aineesta	400	-1,6	3,5	8,6	13,6	18,7	23,8	28,8
	500	-0,2	4,9	10,0	15,0	20,1	25,2	30,2
	600	1,2	6,3	11,4	16,4	21,5	26,6	31,6

Arias & Mader (2011) muodostivat regressioyhtälöt ennustamaan feedlot-karsinoissa loppukasvatettujen liharotuisten härkien ja hiehojen vedenkulutusta kesällä ja talvella. Analysoitu aineisto koostui useista erillisistä 82–104 vuorokauden pituisista kokeista, joissa oli tutkittu erilaisia ravitsemukseen ja kasvatusympäristöön liittyviä tekijöitä. Kesällä ympäristön keskilämpötila oli 21,4 °C, maksimilämpötila 27,5 °C ja minimilämpötila 15,5 °C ja talvella keskilämpötila oli -2,0 °C, maksimilämpötila 4,2 °C ja minimilämpötila -8,8 °C. Kesän vedenkulutusta kuvaava malli oli muotoa: vedenkulutus (l/vrk) = 4,81 + 1,20 × kuiva-aineen syönti (kg/vrk) + 0,04 × auringon säteily (W/m²) + 0,5 × minimilämpötila (°C). Talven vedenkulutusta kuvaava malli oli muotoa: vedenkulutus (l/vrk) = 16,10 + 0,54 × kuiva-aineen syönti (kg/vrk) + 0,01 × auringon säteily (W/m²) + 0,16 × maksimilämpötila (°C) + -0,50 × tuulennopeus (m/s) + -0,06 × suhteellinen kosteus (%) + -0,45 × sademäärä (cm/vrk). Taulukossa 5 yhtälöitä on käytetty laskemaan sonnien vedenkulutuksia suomalaisissa kasvatusolosuhteissa. Yhtälöt antavat järkeviä vedenkulutusarvoja suomalaista naudanlihantuotantoa vastaavissa olosuhteissa.

Taulukko 5. Arias ja Mader (2011) yhtälöillä lasketut vedenkulutukset (l/vrk) sonneille Suomen olosuhteita (kylmäpihatossa) vastaavilla ruokinnoilla ja lämpötila-alueella. Yhtälöissä käytetyt vakioarvot ovat kuiva-aineen syönti 9,5 kg/vrk, auringon säteily 100 W/m², tuulenopeus 2 m/s (vain talven mallissa), suhteellinen kosteus 50 % (vain talven mallissa) ja sademäärä 0 cm/vrk (vain talven mallissa). Talven malli käyttää vuorokauden maksimilämpötilaa ja kesän malli vuorokauden minimilämpötilaa.

	Talvi			Talvi/Kesä	Kesä		
Maksimilämpötila °C	-30	-20	-10	0			
Minimilämpötila °C				0	+10	+20	+30
Talvi ¹⁾	13,4	15,0	16,6	18,2			
Kesä ²⁾				20,2	25,2	30,2	35,2

¹⁾ Käytetty yhtälö: vedenkulutus = 16,10 + 0,54 × kuiva-aineen syönti (kg/vrk) + 0,01 × auringon säteily (W/m²) + 0,16 × maksimilämpötila (°C) + -0,50 × tuulenopeus (m/s) + -0,06 × suhteellinen kosteus (%) + -0,45 × sademäärä (cm/vrk).

²⁾ Käytetty yhtälö: vedenkulutus = 4,81 + 1,20 × kuiva-aineen syönti (kg/vrk) + 0,04 × auringon säteily (W/m²) + 0,5 × minimilämpötila (°C).

Hicks ym. (1988) tutkivat dieetin suolapitoisuuden (0, 0,25 ja 0,5 %) vaikutusta 332–482 kg painoisten feedlot-risteytyshärkien vedenkulutukseen ja laativat yhtälön ennustamaan eläinten vedenkulutusta. Koe tehtiin kesällä ja sen kesto oli 92 vuorokautta. Yhtälö oli muotoa: vedenkulutus (l/vrk) = -18,67 + 0,3937 × (maksimilämpötila (°C) × 1,8 + 32) + 2,432 × kuiva-aineen syönti (kg/vrk) - 3,870 × sademäärä (cm/vrk) - 4,437 × dieetin suolapitoisuus (%). Yhtälö on muokattu Suomen mittayksiköille soveltuvaksi National Research Council (2000) julkaisemasta yhtälön versiosta. Kaava ei sovellu käytettäväksi suomalaisen naudanlihantuotannon tarpeisiin, koska matalissa lämpötiloissa vedenkulutus saa hyvin pieniä tai negatiivisia arvoja (Taulukko 6).

Taulukko 6. Härkien vedenkulutus eri lämpötiloissa Hicks ym. (1988) yhtälöllä laskettuna. Yhtälössä käytetyt vakioarvot ovat kuiva-aineen syönti 9,5 kg/vrk, sademäärä 0 cm/vrk ja dieetin suolapitoisuus 0,2 %.

Maksimilämpötila °C	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30
Vedenkulutus (l/vrk)	-5,1	2,0	9,1	16,1	23,2	30,1	37,4

Loneragan ym. (2001) tutkivat veden sulfaattipitoisuuden (136–2360 mg/l) vaikutusta feedlot-kasvattamoissa pidettyjen risteytyshärkien vedenkulutukseen ja muodostivat regressioyhtälön kuvaamaan härkien vedenkulutusta. Härkien alkupaino oli 304 kg ja kokeen kesto oli 16 viikkoa. Kokeen aikana ympäristön keskilämpötila oli 20,1 °C, maksimilämpötila 30,1 °C ja minimilämpötila 4,9 °C. Regressioyhtälö oli muotoa: vedenkulutus = -452,5 + 1,9 × vuorokauden keskilämpötila (°C) + 0,096 × elopaino + 0,803 × kuiva-aineen syönti + 98,9 × vuorokauden keskimääräinen ilmanpaine (mm Hg) + -0,001 × juomaveden sulfaattipitoisuus (100 mg/l) + 0,194 × vuorokauden keskituulenopeus (km/h) + 0,038 × vuorokauden keskimääräinen ilmakehäkosteus (%). Yhtälöllä ei saada laskettua järkeviä vedenkulutusarvoja suomalaista naudanlihantuotantoa vastaavilla arvoilla.

Sexson ym. (2012) muodostivat monitekijäisen mallin selittämään feedlot-härkien vedenkulutusta. Malli on hyvin yksityiskohtainen ja sisältää selittävinä tekijöinä eläimen painon, metabolisen painon sekä lukuisia säähän liittyviä muuttujia. Näiden jatkuvien muuttujien lisäksi mallissa on mukana mittauskuukausi luokittelevana muuttujana. Monimutkaisuutensa vuoksi mallin soveltaminen on hankalaa.

Yhteenvedo vedenkulutuksen mallintamisesta:

- Kasvavien lihanautojen vedenkulutuksesta ja vedentarpeesta on tehty useita tilastomatemaattisia mallinnuksia, mutta ulkomaisilla aineistoilla tehnyt mallinnukset eivät välttämättä sovellu suomalaisen naudanlihantuotannon tarpeisiin.

5.6. Juomiskäyttäytyminen

Naudat ovat päiväaktiivisia veden juojia (esim. Sneva 1970, Huzzey ym. 2007, Osborne ym. 2002, Cardot ym. 2008, Tripon 2012) ja juominen on harvinaista yöllä (Andersson ym. 1984, Andersson & Lindgren 1987, Tripon 2012). Lypsylehmillä suuri osa juomisesta tapahtuu lypsyjen ja/tai ruokintojen yhteydessä tai niiden jälkeen (Castle & Thomas 1975, Kocsis & Mikecz 1986, Andersson ym. 1984, Andersson & Lindgren 1987, Cardot ym. 2008).

Juottolaitteen tyyppi vaikuttaa nautojen juomiskäyttäytymiseen (Taulukko 7). Naudat juovat vesialtaasta 3–10 kertaa vuorokaudessa. Juomakupista juotettuna juomiskertoja on vuorokaudessa useampia, 13–30. Eläimet myös käyttävät kaikkiaan enemmän aikaa juomiseen juomakupista juotettuna (7–19 min/vrk) kuin vesialtaasta juotettuna (2–10 min/vrk). Yksittäisellä juomakerralla juodun vesimäärän on lehmillä raportoitu olevan noin 2–13 litraa, mutta ne pystyvät juomaan kerrallaan huomattavasti suurempiakin määriä. Vesinipoista ei löydy tutkimustietoa kasvavilta lihanautoilta. Vasikoilla tehdyssä tutkimuksessa eläimet joivat vesinipoista useammin ja pienempinä annoksina kuin vesiämpäristä ja suuri osa vesinipasta juonneista tapahtui epätyypillisellä tavalla (Hepola ym. 2008). Vasikoiden vedenkulutuksessa tai kasvuissa ei ollut eroa juottolaitteiden välillä.

Taulukko 7. Lihanautojen ja lehmien juomiskäyttäminen.

Nautatyypin ja kasvatusolosuhde	Juottolaitteen tyyppi	Juominen			Viite
		lukumäärä/vrk	kesto yhteensä/vrk	yhdellä kerralla juotu vesimäärä	
liharotuinen sonni, laidun tai pihattokarsina	allas tai juomakuppi		3–9 min		Tuomisto ym. 2015
kasvava härkä, laidun	vesilammikko, allas	7 (3–11)	9 min		Lardner ym. 2013
kasvava härkä, feedlot	allas	4–11	6–8 min		Sowell ym. 1999
lypsylehmä, parsi	juomakuppi	14	19 min	6,4 l	Dado & Allen 1994
lypsylehmä	juomakuppi	13–15	10–17 min	3–4 l	Kocsis & Mikecz 1986
lypsylehmä, parsi	juomakuppi, virtaus poikkeavan hidas, 2 l/min	40	37 min	2,4 l	Andersson ym. 1984
lypsylehmä, parsi	juomakuppi, virtaus 7 l/min	28	11 min	3,5 l	Andersson ym. 1984
lypsylehmä, parsi	juomakuppi, virtaus 12 l/min	30	7 min	3,4 l	Andersson ym. 1984
lypsylehmä	juomakuppi	ka 7 (1–27)		12,9 l (maks. 51 l)	Cardot ym. 2008
lypsylehmä	allas	10	6 min	5–6 l	Kocsis & Mikecz 1986
lypsylehmä, laidun	allas	3–4 (7)			Thomas 1971
lypsylehmä, pihatto	allas	3–7	2–5 min		Castle & Thomas 1975
lypsylehmä, pihatto	allas	7–10	6–7 min		Huzzey ym. 2005
lypsylehmä	allas			5,5 l (maks. 26 l)	Chapinal ym. 2007
liharotuinen lehmä, laidun	allas	1–3	0–16 min		Rouda ym. 1994
hieho vasikka, ikä 4 kk	allas			1,8 l (maks. 6 l)	Oliveira ym. 2018
maitorotuinen vasikka, ikä 6 kk	allas	7–9	7–10 min		Tripon ym. 2012

Lehmät pystyvät juomaan luontaisesti hyvinkin nopeasti. Lehmien juomisnopeudeksi on vaapaasta veden pinnasta raportoitu 10 l/min (Kocsis & Mikecz 1986), 6–15 l/min (Castle & Thomas 1975) ja 16 l/min (Thomas 1971). Janoisuus vaikuttaa juomisnopeuteen. Viiden tunnin

juomisen eston jälkeen lehmät joivat altaasta nopeasti, 17–20 litraa minuutissa (Machado Filho ym. 2004).

Juomakupista juotettaessa tilanne on juomisnopeuden kannalta aivan erilainen kuin altaasta juotettuna. Eläin pystyy juomaan vain niin nopeasti kuin vesi virtaa kuppiin ja mitä hitaammin vesi virtaa kuppiin sitä enemmän eläimen juomisnopeus eroaa normaalista juomisnopeudesta (esim. Kocsis & Mikecz 1986). Parressa lehmien juomisnopeudeksi on mitattu juomakupista 4,3 l/minuutti (Dado & Allen 1993) ja 3–5 l/min (Kocsis & Mikecz 1986). Lisäksi veden hidas virtaus juomakuppiin lisäsi lypsylehmien juomiskertojen lukumäärää (40, 28 ja 30 kertaa vuorokaudessa, kun veden virtausnopeus kuppiin oli 2, 7 tai 12 litraa minuutissa) ja juomiseen käytettyä aikaa (67 s, 28 s ja 17 s juomiskertaa kohden ja 37 min, 11 min ja 7 min vuorokautta kohden, kun veden virtausnopeus kuppiin oli 2, 7 tai 12 litraa minuutissa) (Andersson ym. 1984). Normaalin juomiskäyttäytymisen varmistamiseksi veden virtauksen juomakuppiin tai -altaaseen on oltava riittävä. WQ määrittelee lypsylehmillä riittäväksi juomakupin täyttönnopeudeksi vähintään 10 litraa minuutissa ja riittäväksi juoma-altaan täyttönnopeudeksi vähintään 20 litraa minuutissa (Welfare Quality® 2009). Edellä esitetyn Andersson ym. (1984) tutkimuksen perusteella WQ:n juomakupin täyttönnopeusvaatimus (10 l/min) lehmillä on perusteltu. WQ ei määrittele veden virtausnopeuden raja-arvoja lihanautojen juottolaitteille (Welfare Quality® 2009).

Nautaryhmän hierarkian vaikutusta juomiskäyttäytymiseen on tutkittu lypsylehmillä. Parressa tehdyssä kokeessa vierekkäisillä kahdella lehmällä oli käytössään yhteinen juomakuppi (Andersson ym. 1984). Dominoiva yksilö joi yhteiseltä juomakupilta enemmän (80,1 l/vrk) ja harvemmin (28 juomiskertaa päivässä) ja käytti juomiseen enemmän aikaa (19,1 min/vrk) kuin alistuva yksilö (74,5 l/vrk, 38 juomiskertaa/vrk, 17,2 min/vrk). Maitotuotos oli sama, mutta maidon rasvaprosentti oli pienempi alistuvalla yksilöllä. Seuraavassa kokeessa Andersson ja Lindgren (1987) estivät veden juonin aamu- ja iltapäiväruokinnan jälkeen 1 tunnin ajaksi tai 2 tunnin ajaksi. Lypsylehmät olivat parressa ja vierekkäisillä eläimillä oli käytössään yhteinen juomakuppi (veden virtaus 4,5 l/min). Kontrollikäsitteilyllä juomakupin käyttöä ei rajoitettu. Yleistarkastelussa käsittelyjen (ei rajoitusta, esto 1 h, esto 2 h) välillä ei ollut eroa vuorokauden kokonaisvedenkulutuksessa, rehunkulutuksessa, maitotuotoksessa tai eläinten painoissa, mutta tarkasteltaessa lehmäparien keskinäistä hierarkiaa havaittiin, että kaikilla käsittelyillä lehmäparin dominoiva eläin joi vettä enemmän, tuotti maitoa enemmän ja oli painavampi kuin alistuva lehmä. Juomiskertoja oli myös vähemmän alistuvalla eläimellä niillä käsittelyillä, joissa vesikupin käyttöä oli rajoitettu. Pihatossa tehdyssä kokeessa kilpailu juottolaitteista lisäntyi lypsylehmien kesken (20 eläintä ja 2 juottolaitetta) lämpötila-kosteusindeksin korkeilla lukuarvoilla (kuumalla ja kostealla säällä) ja arvoasteikossa alempana olevat eläimet vähensivät juomassa käymistä kuumimpaan ja kilpailluimpaan aikaan päivästä (McDonald ym. 2020). Tässä kokeessa juomalaitemitoitus vastasi kansallisen lainsäädäntömme minimivaatimusta ja kokeen tulosten perusteella 2 juomalaitetta 20 lypsylehmää kohden voi olla riittämätön takaamaan kaikissa olosuhteissa kaikille eläimille tasavertaisen mahdollisuuden normaaliin juomiskäyttäytymiseen. Edellä raportoidut kokeet osoittavat, että etenkin ryhmän hierarkiassa alempana sijaitsevien eläinten normaali juomiskäyttäytyminen voi vaarantua, jos juottolaitteiden käyttöä rajoitetaan tai juottolaitteet eivät pysty vastaamaan eläinten tavanomaista suurempaan vedentarpeeseen.

Sairastuminen muuttaa lihanautojen syömiskäyttäytymistä vähentämällä syöntikertojen lukumäärää (Sowell ym. 1999) ja ruokintakaukalolla vietettyä aikaa (Sowell ym. 1998 ja 1999). Sairastumisen on huomattu vaikuttavan myös juomiskäyttäytymiseen lihanautoilla (Basarab ym. 1996, Sowell ym. 1999). Sowell ym. (1999) seurasi härkien (139–160 kg) juomiskäyttäytymistä automaattista juomiskäyttäytymisen monitorointia (GrowSafe) käyttäen 32 päivän ajan feedlot-kasvattamoon saapumisen jälkeen. Eläimet jaettiin terveisiin ja sairastuviin eläimiin. Sairastuvat eläimet määriteltiin eläimiksi, jotka kokeen aikana jouduttiin siirtämään sairaskarsinaan

saaman hoitoa mihin tahansa terveydelliseen ongelmaan. Hoidon jälkeen eläimet palautettiin koekarsinoihin. Loput eläimet luokiteltiin terveiksi. Sairastuvien härkien juomiskertojen lukumäärä oli kokeen aikana pienempi kuin terveiden härkien. Juoma-altaalla vietetyssä ajassa ei ollut eroa ryhmien välillä. Basarab ym. (1996, Sowell ym. 1999 mukaan) kokeessa GrowSafe-juottojärjestelmä onnistui havaitsemaan hengitystietulehdukseen sairastuvat eläimet aiemmin kuin perinteinen eläinten havainnointiin perustuva menetelmä. Hengitystietulehduksen vuoksi hoidetut eläimet käyttivät juomiseen 23,7 % vähemmän aikaa kuin terveet eläimet. Vähentynyt juomisaika ilmeni jo 3–4 päivää ennen, kuin perinteinen menetelmä tunnisti sairaan eläimen. Härkiä seurattiin feedlot-kasvattamossa 71 päivän ajan ja ne olivat keskimäärin 430 kg painoisia.

Yhteenvedo juomiskäyttäytymisestä:

- Nautojen luontainen tapa on juoda vapaasta veden pinnasta. Vesialtaasta juotettuna naudat juovat noin 3–10 kertaa vuorokaudessa ja käyttävät juomiseen aikaa noin 2–10 minuuttia/vrk. Juomakupista juotettuna juomiskertojen lukumäärä on suurempi ja juomiseen käytetty aika pidempi.
- Vesinippoja koskevaa tutkimusta ei ole tietävästi tehty lihanaudoilla, mutta vasikoilla tehdyn tutkimuksen perusteella vesinipat eivät mahdollista lajityypillistä juomiskäyttäytymistä.
- Veden hidas virtaus juomalaitteeseen sekä juomakupin jakaminen parressa tai juottolaitteiden riittämätön määrä pihatossa vaarantavat lypsylehmien normaalin juomiskäyttäytymisen. Hierarkiassa alempana sijaitsevat yksilöt ovat erityisen huonossa asemassa, jos resursseja rajoitetaan.
- Sairastuminen muuttaa lihanautojen juomiskäyttäytymistä jo ennen silmällä havaittavien sairauden merkkien ilmaantumista. Juomiskäyttäytymisen automaattisessa monitoroinnissa voisi olla potentiaalia sairastapausten varhaiseen havaitsemiseen.

5.7. Eläinten lukumäärä juomapaikkaa kohden

Eläinten lukumäärää juomapaikkaa kohden on tutkittu naudoilla vähän tai ei lainkaan eikä aiheesta löydy tieteellisiä tutkimuksia. Määräykset juomapaikkojen määrästä nautaa kohden pohjautuvat siten arveluihin. Alla esitetään lyhyesti esimerkkejä muilla kotieläinlajeilla tehdyistä tutkimuksista.

Aikuisilla vuohilla 30 eläimen ryhmällä oli käytössään 4 juomanippaa (7,5 eläintä/nippa), 2 juomanippaa (15 eläintä/nippa) tai 1 juomanippa (30 eläintä/nippa) (Ehrlenbruch ym. 2010). Eläinten käyttäytymistä seurattiin karkearehuruokintojen jälkeen 2 tuntia aamulla ja 2 tuntia iltapäivällä. Juomanippojen vähentämisellä ei ollut vaikutusta eläinryhmän vedenkulutukseen, mutta kun ryhmällä oli käytössään vain 1 nippa (30 eläintä/nippa) ilmeni jonottamista nipalle ja lisäksi syrjäytyksiä nipalta esiintyi enemmän kuin muilla käsittelyillä. Lisäksi juomiseen kaikkiaan käytetty aika, juomisfrekvenssi ja "vesiateriaan" (yhteen juomakertaan) käytetty aika olivat lyhyemmät, kun ryhmällä oli käytössään 1 (30 eläintä/nippa) tai 2 (15 eläintä/nippa) nippaa kuin 4 nippaa (7,5 eläintä/nippa).

Bøe ym. (2012) päättelivät tiineillä lampailla tekemänsä kokeen perusteella, että 1 juomanippa on hyväksyttävä turvaamaan riittävän vedensaannin 30 lampaaseen asti. Tässä kokeessa, kuten edellä kuvatussa kokeessa vuohilla, 30 eläimen ryhmällä oli käytössään 4 juomanippaa (7,5 eläintä/nippa), 2 juomanippaa (15 eläintä/nippa) tai 1 juomanippa (30 eläintä/nippa). Käyttäytymistarkkailua tehtiin 60 minuutin ajan aamulla ja iltapäivällä ruokintojen jälkeen. Kokeen

toisessa osakokeessa syrjäyttäminen nipalta lisääntyi, kun eläinten lukumäärä nippaa kohden kasvoi, mutta koekäsittelyillä (30 tai 15 eläintä/nippa vs. 7,5 eläintä/nippa) ei ollut haitallista vaikutusta rehunkulutukseen, vedenkulutukseen tai jonottamisaikaan kummassakaan osakokeessa. Juomiseen käytetyn ajan suhteen tulos oli tässä kokeessa erilainen kuin edellä kuvatussa vuohilla tehdyssä kokeessa (Ehrlenbruch ym. 2010). Juomiseen käytetty aika lisääntyi eikä vähentynyt, kun eläinten lukumäärä nippaa kohden kasvoi.

Turnerin ym. (1999) koe pyrki tuomaan selkeyttä juomanippojen tarpeeseen sioilla. Kokeessa käytettiin erikokoisia sikaryhmiä (20 tai 60 eläintä/ryhmä) ja eläimillä oli käytössään 1 juomanippa 20 eläintä kohden tai 1 juomanippa 10 eläintä kohden. Juomanippojen määrällä ei ollut vaikutusta vedenkulutukseen, mutta juomapisteelle jonottamista ja aggressiivista syrjäyttämistä nipalta esiintyi enemmän ja nipalla käyntejä vähemmän kun 20 eläintä kohden oli käytössä vain yksi nippa.

Yhteenveto juomapistemitoituksesta:

- Pienillä märehijöillä ja sioilla tehdyissä tutkimuksissa eläinten lukumäärän maltillinen lisääminen 20–30 eläimeen juomapistettä kohden ei ole vaikuttanut vedenkulutukseen, mutta eläinten käyttäytymisessä on havaittu muutoksia kuten lisääntynyttä aggressiivisuutta juomapisteellä, jonotusajan kasvamista ja juomiseen käytetyn ajan vähenemisestä.
- Tutkimustulokset sopivasta juomapaikkamitoituksesta puuttuvat naudoilta kokonaan, joten aiheesta kaivataan tutkimuksia.

5.8. Veden saannin rajoittaminen

Laiduntavien lypsylehmien veden saannin rajoittaminen 90 %:in normaalista kulutuksesta 14 päivän ajaksi aiheutti eläinten elopainon laskemisen ja vaikutti joihinkin veriparametreihin, mutta ei pienentänyt keskimääräistä maitotuotosta merkitsevästi verrattuna kontrolliryhmään (Little ym. 1980). Parressa pidettyjen lypsylehmien vedensaannin rajoittaminen 60 %:in normaalista vedenkulutuksesta laski välittömästi rehunkulutusta 24 %:lla ja maitotuotosta 16 %:lla verrattuna kontrollieläimiin ja vaikutti eläinten painoon, veriparametreihin ja ulosteen vesipitoisuuteen (Little ym. 1978). Myöhempää tuotoksen tai syönnin laskua ei enää tapahtunut kolmen viikon pituisen kokeen aikana. Koesarjan rajuimmassa kokeessa laiduntavien lypsylehmien veden saantia rajoitettiin neljän päivän ajaksi 50 %:in normaalista vedenkulutuksesta (Little ym. 1980). Lehmien maitotuotos laski keskimäärin 26 %:lla ja elopaino laski 14 %:lla verrattuna kontrolliryhmään, mutta joillakin yksittäisillä eläimillä (oletettavasti hierarkiassa alhaisimmassa asemassa) muutokset olivat vielä suurempia. Veden saannin rajoittaminen vaikutti laajasti rajoitetun ryhmän veriparametreihin viitaten verivolyymin laskuun ja veren väkevöitymiseen. Rajoituskäsittelyllä olleet lehmät myös käyttäytyivät toisiaan kohtaan hyvin aggressiivisesti juomakupilla ja viettivät enemmän aikaa sen läheisyydessä ja makasivat vähemmän kuin kontrolliryhmän eläimet.

Metaboliahäikeissä tehdyssä kokeessa liharotuisten kasvavien härkien veden saannin rajoittaminen 80 %:in niiden normaalista juontimäärästä ei vähentänyt rehun syöntiä merkitsevästi (Utley ym. 1970). Veden saannin rajoittaminen 60 %:in normaalista vähensi rehun syöntiä 23 %:lla. Ulosteen vesipitoisuus ja virtsan määrä korreloivat eläinten veden saannin kanssa.

Andersson ym. (1984) testasivat veden virtauksen (2, 7 tai 12 litraa minuutissa) vaikutusta parressa pidettyjen lypsylehmien juomiskäyttäytymiseen ja vedenkulutukseen. Veden hitain virtaus (2 l/min) kuppiin vähensi juodun veden määrää 11–14 %:lla (9–13 litralla) vuorokaudessa

verrattuna nopeimpaan virtaukseen (12 l/min), mutta ei vaikuttanut rehun syöntiin tai maitotuotokseen. Myöskään fysiologiset veri- maito- tai ulosteparametrit eivät viitanneet siihen, että alhaisimmalla virtausnopeudella lehmät olisivat kärsineet vedenpuutteesta.

Williams ym. (2017) tekivät laajan kirjallisuuskatsauksen, jossa 12 koetta raportoivat vähentyneen veden juomisen ja rehun syömisen, kun lihaa varten kasvatettavien nautojen annettiin juoda joka toinen päivä tai joka kolmas päivä verrattuna tilanteeseen, jossa eläimet saivat juoda kerran päivässä. Kokeissa käytettiin *Bos indicus* ja *Bos taurus* eläimiä, laiduntavia tai intensiivisesti kasvatettuja, ja kokeet oli tehty pääosin Afrikassa. Mediaanivähennykset olivat 15 % ja 25 % veden juomiselle ja 16 % ja 9 % rehun syömiselle, kun eläimet pääsivät juomaan joka toinen päivä tai joka kolmas päivä. Eläinten kasvun suhteen tulokset olivat ristiriitaisia. Williams ym. (2017) kirjallisuuskatsauksen kokeissa huomattiin, että harvoin juodessaan eläimet joivat kerrallaan suurempia määriä vettä, mutta suuremmalla juodulla vesimäärällä eläin ei pystynyt täysin kompensoimaan tiheämpiä juomiskertoja. Pötsin tilavuus asettaa fysiologisen rajan kerta-juonnille (Nicholson 1989).

Juoma-altaan sijainnin on havaittu vaikuttavan juodun veden määrään lehmillä (Coimbra ym. 2012). Laiduntavat lypsylehmät käyttivät juomiseen vähemmän aikaa, kävivät juomassa harvemmin ja joivat vähemmän, kun juoma-allas sijoitettiin laidunlohkon ulkopuolelle 4 metriä leveälle kulkukäytävälle 150 metrin päähän kuin jos juoma-allas sijaitsi laitumella. Lisäksi tutkimuksessa huomattiin, että dominoivat lehmät olivat paremmassa asemassa juoma-altaan käytön suhteen; kun juoma-allas oli kulkukäytävällä, dominoivat lehmät kävivät tilastollisesti suuntaa antavasti useammin juomassa ja käyttivät juomiseen tilastollisesti suuntaa antavasti enemmän aikaa kuin alempiarvoiset lehmät. Tutkijat esittivät dominoivien eläinten ajoittain estävän alempiarvoisten eläinten pääsyn juoma-altaalle. Hierarkiassa matalalla sijaitsevien eläinten mahdollisuus päästä esteettä juomaan on erityisesti huomioitu WQ-kriteereissä (Forkman & Keeling 2009). Korkeimmat WQ-pistemäärät edellyttävät, että ryhmäkasvatuksessa naudalla on aina käytössään vähintään kaksi juomapistettä.

Yhteenveto veden saannin rajoittamisesta:

- Nautojen veden saannin rajoittaminen heikentää merkittävästi eläinten hyvinvointia: eläinten käyttäytymisessä ja fysiologiassa ja tapahtuu muutoksia. Lisäksi rehun syönti vähenee ja maitotuotos pienenee.
- Veden hidas virtaus juomakuppiin pienentää vedenkulutusta.
- Nauta ei pysty täysin kompensoimaan harvoin tapahtuvaa juottoa juomalla kerralla suurempia määriä, koska eläimen anatomia (pötsin tilavuus) asettaa fysiologisen rajan kerralla juodun veden määrälle.
- Juomalaitteen sijoittamisessa tulee huomioida kaikkien eläinten esteetön pääsy juomalaitteelle.

5.9. Juomaveden laatu

Useat tekijät voivat heikentää eläinten juomaveden laatua. Tällaisia ovat esimerkiksi korkea sulfaattipitoisuus, korkea suolapitoisuus, ulosteet ja virtsa, korkea bakteeripitoisuus, liiallinen nitraatin tai nitriitin määrä, kemiallinen saastuminen ja pilaantuminen, leväkasvusto tai pintamaan huuhtoutuminen veteen (esim. Willms ym. 2002, Grout ym. 2006, Golher ym. 2021, Suomen ympäristökeskus 2022). Nautojen juomaveden nitriitin, nitraatin, sulfaatin ja TDI:n (*total dissolved solids*) raja-arvoja on esitetty Taulukossa 8 (katsausartikkeli; Wagner & Engle 2021). TDI määriteltiin veteen liukeneviksi ioneiksi, joihin kuuluivat natriumkloridi, bikarbonaatti, sulfaatti, kalsium, magnesium, pii, rauta, nitraatti, strontium, kalium, karbonaatti, fosfori, boori ja fluoriidi.

Taulukko 8. Nautojen juomaveden nitriitin, nitraatin, sulfaatin ja TDS:n (*total dissolved solids*) raja-arvoja (katsausartikkeli; Wagner & Engle 2021).

Kemiallinen yhdiste	Konsentraatio	Tulkinta lihanaudan kannalta
Nitriitti	<33 mg/l	Yleisesti pidetään turvallisena
Nitraatti	<45 mg/l	Yleisesti pidetään turvallisena
	45–132 mg/l	Turvallinen vähän nitraattia sisältävällä ruokinnalla
	133–220 mg/l	Voi olla haitallinen pitkäaikaisessa käytössä
	221–660 mg/l	Terveydelle vaarallinen ja voi johtaa kuolemaan
	>660 mg/l	Kuolemanriski suuri. Ei tule käyttää juomavetenä.
Sulfaatti	<300 mg/l	Yleisesti pidetään turvallisena
	300–999 mg/l	Turvallinen vähän rikkiä sisältävällä ruokinnalla
	1000–1999 mg/l	Voi aiheuttaa ripulia ja tuotannon alenemista.
	>2000 mg/l	Aiheuttaa todennäköisesti ripulia ja tuotannon alenemista.
TDS	<1000 mg/l	Turvallinen, ei aiheuta terveysongelmia
	1000–2999 mg/l	Yleensä turvallinen, mutta voi aiheuttaa tilapäistä lievää ripulia tottumattomille eläimille
	3000–4999 mg/l	Voi aiheuttaa tilapäistä ripulia ja/tai juomasta kieläytymistä alkuun. Vedenkulutuksen väheneminen heikentää tuotantoa.
	5000–6999 mg/l	Vältettävä tiineillä nautoilla ja laktaation aikana.
	7000–9999 mg/l	Vältettävä kaikilla nautoilla. Aiheuttaa terveysongelmia ja heikkoa tuotantoa.

Suomessa juomaveden laatu on yleensä hyvä. Kaivovedessä voi esiintyä luonnollisia kallio- ja maaperästä johtuvia veden laatuhaittoja tai pohjavesi voi olla likaantunut ihmistoiminnan seurauksena (Suomen ympäristökeskus 2021). Yleisimmin terveyshaittoja aiheuttavat korkea bakteeripitoisuus tai liiallinen nitraatin tai nitriitin määrä, joiden esiintyminen pohjavedessä on yleensä seurasta ihmistoiminnasta kuten jätevesistä tai lannoituksesta. Pohjaveden laatuhaittoja aiheuttavat yleisimmin happamuus, rauta ja mangaani. Näiden aiheuttama haitta ei ole terveydellinen. Korkeita sulfaattipitoisuuksia esiintyy Suomessa rannikkoalueilla vanhan merenpohjan alueella sijaitsevilla pohjavesillä. Pieni määrä sulfaattia ei ole terveydellinen haitta eivätkä pitoisuudet yleensä ylitä kaivovedelle annettua raja-arvoa 250 mg/l (STM asetus 401/2001, Suomen ympäristökeskus 2021).

Juomaveden laatu voi muodostua ongelmaksi erityisesti ekstensiivisessä tuotannossa, jossa eläimet saavat juomavetensä luonnon omista vesipisteistä tai keinotekoisista vesilammikoista. Luonnonvesissä voi esiintyä kesäaikaan sinilevää, joka on eläimille myrkyllistä. Sinilevän saastuttama vesi ei kelpaa juomavedeksi. Luonnonvesi on myös alttiina saastumaan eläinten lannalla, koska naudat ulostavat ja virtsaavat usein juomistapahtuman yhteydessä. Liharotuisten lehmien havaittiin ulostavan juomaveden lähteenä olevaan lammikkoon 26 %:ssa juomistapahtumista (Willms ym. 2002).

Valintakokeet osoittavat, että naudat juovat mieluiten puhdasta ja hyvälaatuista vettä. Liharotuiset härät (16 kk) välttelivät lannan pilaamaa vettä (lantapitoisuus 0,005 % tai 0,025 %) ja valitsivat juotavaksi mieluummin puhtaan veden (Willms ym. 2002). Sama tulos saatiin eri koeksessa lypsylehmillä. Lehmät valitsivat juotavaksi mieluummin puhtaan veden kuin lannan pilaaman veden (lantapitoisuus 0,005 % tai 0,1 %, Schütz ym. 2019). Kolmannessa valintakokeessa liharotuiset härät valitsivat juotavaksi (tilastollisesti merkitseväksi tai suuntaa antavasti) pohjaveden kaivosta (sulfaattia alle 2000 mg/l, liuenneiden aineiden kokonaismäärä alle 3000 mg/l) enemmän kuin pintaveden lammikosta, tai pintaveden johdettuna juoma-altaaseen joko sellaisenaan tai käsiteltynä (ilmastettu, kloorikäsitelty, saostettu alumiinisulfaatilla ja/tai otsonoitu) (Lardner ym. 2013). Pintaveden käsittelyjen tavoitteena oli parantaa veden laatua.

Juomaveden saastuminen lannalla pienensi härkien vedenkulutusta (lantapitoisuus yli 0,25 %, Willms ym. 2002) ja rehunkulutusta (lantapitoisuus yli 0,5 %, Willms ym. 2002) ja lehmien vedenkulutusta tilastollisesti suuntaa antavasti (lantapitoisuus 0,005 %, Schütz ym. 2019) tai merkitsevästi (lantapitoisuus 0,1 %, Schütz ym. 2019). Juomaveden lantaisuudella ei ollut vaikutusta rehun syöntiin lehmillä (Schütz ym. 2019). Veden korkea sulfaattipitoisuus (≥ 4000 mg/l) pienensi liharotuisien hiehojen ja härkien vedenkulutusta (Grout ym. 2006). Juomaveden sulfaattipitoisuuden kasvu (136–2360 mg/l) heikensi lineaarisesti härkien kasvua ja rehuhyötysuhdetta (Loneragan ym. 2001).

Altaasta puhtaalla vedellä juotetut liharotuiset hiehot ja härät käyttivät laiduntamiseen enemmän aikaa ja kasvoivat paremmin, kuin luonnon omasta lammikosta juomavetensä saaneet eläimet (Willms ym. 2002). Myös emojen vasikat voivat hyötyä puhtaasta vedestä: vasikat, joiden emojen juomaveden lähteenä oli puhdasvesiallas, kasvoivat tilastollisesti suuntaa antavasti paremmin kuin vasikat, joiden emot joivat luonnon lammikosta (Willms ym. 2002). Juomavesikäsittelyllä ei ollut vaikutusta emojen painoon tai pintarasvan paksuuteen.

Lardner ym. (2005) tarjosivat laiduntaville liharotuisille härille (ikä 14 kk) ja emolehmille vasikoineen pintavettä suoraan lammikosta (*dugout*) tai samaista pintavettä johdettuna juoma-altaaseen. Juoma-altaaseen johdettu vesi tarjottiin sellaisenaan tai käsiteltynä (ilmastettuna tai saostettuna). Veden tarjoamistavalla ei ollut vaikutusta emolehmien tai vasikoiden kasvuun, mutta härät kasvoivat paremmin, kun ne saivat juomavetensä ilmastettuna tai saostettuna verrattuna käsittelemättömän veden juomiseen suoraan lammikosta. Tutkijat esittivät, että parantunut kasvu oli todennäköisesti yhteydessä veden parantuneeseen maittavuuteen.

Sheffield ym. (1997) tutkivat laiduntavien emolehmien käyttäytymistä, kun niiden laitumelle sijoitettiin juoma-allas. Eläimillä oli lisäksi koko ajan vapaa pääsy juomaan luontaiselle vesilähteelle, jona toimi alueen läpi virtaava joki. Lehmät suosivat juomiseen juoma-allasta ja vähensivät joessa juoden tai muuten oleskellen viettämänsä aikaa verrattuna ajanjaksoon, jolloin eläimillä ei vielä ollut juoma-allasta käytössään. Juomaveden tarjoaminen altaasta vaikutti edullisesti ympäristöön; eläinten liikkumisen aiheuttama maaperän eroosio väheni joen penkereellä ja ulosteperäisten bakteerien määrä jokivedessä pieneni.

Myös Minerin ym. (1992) tapaustutkimus viittaa siihen, että tarjoamalla laitumella oleville eläimille juomavettä juoma-altaasta voidaan vähentää eläinten luonnon vesilähteellä viettämää aikaa. Tutkimuksessa toisella liharotuisella hiehoryhmällä oli vesilähteenään puro ja juoma-allas ja toisella hiehoryhmällä pelkkä puro. Juoma-altaallinen hiehoryhmä vietti yli 90 % vähemmän aikaa purolla kuin hiehoryhmä, jonka yksinomaisena juomaveden lähteenä oli purossa virtaava vesi. Tutkijat arvelivat, että juoma-altaan houkuttelevuus saattoi johtua siitä, että siinä juomavesi oli 1–8 celsiusastetta lämpimämpää kuin purossa ja että eläimillä oli vesialtaalle helppo ja pitävä pääsy.

Yhteenveto juomaveden laadusta:

- Naudat erottavat ulosteen pilaaman veden ja saadessaan valita valitsevat juotavaksi puhtaan ja hyvälaatuisen veden
- Heikkolaatuinen tai saastunut juomavesi vähentää veden juontia ja voi heikentää tuotantoa.
- Ekstensiivisessä tuotannossa puhtaan juomaveden tarjoaminen altaasta voi parantaa tuotantoa ja vähentää luonnon vesilähteeseen kohdistuvaa räsitystä ja ulosteperäistä saastumista.

5.10. Juomaveden lämpötila

Wilks ym. (1990) tutkivat juomaveden lämpötilan (viileä 10,6 ja lämmin 27,0 °C) vaikutusta pihatossa pidettyjen lypsylehmien vedenkulutukseen ja tuotokseen. Ympäristön lämpötila vaihteli 20 ja 35 °C välillä. Lehmillä oli ensimmäisen kolmen viikon ajan tarjolla toista lämpötilavaihtoehtoa, jonka jälkeen juomavesikäsitteily vaihtui toiseen lämpötilaan seuraavaksi kolmeksi viikoksi. Saadessaan viileää vettä, lehmät tuottivat enemmän maitoa ja söivät tilastollisesti suuntaantavasti enemmän. Käsitteilyjen välillä ei ollut eroa juodun veden määrässä. Viileällä vedellä juotettujen lehmien hengitysfrekvenssi oli pienempi, ruumiinlämpö matalampi ja plasman T3-konsentraatio korkeampi kuin lämpimällä vedellä. Käsitteilyllä ei ollut vaikutusta plasman T4, kortisolin tai progesteronin pitoisuuksiin. Tulokset viittaavat siihen, että kuumissa oloissa viileä vesi vähensi lehmien kokemaa lämpöstressiä. Jatkokokeessa lehmille annettiin mahdollisuus valita kahden erilämpöisen juomaveden välillä (30,3 °C tai 10 °C). Vaikka edeltävässä kokeessa maitotuotos oli suurempi viileällä juomavedellä, lehmät osoittivat valintatilanteessa selkeän preferenssin lämpimälle (noin 30,3 °C) juomavedelle.

Osborne ym. (2002) tutkivat juomaveden lämpötilan (viileä 7–15 °C tai lämmin 30–33 °C) vaikutusta talvella, keväällä, kesällä ja syksyllä parressa pidettyjen lypsylehmien vedenkulutukseen ja tuotokseen. Jokaisella lehmällä oli oma juomakuppi ja mahdollisuus juoda vain toista lämpötilavaihtoehtoa viikon pituisissa jaksoissa. Lehmät kuluttivat kaikkina vuodenaikoina enemmän lämmintä juomavettä kuin viileää juomavettä. Maitotuotoksessa ei ollut eroa käsitteilyjen välillä muulloin kuin keväällä ja kesällä (ympäristön lämpötila 19–27 °C), jolloin lehmät tuottivat enemmän maitoa saadessaan viileää juomavettä. Juomaveden lämpötilalla ei ollut vaikutusta maidon koostumukseen. Kesällä eläimet söivät enemmän saadessaan lämmintä juomavettä.

Baker ym. (1988) kahden vuorokauden pituisessa kesäaikaan tehdyssä kokeessa viileää (9,5 °C) vettä saaneet lypsylehmät joivat enemmän kuin lämmintä (27,5 °C) vettä saaneet lehmät. Kokeessa ei mitattu eläinten maitotuotosta tai rehun syöntiä.

Andersson (1985) tutkivat juomaveden lämpötilan (3, 10, 17 ja 24 °C) vaikutusta parressa pidettyjen korkeatuottoisten lypsylehmien vedenkulutukseen ja tuotokseen. Ympäristön lämpötila oli keskimäärin 15 celsiusastetta. Juomavettä oli jatkuvasti saatavilla eläinten omista juomakupeista, ja eläimillä oli mahdollisuus juoda vain yhtä lämpötilavaihtoehtoa kerrallaan ja veden lämpötila vaihtui kolmen viikon välein. Lehmät joivat vähemmän 24-asteista vettä kuin 3-, 10- tai 17-asteista vettä (71,5 l/vrk vs. keskimäärin 76,4 l/vrk). Lehmien maitotuotos oli kuitenkin merkittävästi pienempi tarjottaessa vesi 3-asteisena kuin muun lämpöisenä. Tämän Andersson (1985) arveli johtuvan siitä, että rehun energiaa täytyi käyttää kylmän veden lämmittämiseen. Veden lämpötilalla ei ollut vaikutusta rehun syöntiin tai maidon koostumukseen.

Harris ym. (1967) tarjosivat feedlot-olosuhteissa yhdelle loppukasvatettavalle härkäryhmälle veden ympäristön lämpöisenä (29 °C) ja toiselle härkäryhmälle jäähdytettynä (18 °C). Ilman

keskimääräinen maksimilämpötila oli 31 celsiusastetta. Kolmena kesänä toistetussa kokeessa ryhmien välillä ei ollut eroa kasvussa tai ruhon laadussa.

Lofgreen ym. (1975) kokeessa brittiläiset rodut hyötyivät jäädytetyn juomaveden tarjoamisesta kuumissa olosuhteissa, mutta brahman-risteytykset eivät. Kasvaville hiehoille ja härille annettiin jäädytettyä vettä (18,3 °C) tai lämmintä vettä (32,2 °C). Kokeen kesto oli 84 päivää, koe toistettiin neljänä vuonna ja ympäristön keskilämpötila oli kokeen aikana 31–34 °C (minimi 13 °C, maksimi 49 °C). Brittiläisiin liharotuihin kuuluvat eläimet söivät enemmän, kasvoivat paremmin ja niiden rehuhyötysuhde oli parempi kolmena neljästä vuodesta, kun niille tarjottiin jäädytettyä vettä (18,3 °C) lämpimän veden (32,2 °C) sijaan. Toisin kuin brittiläisillä roduilla, Brahman-risteytyksillä jäädytetty vesi vähensi syöntiä, mutta kasvuun ja rehuhyötysuhteeseen veden lämpötilalla ei ollut vaikutusta. Brahman on rotuna sopeutunut kuumaan ympäristöön, mikä voi osaltaan selittää sitä, että brahman-risteytykset eivät tässä kokeessa hyötäneet viilentetystä juomavedestä samalla tavalla kuin brittiläisiin rotuihin kuuluvat eläimet.

Juottokaudella 20–75 vuorokauden ikäiset sonnivasikat joivat enemmän lämmintä (16–18 °C) kuin kylmää (6–8 °C) vettä (2,8 vs. 1,9 l/vrk) (Huuskonen ym. 2011). Juomarehun kulutuksessa ei ollut eroa vasikkaryhmien välillä. Juomarehulta vieroituksen jälkeen 75–195 vuorokauden iässä vasikoiden lämpimän veden juonti oli tilastollisesti suuntaa antavasti suurempaa (16,3 vs. 15,3 l/vrk). Vasikkaryhmien välillä ei kuitenkaan ollut eroa rehun syönnissä, kasvussa, rehuhyötysuhteessa tai terveysparametreissa. Kokeessa vasikat saivat veden putkiventtiilillä toimivasta juomakupista.

Kun juomavettä ei ole ollut eläinten saatavilla jatkuvasti, ts. eläinten juomiskertoja on rajoitettu, juomaveden lämpötilan on havaittu vaikuttavan merkittävästi vedenkulutukseen riippumatta ympäristön lämpötilasta. Cunningham ym. (1964) antoivat umpilehmien juoda kahdesti päivässä kahden tunnin ajan ruokintojen jälkeen. Lehmät joivat sitä enemmän mitä lämpimämpää juomavesi oli (1, 14, 27 ja 39 °C). Lehmät joivat merkitsevästi vähiten 1-asteista vettä ja merkitsevästi eniten 39-asteista vettä. Koe tehtiin ympäristön lämpötilan ollessa 11,7 tai -2,8 celsiusastetta ja juomaveden lämpö vaihtui 14 päivän välein. Toisessa kokeessa laiduntavilla liharotuisilla hiehoilla saatiin samansuuntainen tulos (Rice 1979, Andersson 1985 mukaan). Hiehot kävivät juomassa kerran tai kahdesti päivässä ja joivat sitä enemmän mitä lämpimämpää juomavesi oli (1, 11, 21, 31 tai 41 °C) sekä kylmänä että lämpimänä vuodenaikana. Näiden kokeiden tulokset voivat liittyä siihen, että eläimet olivat pakotettuja juomaan kerrallaan suuria määriä ja tällöin kylmän veden elimistöä (pötsiä) viilentävä vaikutus on voinut rajoittaa kerrallaan juotua vesimäärää (Andersson 1985).

Lihanaudat pystyvät talviolosuhteissa periaatteessa ottamaan ainakin jossain määrin vettä kiinteässä muodossa lumena, kun nestemäistä vettä ei ole saatavilla. Kokeessa, jossa veden antaminen keskeytettiin ja eläimillä oli ensimmäistä kertaa elämässään saatavilla yksinomaan lunta, härät olivat levottomia ja kesti 35 tuntia ennen kuin ne alkoivat syödä lunta (Young ja Degen 1980). Toisessa kokeessa Degen ja Young (1984) antoivat härille päivittäin 30 minuutin ajan mahdollisuuden juoda nestemäistä vettä tai nauttia veden kiinteässä muodossa. Vesi annettiin lumena (lämpötila -10 °C), jäämurskana (lämpötila lähellä 0 °C), jäätävänä vetenä (lämpötila lähellä 0 °C) tai lämpimänä vetenä (lämpötila 30 °C). Koe tehtiin talvella ja ympäristön lämpötila vaihteli -14,3 ja -5,9 °C välillä. Härkiä oli kokeessa neljä ja jokainen eläin sai yhtä vesikäsittelyä kerrallaan ja käsittelyä vaihdettiin kahden viikon välein. Härät käyttäytyivät levottomasti, kun vesi tarjottiin lumena tai jäämurskana ja kuluttivat vettä kiinteässä (lumena tai jäämurskana) muodossa vain puolet siitä mitä kulutus oli veden ollessa nestemäisessä muodossa. Kylmän ja lämpimän veden välillä ei ollut eroa kulutuksessa. Veden olomuoto ei vaikuttanut väkirehun

syötiin, mutta karkearehua syönnissä esiintyi vaihtelua. Lumi- ja jäämurskakäsittelyt aiheuttivat suurimmat ja pisimpään kestävät metabolisen lämmöntuoton kasvut eläimissä.

Yhteenveto juomaveden lämpötilasta:

- Veden lämpötilan vaikutukset nautojen vedenkulutukseen ovat ristiriitaisia.
- Kuumissa olosuhteissa naudat pääsääntöisesti näyttävät hyötyvän viileän (noin 10–18 °C) veden tarjoamisesta. Vaikutus todennäköisesti selittyy sillä, että viileä juomavesi vähentää eläinten kokemaa lämpöstressiä.
- Kylmän veden ($\leq 3^{\circ}\text{C}$) tarjoaminen voi heikentää lehmien maitotuotosta.
- Jos nautojen juontikertoja rajoitetaan, naudat juovat sitä enemmän mitä lämpimämpää vesi on. Tämä voi liittyä kylmän veden elimistöä jäähdyttävään vaikutukseen.
- Naudat eivät ole halukkaita nauttimaan vettä kiinteässä muodossa lumena tai jäämurskana, ja vedenkulutus laskee silloin huomattavasti verrattuna sulaan veteen.

5.11. Juoma-altaan ominaisuudet

Naudoilla on tehty muutamia preferenssikokeita, joissa on tutkittu eläinten mieltymyksiä erilaisten juoma-allastyypin suhteen.

Liharotuiset laiduntavat hiehot saivat valita suorakaiteen muotoisen betonista valetun altaan (0,5 m × 1,5 m × 0,5 m, tilavuus 300 l, pinta-ala 0,75 m²) ja pyöreän PVC-muovista valmistetun altaan (halkaisija 1,2 m, korkeus 0,6 m, tilavuus 500 l, pinta-ala 1,13 m²) välillä (Coimbra ym. 2010). Eläimillä oli pääsy molemmille altaille samaan aikaan, mutta vain puolikkaisiin altaisiin, koska altaat oli jaettu sähköpaimenella kahden laidunryhmän käyttöön. Hiehot suosivat tilavampaa pyöreää muovialtaasta. Hiehot joivat useammin, käyttivät enemmän aikaa juomiseen ja joivat määrällisesti enemmän muovialtaasta kuin betonialtaasta.

Yksittäin testatut lypsylehmät saivat valita kahden erikokoisen ja eri korkeudelle sijoitetun pyöristetyn suorakaiteen muotoisen juoma-altaan välillä (Machado Filho ym. 2004). Lehmät suosivat pinta-alaltaan suurempaa (1,32 m²) korkeampaa (60 cm) allasta kuin pinta-alaltaan pienempää (0,86 m²) matalampaa (30 cm) allasta. Lehmät osoittivat mieltymystään juomiseen käytetyllä ajalla, juomismäärällä ja siemaisujen lukumäärällä. Kun pienempi allas nostettiin samalle korkeudelle suuremman altaan kanssa, lehmien mieltymykset eivät enää olleet tilastollisesti merkitseviä.

Preferenssikokeiden koesarjassa laiduntaville lehmille tarjottiin samanaikainen pääsy kahdelle juoma-altaalle, jotka erosivat toisistaan pinta-alaltaan (halkaisijat 1,2 m ja 0,6 m, koe 1), sijoituskorkeudeltaan (30 cm tai 60 cm maan pinnasta, koe 2) tai veden syvyydeltään (30 cm tai 60 cm, koe 3) (Teixeira ym. 2006). Lehmät testattiin yksitellen. Kokeessa 1 lehmät selkeästi suosivat pinta-alaltaan suurempaa allasta mitattuna juomisaikana, juomismääränä ja siemaisujen lukumääränä. Kokeessa 2 siemaisujen lukumäärä oli suurempi matalalle sijoitetusta altaasta (30 cm maan pinnasta) kuin korkealle sijoitetusta altaasta (60 cm maan pinnasta). Lisäksi matalalle sijoitettu allas oli suuntaa antavasti mieluisampi mitattuna juomisaikana ja juomismäärällä. Kokeessa 3 veden syvyydellä ei ollut vaikutusta lehmien mieltymyksiin.

Preferenssikokeiden (Machado Filho ym. 2004, Coimbra ym. 2010) jatkokokeissa lypsylehmille ja hiehoille annettiin pääsy vain yhdelle juomavesialtaalle kerrallaan, joko mieluisalle tai epämieluisalle. Eläimet joivat enemmän vettä, kun niiden käytössä oli preferenssikokeessa mieluisaksi todettu allas. Eläinten kasvua tai tuotosta ei mitattu.

Juoma-altaan värillä ei ollut vaikutusta lehmien juomiskäyttäytymiseen (Teixeira ym. 2017). Lypsylehmät testattiin yksitellen ja ne saivat valita kolmen erivärisen (vihreä, harmaa, punainen) juoma-altaan välillä. Kaikenväriset altaat kelpasivat lehmille, eikä juomiseen käytetyssä ajassa, vedenkulutuksessa ja siemaisujen lukumäärässä ei ollut eroa eriväristen altaiden välillä.

Yhteenvedo juoma-altaan ominaisuuksista:

- Preferenssikokeiden perusteella naudan haluavat juoda vesialtaasta, jonka vapaan veden pinta-ala on suuri.
- Altaan sijoituskorkeus voi vaikuttaa eläinten tekemään valintaan, mutta veden syvyydellä altaassa (vähintään 30 cm) tai vesialtaan värillä ei ole merkitystä naudoille.
- Veden tarjoaminen mieluisasta vesialtaasta voi lisätä veden juontia.

5.12. Viitteet

- Ahlberg, C.M., Allwardt, K., Broocks, A., Bruno, K., Taylor, A., Krehbiel, C., Richards, C., Place, S., DeSilva, U., VanOverbeke, D., Mateescu, R. & Rolf, M.M. 2017. Water Intake in Growing Beef Cattle. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports. 3(1). 3 s.
- Andersson, M., Schaar, J. & Wiktorsson, J. 1984. Effects of drinking water flow rates and social rank on performance and drinking behaviour in tied-up dairy cows. *Livestock Production Science* 11: 559–610.
- Andersson, M. 1985. Effects of drinking water temperatures on water intake and milk yield of tied-up dairy cows. *Livestock Production Science* 12: 329–338.
- Andersson, M. & Lindgren, K. 1987. Effects of restricted access to drinking at feeding and social rank, on performance and behaviour of tied-up dairy cows. *Swedish Journal of Agricultural Research* 17: 77–83.
- Arias, R.A. & Mader, T.L. 2011. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. *Journal of Animal Science* 89: 245–251.
- Baker, C.C., Coppock, C.E., Lanham, J.K., Nave, D.H., Labore, J.M., Brasington C.F. & Stermer, R.A. 1988. Chilled drinking water effects of lactating Holstein cows in summer. *Journal of Dairy Science* 71: 2699–2708.
- Basarab, J.A., Milligan, D., Hand, R. & Huisma, C. 1996. Automatic monitoring of watering behavior in feedlot steers: Potential use in early detection of respiratory disease and in predicting growth performance. *Proceedings of the Canadian Society of Animal Science 46th Annual Conference, July 7–11, 1996, Lethbridge, Alberta, s. 28.*
- Bøe, K.E., Jørgensen, G.H.M. & Andersen, I.L. 2012. Effect of increasing the number of pregnant ewes per nipple drinker on water intake, feed intake and drinking behaviour. Some preliminary results. *Small Ruminant Research* 108: 28–31.
- Brew, M.N., Myer, R.O., Hersom, M.J., Carter, J.N., Elzob, M.A., Hansen, G.R. & Riley, D.G. 2011. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livestock Science* 140: 297–300.
- Cardot, V., Le Roux, Y. & Jurjanz, S. 2008. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *Journal of Dairy Science* 91: 2257–2264.

- Castle, M.E., 1972. A study of the intake of drinking water by dairy cows at grass. *Journal of the British Grassland Society* 27: 207–210.
- Castle, M.E. & Thomas, T.P. 1975. The water intake of British Friesian cows on rations containing various forages. *Animal Production* 20: 181–189.
- Chapinal, N., Veira, D.M., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. 2007. Technical note: validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behavior and intake in group-housed cattle. *Journal of Dairy Science* 90: 5732–5736.
- Coimbra, P.A.D., Machado Filho, L.C.P., Nunes, P.A., Hötzel, M.J., de Oliveira, A.G.L. & Cecato, U. 2010. Effect of water trough type on the drinking behaviour of pasture-based beef heifers. *Animal* 4: 116–121.
- Coimbra, P.A.D., Machado Filho, L.C.P. & Hötzel, M.J. 2012. Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. *Applied Animal Behaviour Science* 139: 175–182.
- Cunningham, M.D., Martz, F.A. & Merilan, C.P. 1964. Effect of drinking-water temperature upon ruminant digestion, intraruminal temperature, and water consumption of nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 47: 382–385.
- Dado, R.G. & Allen, M.S. 1993. Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility, and ruminal pH of cattle. *Journal of Dairy Science* 76: 1589–1600.
- Dado, R.G. & Allen, M.S. 1994. Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 77: 132–144.
- Degen, A.A. & Young, B.A. 1984. Effects of ingestion of warm, cold and frozen water on heat balance in cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 64: 73.
- Ehrlenbruch, R., PollenInger, T., Andersen, I.L. & Bøe, K.E. 2010. Competition for water at feeding time -The effect of increasing number of individuals per water dispenser. *Applied Animal Behaviour Science* 126: 105–108.
- Eläinsuojelulaki 247/1996. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960247>. Viitattu 16.7.2021.
- Eläinsuojeluasetus 396/1996. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960396>. Viitattu 16.7.2021.
- Forkman, B. & Keeling, L. (toim.) 2009. Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves. *Welfare Quality Reports No. 11*. Uppsala. 297 s.
- Gaughan, J.B., Mader, T.L., Holt, S.M. & Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86: 226–234.
- Golher, D.M., Patel, B.H.M., Bhoite, S.H., Syed, M.I., Panchbhai, G.J. & Thirumurugan, P. 2021. Factors influencing water intake in dairy cows: a review. *International Journal of Biometeorology* 65: 617–625.

- Grout, A.S., Veira, D.M., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G. & Fraser, D. 2006. Differential effects of sodium and magnesium sulphate on water consumption by beef cattle. *Journal of Animal Science* 84: 1252–1258.
- Hallituksen esitys uudeksi eläinten hyvinvointilaiksi. https://mmm.fi/documents/1410837/94598237/HE+luonnos+laiksi+el%C3%A4inten+hyvinvoinnista_1.11+2057159_1_1.pdf/967d8e1c-770e-c5fa-34eb-14e882df4e01/HE+luonnos+laiksi+el%C3%A4inten+hyvinvoinnista_1.11+2057159_1_1.pdf?t=1636013853236 Viitattu 2.3.2022.
- Hansen, G.R., Carstens, G.E. & Riley, D.G. 2007. Relationship between residual feed intake, water intake and ultrasound body composition traits in Angus bulls. *Journal of Animal Science* 85(Suppl. 1): 55.
- Harris, R., Yates, H. & Barnett, J. 1967. Refrigerated water for fattening steers. *Journal of Animal Science* 26: 207.
- Hepola, H.P., Hänninen, L.T., Raussi, S.M., Pursiainen, P.A., Aarnikoivu, A.-M. & Saloniemi, H.S. 2008. Effects of providing water from a bucket or a nipple on the performance and behavior of calves fed ad libitum volumes of acidified milk replacer. *Journal of Dairy Science* 91: 1486–1496.
- Hicks, R.B., Owens, F.N., Gill, D.R., Martin, J.J. & Strasia, C.A. 1988. Water intake by feedlot steers. *Oklahoma Agricultural Experimental Station, Animal Science Report* 125: 208–212.
- Hoffman, M.P. & Self, H.L. 1972. Factors affecting water consumption by feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 35: 871–876.
- Huzzey, J.M., von Keyserlingk, M.A.G. & Weary, D.M. 2005. Changes in feeding, drinking, and standing behavior of dairy cows during the transition period. *Journal of Dairy Science* 88: 2454–2461.
- Huzzey, J.M., Veira, D.M., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. 2007. Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *Journal of Dairy Science* 90: 3220–3233.
- Huuskonen, A. 2003. Tuotantotulokset eri kasvatusympäristöissä. Julkaisussa: Huuskonen, A. (toim.). Lihanautojen kasvatus kylmissä tuotantoympäristöissä. Kehittämishankkeen lopputraportti. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Jokioinen. s. 8–12.
- Huuskonen, A., Tuomisto, L. & Kauppinen, R. 2011. Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 94: 2475–2480.
- IUPS Thermal Commission. 2003. Glossary of terms for thermal physiology. *Journal of Thermal Biology* 28: 75–106
- von Keyserlingk, M.A.G., Phillips, C.J.C. & Nielsen, B.L. 2016. Water and the welfare of farm animals. Teoksessa: Phillips, C.J.C. (toim.). *Nutrition and the welfare of farm animals*. Springer. s. 183–197.
- Kocsis, P. & Mikecz, I. 1986. Water intake of milking cows. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences, Gödöllő*. 1: 129–135.

- Lanham, J.K., Coppock, C.E., Milam, K.Z., LaBore, J.M. & Nave, D.H. 1986. Effects of drinking water temperature on physiological responses of lactating Holstein cows in summer. *Journal of Dairy Science* 69: 1004.
- Lardner, H.A., Kirychuk, B.D., Braul, L., Willms, W.D. & Yarotski, J. 2005. The effect of water quality on cattle performance on pasture. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 97–104.
- Lardner, H.A., Braul, L., Schwartzkopf-Genswein, K., Schwean-Lardner, K., Damiran, D. & Darambazar, E. 2013. Consumption and drinking behavior of beef cattle offered a choice of several water types. *Livestock Science* 157: 577–585.
- Little, W., Sansom, B.F., Manston, R. & Allen, W.M. 1978. The effects of reducing the water intake of lactating dairy cows by 40% for 3 weeks. *Animal Production* 27: 79–87.
- Little, W., Collis, K.A., Glead, P.T., Sansom, B.F., Allen, W.M. & Quick, A.J. 1980. Effect of reduced water intake by lactating dairy cows on behaviour, milk yield and blood composition. *Veterinary Record* 106: 547–551.
- Lofgreen, G.P., Givens, R.L., Morrison, S.R. & Bond, T.E. 1975. Effect of drinking water temperature on beef cattle performance. *Journal of Animal Science* 40: 223–229.
- Loneragan, G.H., Wagner, J.J., Gould, D.H., Garry, F.B. & Thoren, M.A. 2001. Effects of water sulfate concentration on performance, water intake, and carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal Science* 79: 2941–2948.
- Machado Filho, L.C.P., Teixeira, D.L., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G. & Hötzel, M.J. 2004. Designing better water troughs: dairy cows prefer and drink more from larger troughs. *Applied Animal Behaviour Science* 89: 185–193.
- McDonald, P.V., von Keyserlingk, M.A.G. & Weary, D.M. 2020. Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science* 103: 3447–3458.
- Meyer, U., Everinghoff, M., Gaden, D. & Flachowsky, G. 2004. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science* 90: 117–121.
- Meyer, U., Stahl, W. & Flachowsky, G. 2006. Investigations on the water intake of growing bulls. *Livestock Science* 103: 186–191.
- Miner, J.R., Buckhouse, J.C. & Moore, J.A. 1992. Will a water trough reduce the amount of time hay-fed livestock spend in the stream (and therefore improve water quality)? *Rangeland* 14: 35–38.
- National Research Council 2000: Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000. National Academies Press. Washington, DC. 248 s.
- Nicholson, M.J. 1989. Depression of drymatter intake and water intake in Boran cattle owing to physiological, volumetric and temporal limitations. *Animal Production* 49: 29–34.
- Oliveira, B.R., Jr., Ribas, M.N., Machado, F.S., Lima J.A. M., Cavalcanti, L.F.L., Chizzotti, M.L. & Coelho, S.G. 2018. Validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behaviour and intake in young cattle. *Animal* 12: 634–639.

- Osborne, V.R., Hacker, R.R. & McBride, B.W. 2002. Effects of heated drinking water on the production responses of lactating Holstein and Jersey cows. *Canadian Journal of Animal Science* 82: 267–273.
- Polsky, L. & von Keyserlingk, M.A.G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science* 100: 8645–8657.
- Ray, D.E. 1989. Interrelationships among water quality, climate and diet on feedlot performance of steer calves. *Journal of Animal Science* 67: 357–363.
- Rice, J.G. 1979. Optimum temperature of drinking water for Hereford heifers on range land. Colorado State University, Department of Range Science, Fort Collins. Thesis. 61 s.
- Robles, V., González, L.A., Ferret, A., Manteca, X. & Calsamiglia, S. 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. *Journal of Animal Science* 85: 2538–2547.
- Rouda, R.R., Anderson, D.M., Wallace, J.D. & Murray, L.W. 1994. Free ranging cattle water consumption in southcentral New Mexico. *Applied Animal Behaviour Science* 39: 29–38.
- Schütz, K.E., Huddart, F.J. & Cox, N.R. 2019. Manure contamination of drinking water influences dairy cattle water intake and preference. *Applied Animal Behaviour Science* 217: 16–20.
- Sexson, J.L., Wagner, J.J., Engle, T.E. & Eickhoff, J. 2012. Predicting water intake by yearling feedlot steers. *Journal of Animal Science* 90: 1920–1928.
- Sheffield, R.E., Mostaghimi, S., Vaughan, D.H., Collins, E.R., Jr. & Allen, V.G. 1997. Offstream water sources for grazing cattle as a stream bank stabilization and water quality BMP. *Transactions of the ASAE* 40: 595–604.
- Sjaastad, Ø.V., Hove, K. & Sand, O. 2003. *Physiology of Domestic Animals*. Scandinavian Veterinary Press, Oslo, Norja.
- Sneva, F.A. 1970. Behaviour of yearling cattle on eastern Oregon range. *Journal of Range Management* 23: 155–157.
- Sowell, B.F., Bowman, J.G.P., Branine, M.E. & Hubbert, M.E. 1998. Radio frequency technology to measure feeding behavior and health of feedlot steers. *Applied Animal Behaviour Science* 59: 277–284.
- Sowell, B.F., Branine, M.E., Bowman, J.G.P., Hubbert, M.E., Sherwood, H.W. & Quimby, W.F. 1999. Feeding and watering behavior of healthy and morbid steers in a commercial feedlot. *Journal of Animal Science* 77: 1105–1112.
- Suomen ympäristökeskus 2021. Sulfaatti pohja- ja kaivovedessä. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kai-vosta/Kaivoveden_laatu_ja_riittavyys/Sulfaatti. Viitattu 8.2.2021.
- STM asetus 401/2001. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010401>. Viitattu 8.2.2021.

- Teixeira, D.L., Hötzel, M.J. & Machado Filho, L.C.P. 2006. Designing better water troughs: 2. Surface area and height, but not depth, influence dairy cows' preference. *Applied Animal Behaviour Science* 96: 169–175.
- Teixeira, D.L., Hötzel, M.J., Machado Filho, L.C.P., Cazale, J.D. & Enríquez-Hidalgo, D. 2017. Designing better water troughs: Does trough color influence dairy cows' preference? *Journal of Applied Animal Welfare Science* 20: 192–197.
- Thomas, T.P. 1971. Drinking by dairy cows at grass. *Animal Production* 13: 399–400.
- Tripon, I., Csiszter, L.T., Bura, M., Acatincai, S., Gavojdian, D. & Erina, S. 2012. The effect of space allowance on drinking and resting behaviour in six months of age calves. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10: 1356–1358.
- Turner, S.P., Edwards, S.A. & Bland, V.C. 1999. The influence of drinker allocation and group size on the drinking behaviour, welfare and production of growing pigs. *Animal Science* 68: 617–624.
- Utley, P.R., Bradley, N.W. & Boling, J.A. 1970. Effect of restricted water intake on feed intake, nutrient digestibility and nitrogen metabolism in steers. *Journal of Animal Science* 31: 130–135.
- Webster, J. 1995. *Animal Welfare. A Cool Eye towards Eden*. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK. 273 s.
- Wilks, D.L. Coppock, C.E., Lanham, J.K., Brooks, K.N., Baker, C.C., Bryson, W.L., Elmore, R.G. & Stermer, R.A. 1990. Responses of lactating Holstein cows to chilled drinking water in high ambient temperatures. *Journal of Dairy Science* 73: 1091–1099.
- Williams, L.R., Jackson, E.L., Bishop-Hurley, G.J. & Swain, D.L. 2017. Drinking frequency effects on the performance of cattle: a systematic review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101: 1076–1092.
- Willms, W.D., Kenzie, O.R., McAllister, T.A., Colwell, D., Veira, D., Wilmshurst, J.F., Entz, T. & Olson, M.E. 2002. Effects of water quality on cattle performance. *Journal of Range Management* 55: 452–460.
- Valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20100592>. Viitattu 16.7.2021
- Wagner, J.J. & Engle, T.E. 2021. Invited Review: Water consumption, and drinking behavior of beef cattle, and effects of water quality. *Applied Animal Science* 37: 418–435.
- Welfare Quality® 2009. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands. <http://www.welfarequalitynetwork.net/en-us/reports/assessment-protocols>. Viitattu: 1.3.2021.
- Winchester, F. & Morris, F.W. 1956. Water intake rates in cattle. *Journal of Animal Science* 15: 722–740.
- Young, B.A. & Degen, A.A. 1980. Ingestion of snow by cattle. *Journal of Animal Science* 51: 811–815.

6. Kasvavien sonnien juomaveden kulutuksen mallintaminen

Jaakko Mononen¹, Leena Tuomisto¹, Juha Heikkinen² ja Arto Huuskonen¹

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31A, 71750 Maaninka

² Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

Tiivistelmä

Tässä tutkimusosiossa mitattiin ja mallinnettiin juomaveden kulutusta kasvavilla sonneilla suomalaisissa olosuhteissa. Aineisto kerättiin osana kahta ruokintakoetta, jotka tehtiin Luonnonvarakeskuksen Ruukin tutkimuspihatossa vuosina 2020 (kokeessa simmental- ja angus -rotuiset sonnit) ja 2021 (kokeessa ayrshire- ja holstein-rotuiset sonnit). Eläimet kasvatettiin 5 m x 10 m kiinteäpohjaisissa karsinoissa, joissa oli 5 m x 5 m kuivitettu makuualue. Juomaveden kulutusta mitattiin vuoden 2020 kokeessa maaliskuun alkupuolelta elokuun alkupuolelle ja vuoden 2021 kokeessa tammikuun alkupuolelta elokuun alkupuolelle. Jokaisessa karsinassa oli kaksi ruokintakaukaloa ja yksi juomakuppi. Juomakuppi oli ranskalaisen La Géen valmistama 40 litran muovinen lämpöeristetty vesisäiliöllinen juoma-allas, josta mahtui juomaan yksi eläin kerrallaan. Tilastotieteellisessä mallintamisessa käytettiin selitettävänä muuttujana vuorokautista juomaveden kulutusta eläintä kohden. Tämä saatiin jakamalla koko vuorokauden vedenkulutus karsinassa olleiden eläinten määrällä. Eläinyksilökohtaiseen juomisen mittaamiseen kokeessa ei ollut mahdollisuutta. Juomaveden kulutuksen mallintamiselle muodosti haasteen se, että elopainossa, juomaveden kulutuksessa ja ympäristön lämpötilassa oli kaikissa kasvava trendi kokeiden aikana. Tämän vuoksi käytettiin kaksivaiheista lähestymistapaa. Ensin mallinnettiin elopainon vaikutus perustuen karsinoiden väliseen vaihteluun keskimääräisessä elopainossa ja veden kulutuksessa yli koko kokeen ajan. Toisessa vaiheessa mallinnettiin muiden tekijöiden vaikutus toteutuneiden kulutusten poikkeamiin elopainomallilla ennustetuista kulutuksista.

Juomaveden keskimääräinen vuorokausikulutus eläintä kohden yli kokeen keston laskettuna vaihteli noin viidestä litrasta runsaaseen 20 litraan. Suuremmat eläimet kuluttivat enemmän vettä kuin pienet eläimet, mutta tässä on huomioitava sekoittavana tekijänä edellä mainittu seikka, että kokeet tehtiin jaksolla talvesta kesään, ja siksi eläinten kasvaessa myös lämpötila nousi. Kun huomioitiin elopainon vaikutus ja laskettiin suhteelliset poikkeamat toteutuneiden vedenkulutusten ja elopainomallilla ennustettujen kulutusten välillä, havaittiin, että ulkoisista tekijöistä veden kulutukseen vaikuttivat voimakkaimmin ympäristön lämpötila ja rehun kuiva-ainepitoisuus. Vedenkulutus nousi lämpötilan noustessa ja rehun kuiva-ainepitoisuuden noustessa. Havaitsemamme eläinten koon, dieetin kuiva-ainepitoisuuden ja ympäristön lämpötilan vaikutukset juodun veden määrään olivat hyvin odotettuja. Lähinnä ne kertovat siitä, että nämä tekijät on huomioitava, jos halutaan tutkia joidenkin muiden tekijöiden vaikutuksia kasvavien nautojen vedenkulutukseen. Tuloksemme auttavat myös arviomaan karkeasti sitä, kuinka paljon vettä pitäisi olla vähintään tarjolla eri olosuhteissa. Kokeessa havaittiin myös, että kuitu- ja valkuaispitoisuuden lisääntyminen ruokinnassa lisäsivät hieman veden juontia. Lisäksi aika vesikuppien puhdistamisesta näytti vaikuttavan hieman juodun veden määrään: mitä pidempi aika vesikuppien pesusta oli kulunut, sitä pienempi oli juomaveden kulutus.

Asiasanat: sonnit, juomavesi, mallintaminen, elopaino, rehut, ympäristön lämpötila

6.1. Tausta ja tavoitteet

Edellä olevassa kirjallisuuskatsauksessa (Tuomisto ym. 2022) esitettiin eräitä ulkomaisiin aineistoihin perustuvia tilastomatemattisia malleja, joiden avulla voidaan arvioida lihanautojen juomaveden kulutusta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Mallit sisälsivät erilaisia vaikuttavia tekijöitä. Meyerin ym. (2006; maitorotuiset sonnit rakolattiakasvattamossa) mallissa juomaveden kulutusta selitettiin keskimääräisellä ympäristön lämpötilalla, kuiva-aineen syönnillä, karkearehun osuudella dieetistä, karkearehun kuiva-ainepitoisuudella sekä eläinten elopainolla. Ariasin ja Maderin (2011; liharotuiset härät ja hiehot feedlot-karsinoissa) kahdessa mallissa, oma talvelle ja oma kesälle, käytettiin puolestaan kuiva-aineen syöntiä, auringon säteilyä, ympäristön minimilämpötilaa (vain talvella), ympäristön maksimilämpötilaa (vain kesällä), tuulen nopeutta (vain kesällä), suhteellista kosteutta (vain kesällä) ja sademäärää (vain kesällä). Hicks ym. (1988; risteytyshärät feedlot-karsinoissa) tutkivat erityisesti dieetin suolapitoisuuden vaikutusta juomaveden kulutukseen, mutta mallissa olivat mukana myös kuiva-aineen syönti ja sademäärä. Loneragan ym. (2001; risteytyshärät feedlot-karsinoissa) puolestaan tutkivat erityisesti sulfaattipitoisuuden vaikutusta juodun veden määrään, mutta malliin sisällytettiin myös vuorokauden keskilämpötila, eläinten elopaino, kuiva-aineen syönti sekä vuorokauden keskimääräiset ilmanpaine, keskituulennopeus ja ilmankosteus.

Nämä kirjallisuudesta löytyvät mallit kuvaavat lihanautojen juomaveden kulutusta ja siihen vaikuttavia tekijöitä hyvinkin paljon Suomen oloista poikkeavissa olosuhteissa. Mallit myös tuottavat Suomen oloihin sovellettuina epäloogisia tuloksia (Tuomisto ym. 2022). Esimerkiksi alhaisissa ympäristön lämpötiloissa Meyerin ym. (2006) ja Hicksin ym. (1988) mallit suomalaisiin eläimiin ja olosuhteisiin sovellettuna johtavat hyvin pieniin, jopa negatiivisiin juomaveden kulutuksiin.

Raportoimme tässä artikkelissa tulokset tutkimuksesta, jossa juomaveden kulutusta mitattiin ja mallinnettiin kasvavilla sonneilla suomalaisissa olosuhteissa. Lisäksi nostamme esiin mallintamisen sekä mallien antamien tulosten tulkinnan haasteita.

6.2. Aineisto ja menetelmät

Aineisto kerättiin osana kahta ruokintakoetta, jotka tehtiin Luonnonvarakeskuksen Ruukin tutkimuspihatossa vuosina 2020 (Koe 99: simmental- ja angus -rotuiset eläimet) ja 2021 (Koe 100: ayrshire- ja holstein-rotuiset eläimet). Kokeiden perusjärjestelyt on kuvattu yksityiskohtaisesti edellä artikkelissa Huuskonen ym. (2022) ja niistä kerrataan tässä vain lyhyesti juomaveden kulutuksen mallintamisen kannalta oleelliset asiat. Sen sijaan juomaveden kulutuksen mittaminen ja mallintamisessa käytettävät selittävät muuttujat kuvataan tarkemmin.

Eläimet kasvatettiin 5 m x 10 m kiinteäpohjaisissa karsinoissa, joissa oli 5 m x 5 m kuivitettu makuualue. Kokeiden alussa tammikuussa jokaisessa karsinassa oli viisi eläintä, 2–3 kumpaakin rotua. Myöhemmin joissain karsinoissa eläinten määrä väheni neljään tai kolmeen. Vuoden 2020 kokeessa oli käytössä 21 karsinaa ja vuoden 2021 kokeessa 20 karsinaa. Juomaveden kulutusta mitattiin vuoden 2020 kokeessa maaliskuun alkupuolelta elokuun alkupuolelle ja vuoden 2021 kokeessa tammikuun alkupuolelta elokuun alkupuolelle.

Jokaisessa karsinassa oli kaksi ruokintakaukaloa (GrowSafe) ja yksi juomakuppi. Juomakuppi oli ranskalaisen La Géen valmistama 40 litran muovinen lämpöeristetty vesisäiliöllinen juoma-allas (Polytherme-palloallas, jatkossa lyhyemmin juomakuppi). Juomakupin vesisäiliöön sijoitetut itsestään säätyvät sulanapitokaapelit lämmittivät vettä. Sulanapitokaapelit kytkettyivät päälle ulkolämpötilan laskettua +2 celsiusasteeseen ja kytkettyivät pois päältä ulkolämpötilan noustua

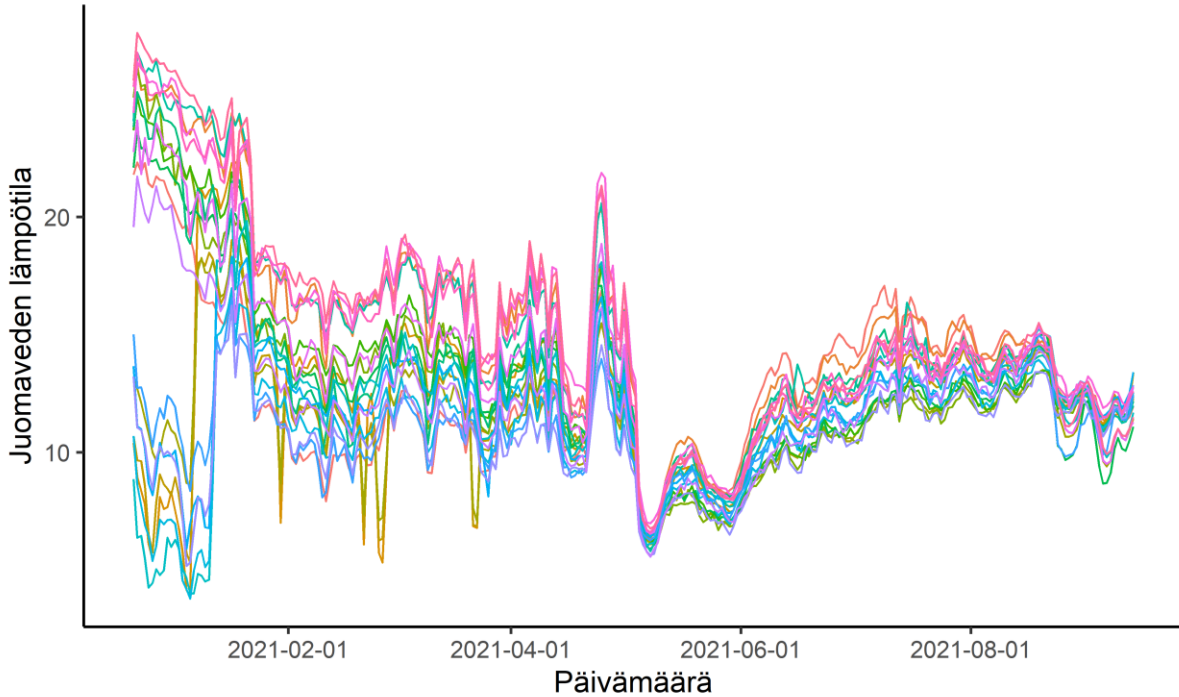
+4,5 celsiusasteeseen. Sulanapitokaapelit kytkettiin pois päältä keväällä, kun lämpötila oli pääsääntöisesti yli tuon +4,5 celsiusasteen. Juomakupista mahtui juomaan yksi eläin kerrallaan. Juomakuppi oli varustettu kelluvalla pallolla, ja juodessaan eläimen piti painaa tätä palloa sivuun turvallaan. Pallon tarkoituksena oli estää rehun, lian ja roskien pääsemistä kuppiin sekä hidastaa kupin veden jäähtymistä kylmissä oloissa. Veden määrää juomakupissa kontrolloi uimuriventtiili: kun veden pinta laski riittävästi, kuppiin virtasi lisää vettä.

Jokainen kuppi sai vetensä omasta vesilinjasta ja kuhunkin kuppiin virtaavan veden määrää mittasi tavallinen omakotitaloissa ja kerrostaloissa yleisesti käytössä oleva mekaaninen yksisuihkuinen vesimittari (Zenner ETKD ZR) impulssilaitteella. Impulssilaitte mahdollisti mittaustulosten automaattisen lukemisen tietokantaan. Tiedot kirjattiin tietokantaan minuutin välein ja pienin mitattu tilavuus oli yksi litra. Mittaustulos kirjautui sille minuutille, jonka aikana kunkin uuden täyden litran kulutus tuli täyteen ja yhdelle minuutille saattoi kertyä useampia litroja.

Tilastotieteellisessä mallintamisessa käytettiin selitettävänä muuttujana vuorokautista juomaveden kulutusta eläintä kohden. Tämä saatiin jakamalla koko vuorokauden vedenkulutus karsinassa olleiden eläinten määrällä. Näin pystyttiin hyödyntämään tiedot myös niistä karsinoista, joista oli jouduttu poistamaan eläimiä kesken kokeen. (Huomaa, että eläinyksilökohtaisen juomisen mittaaminen olisi vaatinut eläinten tunnistamista juomakupilla, mutta tämä ei ollut mahdollista.)

Yhden karsinan vedenkulutus oli huomattavasti muita karsinoita suurempi, minkä arveltiin johtuvan siitä, että vettä vuoti jonnekin. Tämän karsinan tuloksia ei käytetty mallintamisessa. Lisäksi teknisten ongelmien vuoksi kummassakin kokeessa oli jaksoja, jolloin vedenkulutustiedot eivät kertyneet tietokantaan. Näitä mittauspäiviä ei voitu käyttää mallinnuksessa. Loppujen loppuksi vuoden 2020 kokeen mallinnusdata sisälsi vedenkulutustiedot 20 karsinasta kaikkiaan 141 päivältä ja vuoden 2021 mallinnusdata 19 karsinasta 218 päivältä. Kokeiden aineistot yhdistettiin tilastollista mallintamista varten. Mallinnuksessa käytetyt ja kokeillut selittävät muuttujat on kuvattu Taulukossa 1.

Vuoden 2021 kokeessa seurattiin myös juomakuppien veden lämpötilaa Thermo Button dataloggereilla (malli 22L, resoluutio 0,5 astetta ja mittausväli 10 min; Proges Plus, Ranska). Veden lämpötilan vaihtelu yksittäisissä kupeissa sekä erot veden lämpötilassa (Kuva 1) johtuivat pääsääntöisesti lämmitysjärjestelmän puutteellisesta toiminnasta, joten "koejärjestely" oli tahaton.

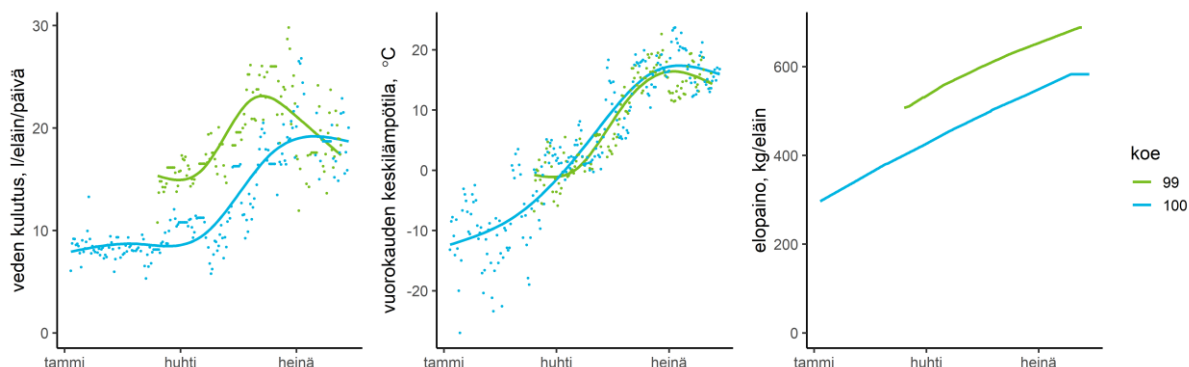


Kuva 1. Veden lämpötilan vaihtelu juomakuppeissa kokeessa 100 (vuosi 2021; ayrshire ja holstein). Jokainen yksittäinen käyrä kuva yhtä yksittäistä kuppia (eli karsinaa). Huomaa, että juomakuppien sulanapitoakaapelit kytkettiin pois päältä 4. toukokuuta, minkä jälkeen veden lämpötilan vaihtelu kuppien välillä pieneni.

Taulukko 1. Kasvavien sonnien juomaveden kulutuksen mallinnuksessa kokeillut ja käytetyt selittävät muuttujat vuosien 2020 ja 2021 yhdistetyssä aineistossa. Vain THI jätettiin pois lopullisesta mallista.

Muuttuja	Muuttujan kuvaus ja muut huomiot
Elopaino (kg)	Neljän viikon välein tehdyistä punnituksista.
Vuorokauden keskilämpötila (=ulkolämpötila) (°C)	Ilmatieteen laitoksen Siikajoen Ruukin sääaseman tietoihin perustuva vuorokauden keskilämpötila
Lämpötila-kosteus -indeksi (THI)	$THI = 0,8 \times T + (RH\%/100) \times (T - 14,4)$, jossa T on lämpötila (°C) ja RH% on suhteellinen kosteus prosentteina. Kosteustiedot: Ilmatieteen laitoksen Siikajoen Ruukin sääaseman tuntikohtaisista tiedoista laskettu keskiarvo.
Rehun kuiva-aine (g/kg)	Perustuu rehuanalyysiin, jotka kuvattu edellä artikkelissa Huuskonen ym. (2022).
Rehun kuitupitoisuus (g/kg kuiva-ainetta)	Perustuu rehuanalyysiin, jotka kuvattu edellä artikkelissa Huuskonen ym. (2022).
Rehun valkuainen (g/kg kuiva-ainetta)	Perustuu rehuanalyysiin, jotka kuvattu edellä artikkelissa Huuskonen ym. (2022).
Aika juomakuppien pesusta (pv)	Perustuu navetan henkilökunnan kirjanpitoon.

Juomaveden kulutuksen mallintamiselle muodosti haasteen se, että elopainossa, juomaveden kulutuksessa ja lämpötilassa (sekä THI:ssä) oli kaikissa kasvava trendi kokeiden aikana (Kuva 2). Tämän vuoksi käytettiin kaksivaiheista lähestymistapaa. Ensin mallinnettiin elopainon vaikutus perustuen karsinoiden väliseen vaihteluun keskimääräisessä elopainossa ja veden kulutuksessa yli koko kokeen ajan. Toisessa vaiheessa mallinnettiin muiden tekijöiden vaikutus toteutuneiden kulutusten poikkeamiin elopainomallilla ennustetuista kulutuksista.



Kuva 2. Juomaveden kulutus (päivittäiset keskiarvot), vuorokauden keskilämpötila ja eläinten keskimääräinen elopaino kokeiden 99 (vuosi 2020; simmental ja angus) ja 100 (vuosi 2021; ayrshire ja holstein) aikana.

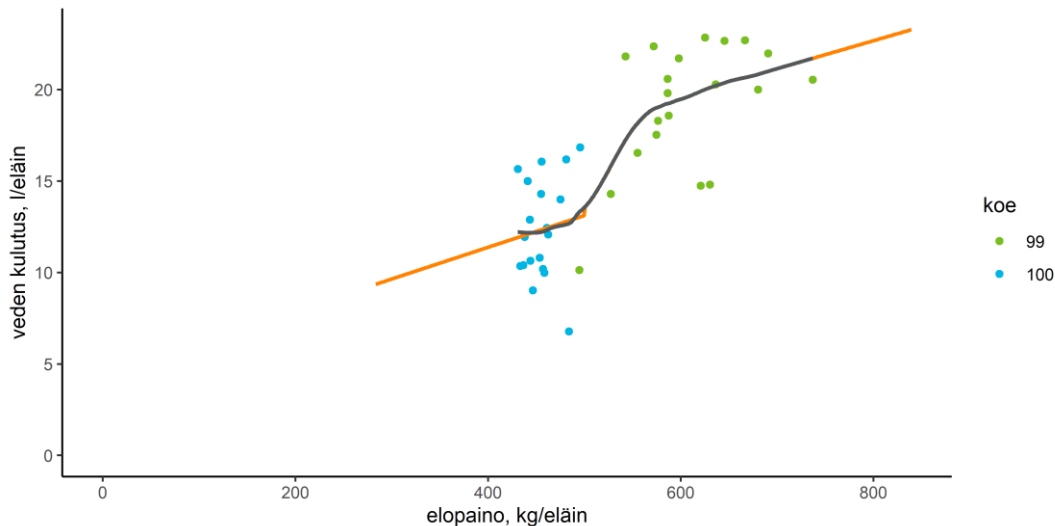
Aineiston suurehko määrä mahdollisti epäparametrisen regressiomallinnuksen, jossa selittävien muuttujien vaikutusfunktioiden muoto määräytyy joustavasti aineistolähtöisesti (kuten Kuvassa 2). Tämä toteutettiin yleistetyillä additiivisilla malleilla (Hastie & Tibshirani 1990) käyttäen R-pakettia mgcv (Wood 2011, R Core Team 2020).

Ensimmäisessä vaiheessa vastemuuttujana olivat karsinakohtaiset keskiarvot veden kulutuksessa yli kokeen keston ja selittävänä muuttujana vastaava elopainojen keskiarvo. Näihin sovitettua mallia sovellettiin karsinoiden päiväkohtaisiin elopainokeskiarvoihin niin, että saatiin kullekin kupille karsinan senhetkiseen elopainoon perustuva päiväkohtaisen juomaveden kulutuksen ennuste. Toisessa vaiheessa vastemuuttujana oli toteutuneiden kulutusten poikkeama ensimmäisen vaiheen mallilla ennustetuista. Tälle vastemuuttujalle tehtiin logaritmuunnos, jonka jälkeen voitiin olettaa tälle laaditun regressiomallin jäännösten varianssin riippumattomuus regressioennusteen arvosta. Logaritmuunnettua poikkeamaa elopainomallin ennusteesta selitettiin eläinten elopainolla, vuorokauden keskilämpötilalla, rehun kuiva-aine-, kuitu- ja valkuaispitoisuudella sekä juomakuppien pesusta kuluneella ajalla. Vuoden 2021 kokeen aineistosta tarkasteltiin myös juomaveden lämpötilan vaikutusta tutkimalla toteutuneiden kulutusten poikkeamia kaikki muut selittäjät sisältävän mallin ennusteista.

Korkeissa lämpötiloissa THI on eläimen kokeman lämpöstressin kannalta oleellisempi kuin pelkkä lämpötila: korkea lämpötila yhdistettynä suureen kosteuteen on eläimille haastavaa (Polsky & von Keyserlingk 2017). Kokeiden aikana THI arvo oli korkeimmillaan 71. Lievän lämpöstressin alaraja naudoilla on 72, joten sitä ei saavutettu. THI:n ja lämpötilan käyttäminen mallinnuksessa tuottivat aineistossamme hyvin samakaltaisen tulokinnan "lämpöstressin" vaikutuksesta juomaveden kulutukseen. Siksi esitämme vain lämpötilan vaikutuksen.

6.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Juomaveden keskimääräinen vuorokausikulutus eläintä kohden yli kokeen keston laskettuna vaihteli noin viidestä litrasta runsaaseen 20 litraan (Kuva 3). Suuremmat eläimet kuluttivat enemmän vettä kuin pienet eläimet, mutta tässä on huomioitava sekoittavana tekijänä jo edellä mainittu seikka, että kokeet tehtiin jaksolla talvesta kesään, ja siksi eläinten kasvaessa myös lämpötila nousi.

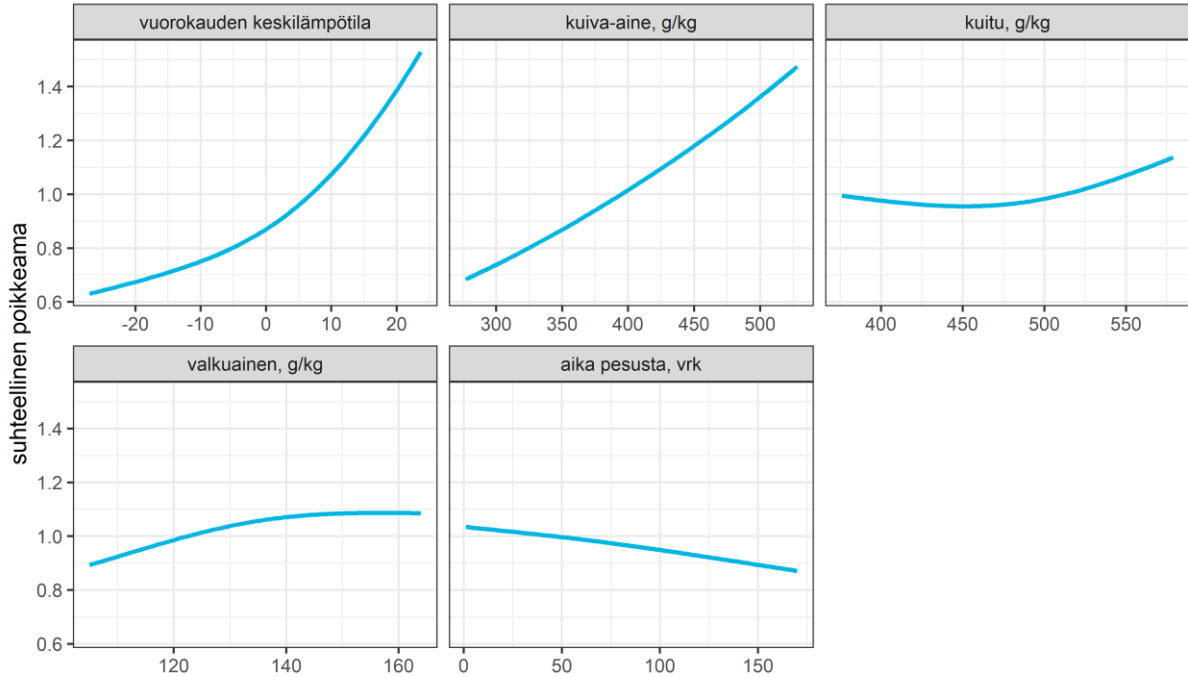


Kuva 3. Karsinakohtaiset keskimääräiset juomaveden kulutukset suhteessa elopainoon yli kokeiden 99 (vuosi 2020; simmental ja angus) ja 100 (vuosi 2021; ayrshire ja holstein). Näihin sovitettu yleistetty additiivinen malli (tummanharmaa viiva) ja sen lineaarinen ekstrapolaatio (oranssit viivat), jota tarvittiin päiväkohtaisten ennusteiden laatimiseen.

Kun huomioidaan elopainon vaikutus ja lasketaan suhteelliset poikkeamat toteutuneiden kulutusten ja elopainomallilla ennustettujen kulutusten välillä, nähdään, että ulkoisista tekijöistä vedenkulutukseen vaikuttivat voimakkaimmin lämpötila ja rehun kuiva-ainepitoisuus (Kuva 4). Vaikutuksen olivat hyvin odotettuja. Vedenkulutus nousi lämpötilan noustessa ja rehun kuiva-ainepitoisuuden noustessa (vrt. esim. Meyer ym. 2006, Arias & Mader 2011).

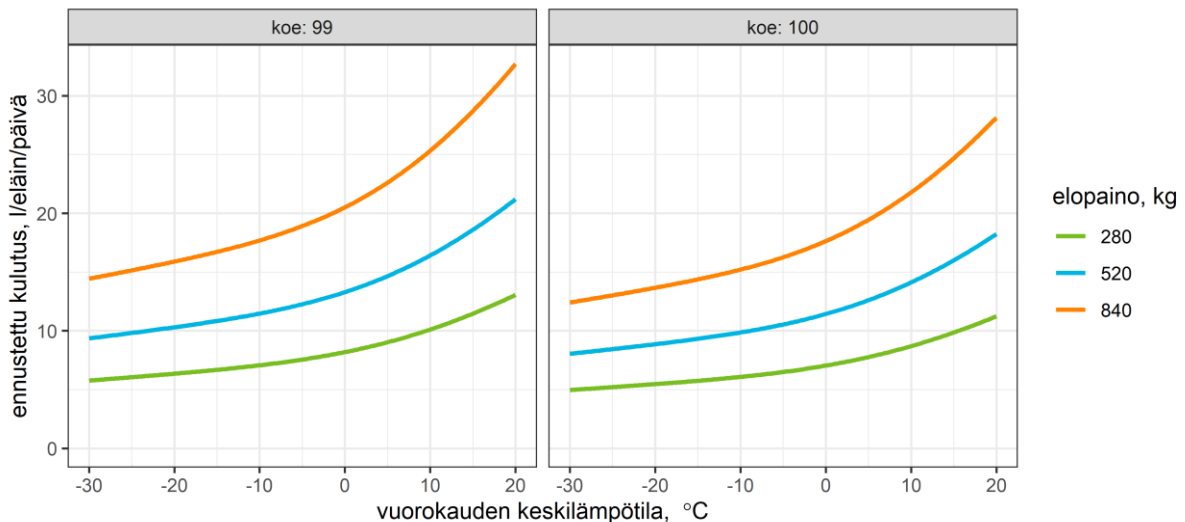
Rehun kuiva-aineen korkea kuitu- ja valkuaisainepitoisuus lisäsivät hieman veden juontia (Kuva 4). Llonch ym. (2020) eivät havainneet rehun kuitupitoisuuden vaikuttavan lihahiehojen vedenkulutukseen kokeessa, jossa peNDF:n (physically effective neutral detergent fibre) pitoisuus vaihteli 6,4 %:sta 15,4 %:iin rehun kuiva-aineesta viljaväkirehuun ja ohran olkeen perustuvalla seosrehuruokinnalla. Sen sijaan valkuaisainepitoisuuden ja veden kulutuksen välillä on kirjallisuudessa raportoitu positiivinen korrelaatio lypsylehmillä (Kume ym 2010).

Myös aika vesikuppien puhdistamisesta näyttäisi vaikuttavan hieman juodun veden määrään: mitä pidempi aika, sitä pienempi kulutus. Veden puhtauden vaikutusta juodun veden määrään on tutkittu lähinnä kokeissa, joissa vesi on ollut hyvin likaista: ks. Tuomisto ym. (2022) katsausartikkeli edellä. Niissä kokeissa vaikutus on ollut selvä. Oma tuloksemme on hieman yllättävä, koska kuppien puhtautta tarkkailtiin vuoden kokeen 2020 aikana ja kupit puhdistettiin tarvittaessa, ja vuoden 2021 kokeessa kupit puhdistettiin 3–10 viikon välein. Veden puhtauden tärkeyttä korostaa kuitenkin myös se, että Welfare Quality® lihanautojen hyvinvoinnin arviointiprotokollassa veden puhtaudelle asetetaan melko tiukat kriteerit (Welfare Quality® 2009, s. 32).



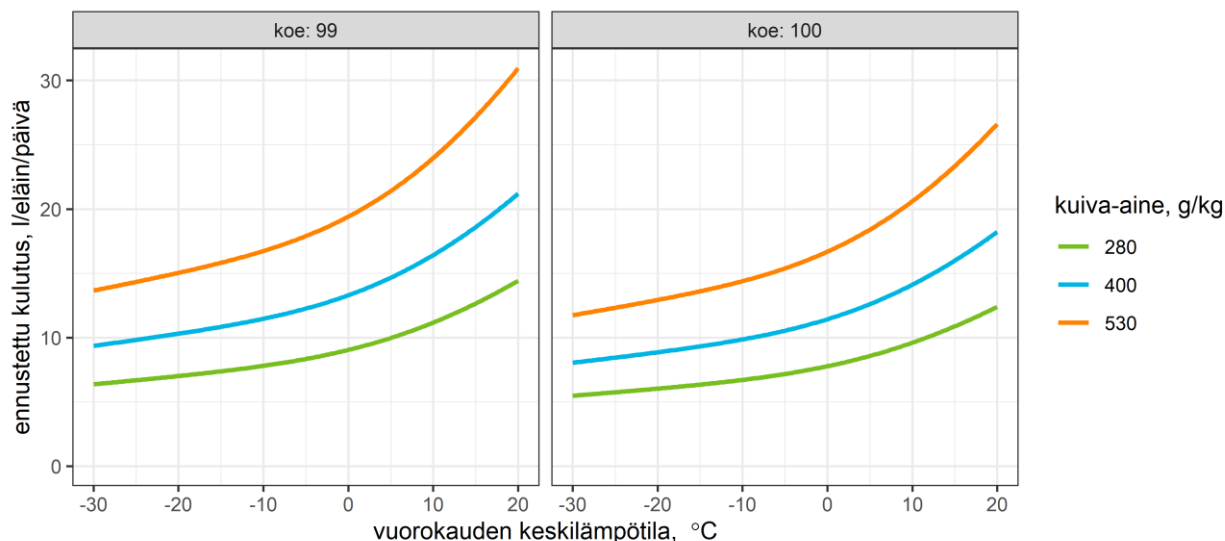
Kuva 4. Mallin jatkuvien muuttujien vaikutukset toteutuneen vedenkulutuksen suhteelliseen poikkeamaan pelkän elopainon perusteella ennustetusta kulutuksesta. Mallinnus on tehty käyttäen molempien kokeiden dataa: koe 99 (vuosi 2020; simmental ja angus) ja koe 100 (vuosi 2021; ayrshire ja holstein). Kaikki vaikutukset ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä.

Seuraavaksi selvennetään hieman käytännöllisemmällä tasolla voimakkaimmin juomavedenkulutukseen vaikuttaneiden tekijöiden vaikutuksia. Kuvassa 5 yhdistetään eläinten painon ja lämpötilan vaikutukset. Kuvasta nähdään, että molemmilla roduilla vedenkulutus nousee kiihtyvästi, kun lämpötila nousee nollan celsiusasteen yläpuolelle. Merkillepantavaa tässä on se, että kiihtyvä nousu näkyy jo huomattavasti ennen, kuin eläimillä on varsinaista lämpöstressin uhkaa. Juomaveden kulutus on jo +20 celsiusasteessa noin kaksinkertainen verrattuna vedenkulutukseen -20 celsiusasteessa.



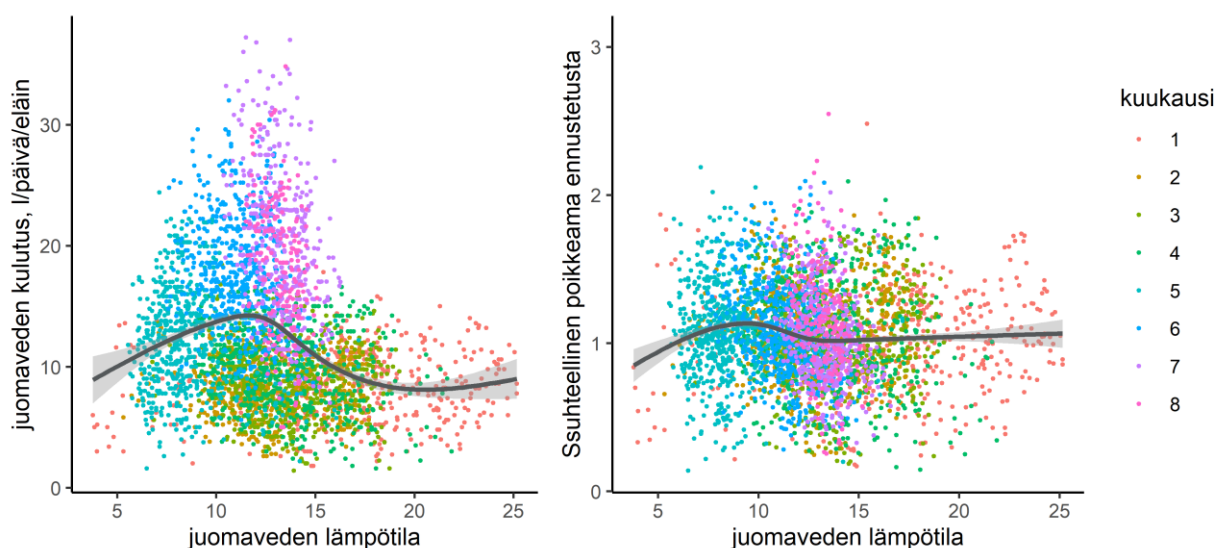
Kuva 5. Malliennusteet juomaveden kulutukselle pienimmällä, keskimääräisellä ja suurimmalla karsina/päiväkohtaisella elopainokeskiarvolla. Mallin muut selittäjät (kuiva-aine, kuitu, valkuainen, aika pesusta) on asetettu keskiarvoonsa.

Kuvassa 6 yhdistetään puolestaan lämpötilan ja rehun kuiva-aineen vaikutukset. Kuvasta nähdään, että kuiva-ainepitoisuuden nousu 240 g/kg:sta 530 g/kg:aan jotakuinkin kaksinkertaistaa vedenkulutuksen. Tämä johtuu tietysti ennen kaikkea siitä, että märempää rehua syövät eläimet saavat osan tarvitsemastaan vedestä rehusta.



Kuva 6. Malliennusteet juomaveden kulutukselle pienimmällä, keskimääräisellä ja suurimmalla dieetin kuiva-ainepitoisuudella. Mallin muut selittäjät (elopaino, kuitu, valkuainen, aika pesusta) on asetettu keskiarvoonsa.

Kuten yllä tuotiin ilmi, tulokset koskien juomaveden lämpötilan vaikutusta juotuun määrään perustuvat tahattomaan koeasetelmaan. Siksi tulosten tulkinnessa on oltava erityisen varovaisia. Tulostemme mukaan eläimet juovat eniten, kun juomaveden lämpötila on alle 15 °C (Kuva 7).



Kuva 7. Juomaveden lämpötilan vaikutus juodun veden määrään (vasen) sekä juodun veden määrän suhteellinen poikkeama verrattuna mallin antamaan ennusteeseen kokeessa 100 (vuosi 2021: ayrshire ja holstein). Havaintopisteet on värikoodattu kuukauden mukaan.

6.4. Johtopäätökset

Havaitsemamme eläinten koon, dieetin kuiva-ainepitoisuuden ja ympäristön lämpötilan selvät vaikutukset juodun veden määrään olivat hyvin odotettuja. Lähinnä ne kertovat siitä, että nämä tekijät on huomioitava, jos halutaan tutkia joidenkin muiden tekijöiden vaikutuksia loppukasvatettavien sonnien vedenkulutukseen. Tuloksemme auttavat myös arviomaan karkeasti sitä, kuinka paljon vettä pitäisi olla vähintään tarjolla eri olosuhteissa. Rehun kuitu- ja valkuaispitoisuuden sekä juomakuppien puhdistamisesta kuluneen ajan vaikutukset olivat pieniä.

Jokainen malli on sen takana olevan aineiston vanki. Tästä syystä mallien yleistämisessä on noudatettava varovaisuutta. Oman aineistomme erityishaasteena oli kolmen keskeisen muutujan eli juomaveden kulutuksen, elopainon ja lämpötilan kasvava trendi kokeiden aikana. Ongelman ratkaiseminen vaati erityistä tilastotieteellistä lähestymistapaa.

6.5. Viitteet

- Arias, R.A. & Mader, T.L. 2011. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. *Journal of Animal Science* 89: 245–251.
- Hastie, T.J. & Tibshirani, R.J. 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman & Hall/CRC.
- Hicks R.B., Owens F.N., Gill D.R., Martin J.J. & Strasia C.A. 1988. Water intake by feedlot steers. Oklahoma Agricultural Experimental Station, Animal Science Report No. 125: 208–212.
- Huuskonen, A., Hietala, S., Keto, L., Hyvönen, J., Leinonen, I. & Manni, K. 2022. Säilörehuvaltaisten ruokintojen vaikutukset kasvavien lihanautojen tuotantotuloksiin, lihan laatuun sekä ympäristökuormitukseen. Julkaisussa: Huuskonen, A. & Manni, K. (toim.). *Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 10–27.
- Kume, S., Nonaka, K., Oshita, T. & Kozakai T. 2010. Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. *Livestock Science*: 46–51.
- Llonch, L., Castillejos, L. & Ferret, A. 2020. Increasing the content of physically effective fiber in high-concentrate diets fed to beef heifers affects intake, sorting behavior, time spent ruminating, and rumen pH. *Journal of Animal Science* 98: 1–9.
- Loneragan, G.H., Wagner, J.J., Gould, D.H., Garry, F.B. & Thoren, M.A. 2001. Effects of water sulfate concentration on performance, water intake, and carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal Science* 79: 2941–2948.
- Meyer U., Stahl W. & Flachowsky G. 2006. Investigations on the water intake of growing bulls. *Livestock Science* 103: 186–191.
- Polsky, L. & von Keyserlingk M.A.G. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science* 100: 8645–8657.
- R Core Team 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Saatavissa: <https://www.R-project.org/>.
- Tuomisto, L, Mononen, J., Kurkilahti, M., Frondelius, L., Manni, K. & Huuskonen, A. 2022. Juomapaikkamitoituksen vaikutus nuorten sonnien vedenkulutukseen, rehun syöntiin ja

käyttäytymiseen. Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki s. 124–148.

Welfare Quality® 2009. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Welfare Quality®.

Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society B* 73: 3–36.

7. Juomapaikkamitoituksen vaikutus nuorten sonnien vedenkulutukseen, rehun syöntiin ja juomiskäyttäytymiseen

Leena Tuomisto¹, Jaakko Mononen¹, Mika Kurkilahti², Lilli Frondelius¹, Katariina Manni³ ja Arto Huuskonen¹

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31 A, 71750 Maaninka

²Luonnonvarakeskus (Luke), Itäinen Pitkätatu 4 A, 20520 Turku

³Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

Tiivistelmä

Kansallisen lainsäädännön juomapaikkamitoituksen samoin kuin Welfare Quality® -hyvinvoinnin arvioinnin juomapaikkamitoituksen perustelut ovat lihanaudoilla epäselvät, koska juomapaikkojen lukumäärän tarpeesta ei ole tutkimustietoa. Tässä kokeessa selvitettiin juomapaikkamitoituksen vaikutusta nuorten sonnien vedenkulutukseen, rehun syöntiin ja juomiskäyttäytymiseen.

Koe tehtiin eristämättömässä tutkimuspihatossa kahdessa betonipohjaisessa osittain kuivitetussa karsinassa. Molemmissa karsinoissa oli 35 maitorotuista sonnia (yhteensä 70 sonnia), jotka olivat kokeen alkaessa keskimäärin 5,7 kk:n ikäisiä ja 230 kg:n painoisia. Koe kesti 48 vuorokautta. Koekäsittelyt toteutettiin vaihtelemalla eläinten käytössä olevien vesisäiliöllisten juomakuppien (Polytherme) lukumäärää. Koekäsittelyt olivat: A. 2 juomakuppia karsinassa eli 1 kuppi per 17,5 eläintä (lainsäädännön minimivaatimus), B. 1 juomakuppi karsinassa eli 1 kuppi per 35 eläintä (lainsäädännön alittava mitoitus) ja C. 5 juomakuppia karsinassa eli 1 kuppi per 7 eläintä (lainsäädännön minimin ylittävä mitoitus). Koekäsittelyjen järjestys karsinoissa oli BACA ja ABAC. Eläimet ruokittiin GrowSafe-ruokintakaukaloista. Eläinten käyttäytymisen ja yksilöllisen vedenkulutuksen analyysiä varten videotallenteilta valittiin 24 tunnin pituinen (klo 00:00-24:00) ajanjakso koejakson 1 lopusta ja koejakson 2 lopusta. Eläinyksilökohtainen vedenkulutus saatiin selville yhdistämällä vesimittarista saatu vedenkulutustieto videotallenteilta saatavaan tietoon juomassa olevasta eläinyksilöstä. Tulosten tilastollinen analyysi tehtiin koekäsittelyjen A ja B välillä (koejaksot 1 ja 2), koska koejaksoilla 3 ja 4 ilmeni ongelmia kokeen suorituksessa.

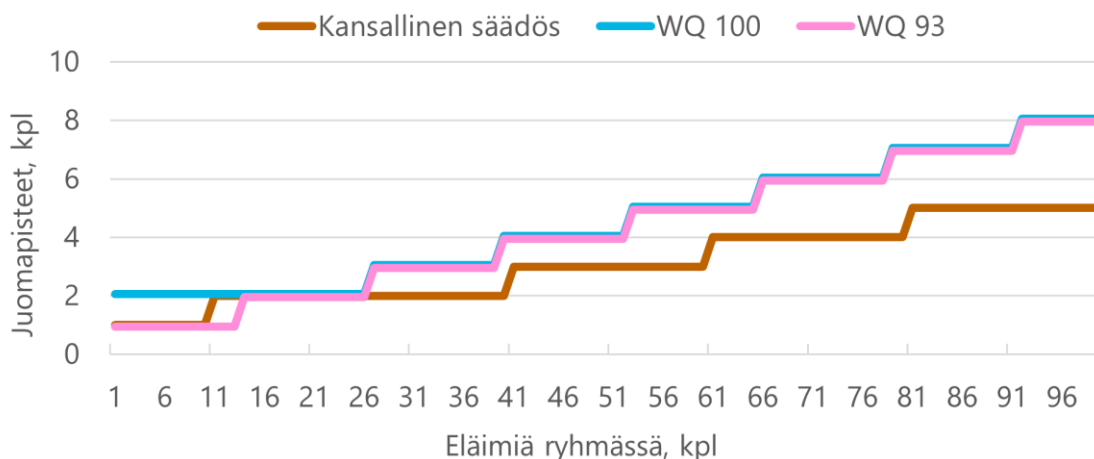
Koekäsittelyjen (1 kuppi/35 eläintä ja 1 kuppi/17,5 eläintä) välillä ei ollut eroa vedenkulutuksessa (9,7 l/vrk/eläin), rehun syönnissä (6,2 kg ka/eläin/vrk) tai juomisajassa (165 s/eläin/vrk). Vesiaterioiden lukumäärä vuorokaudessa sonnia kohden oli pienempi (6,6 vs. 8 kpl) ja juomakupilla kaikkiaan vietetty aika lyhyempi (9,0 vs. 12,2 min/eläin/vrk) käsittelyllä 1 kuppi/35 eläintä kuin käsittelyllä 1 kuppi/17,5 eläintä. Huomioiden, että kokeessa käytettiin nuoria eläimiä, vuodenaika oli viileä ja että juomavesi tarjottiin altaasta, kokeen tulokset voivat viitata siihen, että juomapaikkamitoitus 1 kuppi/35 eläintä on riittämätön lihanaudoilla.

Asiasanat: lihanauta, juomavesi, juomapaikkamitoitus, vedenkulutus, hyvinvointi, juomiskäyttäytyminen

7.1. Tutkimuksen tausta ja tarkoitus

Vesi on elämän edellytys ja välttämätön ravintoaine. Hyvälaatuinen juomavesi, jota eläin saa juoda vapaasti oman tarpeensa mukaisesti, on eläimen hyvinvoinnin ja eläintuotannon perusedellytys. Nautojen veden tarpeeseen vaikuttavat monet tekijät. Näitä ovat muun muassa ympäristön lämpötila, eläimen koko, rotu, ikä ja tuotantovaihe sekä syödyn rehun laatu ja suolapitoisuus (Golher ym. 2021). Lypsylehmien vedentarve on huomattavan suuri, 80–100 litraa päivässä, kun taas kasvavien lihanautojen vedenkulutus on ollut pienempi, 16–42 litraa päivässä (Tuomisto ym. 2022). Vedenpuute voi syntyä esimerkiksi juomaan pääsyn estymisestä, häiriöstä juomalaitteen toiminnassa tai kehnosta juomaveden laadusta ja ilmenee nopeasti rehun syönnin vähentymisenä ja lehmillä maitotuotoksen laskuna.

Kansallinen lainsäädäntömme määrää juomapaikkamitoituksesta, että lihanaudoilla ja hiehoilla on jokaista alkavaa 20 naudan ryhmää kohden oltava vähintään yksi juoma-astia tai juottolaite ja yli 10 naudan ryhmää kohden juoma-astioita tai juottolaitteita on oltava vähintään kaksi (Kuva 1) (Valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010). Veden puhtaudesta kansallinen lainsäädäntömme määrää, että nautojen juoma-astiat ja juottolaitteet on pidettävä puhtaina. Eläinten hyvinvointia tilatasolla mittaava Welfare Quality® (WQ) -arviointimenetelmä määrittää lihanautojen juomapaikkamitoituksen riittäväksi, kun juottolaitteita, kuten juomakuppeja, on yksi 13 eläintä kohden tai avointa juoma-allastilaa on vähintään 6 cm eläintä kohden (Welfare Quality® 2009). Juottolaitteiden puhtauden ja juomapaikkojen riittävyyden lisäksi korkein WQ:n pistemäärä (100 pistettä, ”erinomainen taso”) edellyttää, että jokaisella eläimellä on pääsy vähintään kahdelle juottolaitteelle. Ryhmäkoon ollessa 11–26 eläintä, kansallisen lainsäädäntömme mukaisella minimijuomapaikkamitoituksella saavutetaan WQ:n ”erinomainen taso” (Kuva 1). Ryhmäkoon ylittäessä 26 eläintä kansallisen lainsäädäntömme mukaisella minimijuomapaikkamitoituksella ei voida saavuttaa WQ:n korkeimpia pistemääriä.



Kuva 1. Lihanautojen juomapaikkojen lukumäärän vertailu kansallisen lainsäädännön (valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010) ja Welfare Quality® (WQ) -arviointimenetelmän (Welfare Quality® 2009) kahden korkeimman pistemäärän välillä.

Kansallisen lainsäädäntömme juomapaikkamitoituksen, samoin kuin WQ-mitoituksen, perustelut ovat epäselvät, koska lihanaudoilla juomapaikkojen lukumäärän tarpeesta ei ole tutkimustietoa. Muilla kotieläinlajeilla (vuohet, lampaat ja siat) on havaittu, että eläinryhmällä käytössä olevien juomapaikkojen määrän vähentäminen vaikuttaa eläinten käyttäytymiseen, mutta vedenkulutukseen sillä ei ole ollut vaikutusta (Turner ym. 1999, Ehrlenbruch ym. 2010, Bøe ym. 2012). Välttämättömän resurssin (kuten juomapaikkojen) rajoittaminen voi vaikuttaa erityisesti

arvoasteikossa alempana olevien eläinten hyvinvointiin. Tutkimuksissa on havaittu, että naudoilla rajoitetun resurssin käyttö ei jakaudu tasaisesti eläinten kesken, vaan dominoivat/hierarkiassa korkealla olevat eläimet hyödyntävät asemaansa alistuviin /hierarkiassa alempana oleviin eläimiin nähden (Andersson ym. 1984, Coimbra ym. 2012, McDonald ym. 2020). Lihanautojen juomapaikkamitoitukseen liittyvää tutkimustarvetta lisäävät myös käytännön tiloilla havaitut ongelmat. Etenkin suurissa lihanautaryhmissä juomakuppien epätasainen käyttö on voinut lisätä harvemmin käytettyjen juomalaitteiden jäätymisriskiä talvella. Toisaalta ongelmaksi on voinut muodostua juomaveden liiallinen lämpeneminen ja hygieniaongelmat, jos vedenkulutus ei ole ollut riittävää veden lämmityksen tehoon nähden.

Tässä kokeessa selvitettiin juomapaikkamitoituksen vaikutusta nuorten sonnien veden- ja rehunkulutukseen sekä juomiskäyttäytymiseen. Tutkimushypoteesit olivat, että juomakuppien määrän vähentäminen ei vähennä eläinten vedenkulutusta tai rehun syöntiä eikä heikennä päiväkasvua, mutta voi heikentää eläinten hyvinvointia käyttäytymismittareilla mitattuna.

7.2. Aineisto ja menetelmät

7.2.1. Eläimet ja ruokinta

Tutkimus tehtiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Siikajoen koetoiminta-asemalla marras-joulukuussa 2020. Tutkimuksessa oli 70 matorotuista sonnina (21 ayrshire ja 49 holstein), jotka hankittiin A-Tuottajat Oy:n eläinvälityksen kautta. Eläimet olivat saapuessaan noin viiden kuukauden ikäisiä. Kaikki eläimet tulivat yhdeltä välikasvatustilalta. Välikasvatustilalla eläimet olivat olleet osittain kuivitetuissa kiinteäpohjaisissa karsinoissa. Eläinten saavuttua tutkimusnavettaan ne punnittiin kahtena peräkkäisenä päivänä ja ryhmiteltiin rotu ja elopaino huomioiden kahteen 35 eläimen ryhmään. Koeryhmät sijoitettiin välittömästi kahteen koekarsinaan. Varsinaista koetta edeltävä 17 vrk:n pituinen totutusjakso alkoi ryhmittelystä ja sen aikana eläimet saivat tottua uusiin olosuhteisiin ja ruokintaan.

Totutusjakson ja varsinaisen kokeen aikana eläimet saivat vapaasti seosrehua, jossa oli nurmis-äilörehua 60 % ja litistettyä ohraa 40 % rehuannoksen kuiva-aineesta sekä tarvittavat kivennäiset ja vitamiinit. Seosrehu tarjottiin molemmissa karsinoissa kymmenestä GrowSafe-ruokintakaukalosta (3,5 eläintä/kaukalo), jotka mittasivat eläinten yksilöllistä rehunsyöntiä automaattisesti (Kuva 2). Ruokintakaukalosta mahtui syömään yksi eläin kerrallaan. Rehu jaettiin kaukaloihin kerran päivässä klo 10:00–11:00 välillä.

Totutusjakson ja varsinaisen kokeen aikana juomavesi tarjottiin eläimille lämpöeristetyistä vesisäiliöllisistä juoma-altaista (Polytherme-palloallas, valmistaja La Gée, vesisäiliön tilavuus 40 l) (jatkoksa lyhyemmin juomakuppi) (Kuvat 2 ja 3). Kussakin juomakupissa oli kelluva pallo, jonka tarkoituksena oli suojata kuppia jäätymiseltä ja likaantumislta. Juodessaan eläin siirsi pallon sivuun turvallaan. Juomakupin vesialtaaseen sijoitetut itsestään säätyvät sulanapitokaapelit lämmittivät vettä. Sulanapitokaapelien virta oli säädetty katkeamaan, kun ulkoilman lämpötila nousi yli +4,5 celsiusasteen. Juomakupista mahtui juomaan yksi eläin kerrallaan. Totutusjakson aikana molemmilla koeryhmillä oli käytössään kaksi juomakuppia, mikä on normaali kansallisen lainsäädännön mukainen minimijuomapaikkamitoitus.



Kuva 2. Yleisnäkymä GrowSafe-ruokintakaukaloista ja juomakupeista tutkimuspihatossa (eläimet eivät ole tässä raportoidusta kokeesta). Kuva: Luke/Outi Ukkola.

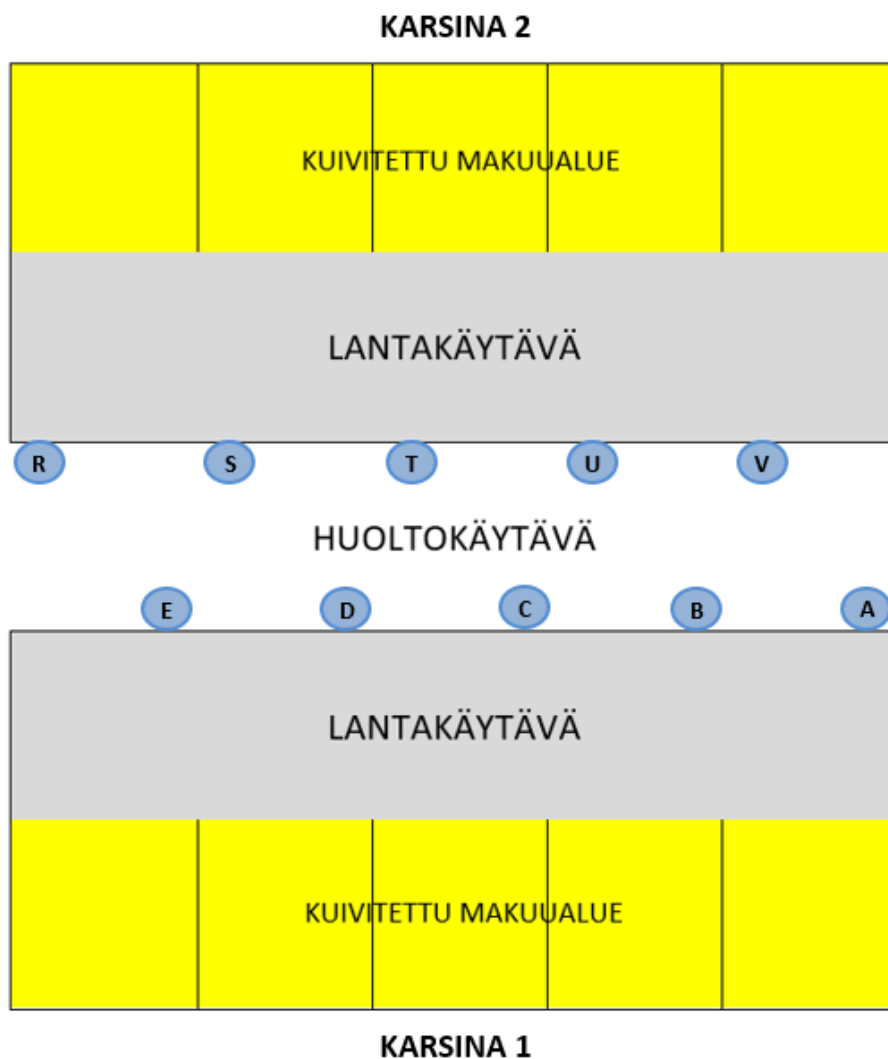


Kuva 3. Kokeessa käytetty vesisäiliöllinen juomakuppi. Kuvat: Luke/Leena Tuomisto (vasemmanpuoleinen kuva) ja Luke/Outi Ukkola (oikeanpuoleinen kuva).

7.2.2. Koejärjestely ja koekäsittelyt

Kokeen kesto oli 48 vrk ja se alkoi 2.11.2020 ja päättyi 19.12.2020. Kokeen alkaessa eläimet olivat keskimäärin 5,7 kuukauden (171 vrk) ikäisiä ja painoivat keskimäärin 230 kg. Kokeella oli valtakunnallisen hankelupalautakunnan myöntämä lupa eläinkokeen suorittamiseen (lupatunnus: ESAVI/25284/2020).

Koe suoritettiin eristämättömässä tutkimuspihatossa kahdessa betonipohjaisessa osittain kuivitetussa karsinassa (leveys 25 m × syvyys 10 m, pinta-ala 250 m²), jotka oli muodostettu yhdistämällä viisi pienempää karsinaa (karsinat 1 ja 2, Kuva 4). Molemmissa koekarsinoissa oli 35 eläintä ja niissä oli tilaa 7,14 m²/eläin, josta kuivitetun makuualueen osuus oli puolet, eli 3,57 m²/eläin. Betonipohjaiset lantakäytävät puhdistettiin etukuormaajalla kolme kertaa viikossa. Makuualueita kuivitettiin pihatton normaalin rutiinin mukaan oljella ja turpeella aina lantakäytävien puhdistuksien yhteydessä. Pihatossa oli päivisin normaali valaistus ja yöllä noin klo 22:15–6:15 välisenä aikana käytettiin himmeämpää valoa, jotta eläinten käyttäytyminen pystyttiin analysoimaan videotallenteilta myös yöajalta.



Kuva 4. Koejärjestely pihatossa. Koekarsinat muodostettiin poistamalla pienempien karsinoiden väliset karsina-aidat lantakäytäväalueella. Juomakupit on merkitty kuvaan sinisillä soiki-oilla.

Kokeessa oli kolme koekäsittelyä, jotka toteutettiin estämällä tai sallimalla eläinten pääsy juomakuppeille (Taulukko 1). Koekäsittelyt olivat 2 juomakuppia karsinassa (käsittely A) eli 1 kuppi per 17,5 eläintä, mikä vastaa lainsäädännön minimimitoitusta, 1 juomakuppi karsinassa (käsittely B) eli 1 kuppi per 35 eläintä, mikä kuvastaa lainsäädännön alittavaa mitoitusta ja 5 juomakuppia karsinassa (käsittely C) eli 1 kuppi per 7 eläintä, mikä kuvastaa tilannetta, jossa juomapaikkojen määrä ylittää selvästi lainsäädännön minimimitoituksen. Eläinten pääsy ylimääräisille kupeille koekäsittelyissä A ja B estettiin kuppien eteen asennettavien vanerilevyjen avulla. Salitut juomakupit valittiin tasaisesti karsinan pinta-alaan nähden: koekäsittelyssä A kupit D ja B tai S ja U olivat käytössä ja koekäsittelyssä B kuppi C tai T olivat käytössä (Kuva 4). Koekäsittelyssä C kaikki kupit olivat käytössä. Juomakupit puhdistettiin kokeen alussa ja koekäsittelyjen vaihtuessa sekä aina tarvittaessa.

Taulukko 1. Koekäsittelyjen kuvaus.

Käsittely	Juomakuppien lkm. karsinassa	Eläintä per kuppi	Kuvaus
A	2	17,5	normaali, lainsäädännön minimivaatimuksen mukainen tilanne
B	1	35	juomakuppeja liian vähän lainsäädäntöön suhteutettuna
C	5	7	juomakuppeja selvästi yli lainsäädännön minimivaatimuksen

Varsinainen koe kesti 48 vuorokautta ja sisälsi kaksi kahden viikon pituista koejaksoa ja kaksi 10 päivän pituista koejaksoa. Kaksi viimeistä koejaksoa olivat lyhyemmät, koska kokeen alkua jouduttiin siirtämään suunnitellusta, eikä koetta voitu enää pitkittää loppupäästä. Koekäsittelyjä vaihdettiin neljä kertaa, ja käsittelyjen järjestykset olivat karsinassa 1 BACA ja karsinassa 2 ABAC (Taulukko 2). Kokeen aikana kaikki muu pysyi eläinten kannalta samana, ja ainoastaan juomakuppien määrä vaihteli koejaksojen välillä. Eläinten hoito noudatti pihatton normaaleja rutiineja ja mahdolliset sairastapaukset hoidettiin asianmukaisesti ja tarvittaessa sairaat eläimet poistettiin.

Taulukko 2. Koekäsittelyjen (A, B, C) järjestys karsinoissa koejaksoittain.

Karsina	Totutusjakso (17 pv)	Koejakso 1 (14 pv) 2.11-15.11	Koejakso 2 (14 pv) 16.11- 29.11.	Koejakso 3 (10 pv) 30.11-9.12	Koejakso 4 (10 pv) 10.12-19.12
Karsina 1	2 kuppia (A)	1 kuppi (B)	2 kuppia (A)	5 kuppia (C)	2 kuppia (A)
Karsina 2	2 kuppia (A)	2 kuppia (A)	1 kuppi (B)	2 kuppia (A)	5 kuppia (C)

Kokeen aikana eläinten keskuudessa levisi hengitystieinfektio. Eläimistä otetusta syväsvily-näytteissä todettiin hengitystietulehduksia aiheuttavat *Mycoplasma bovis* ja *Pasteurella multocida* -bakteerit. Kokeen aikana karsinassa 1 lääkittiin kymmentä eläintä ja näistä kaksi jouduttiin lopettamaan. Kokeen aikana karsinassa 2 lääkittiin viittä eläintä, joista kolme jouduttiin lopettamaan. Koejaksolla 1 lopetettiin yksi eläin karsinasta 2, koejaksolla 3 lopetettiin yksi eläin kummastakin karsinasta ja koejaksolla 4 lopetettiin yksi eläin kummastakin karsinasta.

7.2.3. Mittaukset

Pihattoon kiinnitetyt lämpötilaloggerit (Easylog) mittasivat ilman lämpötilaa tunnin välein 0,1 celsiusasteen tarkkuudella. Juomakuppien vesisäiliöihin sijoitetut lämpötilaloggerit (Thermo Buton) mittasivat juomaveden lämpötilaa 10 minuutin välein 0,5 celsiusasteen tarkkuudella. Jokainen juomakuppi sai vetensä omasta vesilinjasta ja kuhunkin kuppiin virtaavan veden määrää mittasi mekaaninen yksisuihkuinen vesimittari (Zenner ETKD ZR) impulssilaitteella. Impulssilaitte mahdollisti mittaustulosten automaattisen lukemisen tietokantaan. Vedenkulutustieto tallentui vesimittarilta automaattisesti tietokantaan aina yhden litran kulutuksen täytyttyä sille minuutille, jolla litran kulutus täyttyi. Siten pienin mitattu tilavuus oli yksi litra ja yhdelle minuutille saattoi kertyä useampia litroja. Kokeen aikana vedenkulutuksen tallentumisessa oli katkoja teknisistä syistä johtuen. Tämän vuoksi vedenkulutustieto menetettiin kokonaan 4 vuorokauden ajalta.

GrowSafe-ruokintakaukalot mittasivat eläinten yksilökohtaiset päivittäiset rehunkulutukset automaattisesti. Eläimet punnittiin viikon välein koko kokeen ajan. Punnitusten yhteydessä eläinten karvapeitteeseen tehtiin tarvittaessa tunnistusmerkintä sprayvärillä (RAIDEX animal marking spray, desinfioiva haavaspray 0-infektio), jotta yksilöt pystyttiin helpommin erottamaan toisistaan videotallenteilta.

Eläinten käyttäytymistä karsinoissa videokuvattiin koko kokeen ajan. Eläinten käyttäytymisen ja yksilöllisen vedenkulutuksen analysointia varten videotallenteilta valittiin kaksi 24 tunnin pituista (klo 00:00-24:00) ajanjaksoa. Ensimmäinen jakso oli koejakson 1 lopussa 14.11.2020 ja toinen jakso oli koejakson 2 lopussa 28.11.2020. Koejaksot 3 ja 4 jätettiin analysoimatta, koska niiden aikana useat eläimet sairastivat hengitystietulehdusta ja vedenkulutuksen mittaamiseen sekä rehustukseen liittyi odottamattomia häiriöitä. Analyysipäivät valittiin niin, että niiden aikana ei tapahtunut karsinoiden puhdistusta ja kuivitusta tai eläinten käsittelyä punnitusten tai eläinlääkärin vierailujen vuoksi. Eläimen juomiskäyttäytyminen analysoitiin jatkuvalla seurannalla (Taulukko 3). Vesiateriat ja agonistinen käyttäytyminen (syrjäyttää, tulee syrjäytetyksi) juomakupilla kirjattiin ylös frekvensseinä (Taulukko 3).

Eläinyksilökohtainen vedenkulutus saatiin selville yhdistämällä vesimittarista saatu vedenkulutustieto videotallenteilta saatavaan tietoon juomassa olevasta eläinyksilöstä. Kun useampi eläin kävi juomassa peräkkäin lyhyen ajan sisällä, vedenkulutuksen jakautuminen yksilöiden välille arvioitiin eläinten juomiseen käyttämän ajan perusteella. Menetelmään liittyy epätarkkuutta, koska se ei huomioi eläinten yksilöllistä juomisnopeutta. Toinen menetelmällinen heikkous tutkimuksessa olivat pienet kertajuonnit (alle 0,99 l), jotka eivät kirjautuneet tietokantaan välittömästi vaan vasta myöhemmin tapahtuneen juonnin yhteydessä, kun tarvittava yhden litran kulutus täyttyi.

Taulukko 3. Käyttäytymisloukat ja niiden kuvaukset.

Toiminto	Kuvaus
Juo	Eläin on juomakupilla (varaa juomakupin) ja juo (imee vettä suuhunsa ja nielee) turpa vedessä.
Varaa juomakupin (ei juo)	Eläin on juomakupilla (varaa juomakupin) ja tekee jotain muuta kuin juo (esim. hankaa itseään rakenteisiin, nuolee tai manipuloi kupin reunoja tai palloa, kastaa turpaa veteen, tarkkailee ympäristöä, märehcii). Toiminto voi välillä keskeytyä (eläin siirtää päänsä niskapuomin taakse) enintään 10 sekunnin ajaksi.
Juomakupilla kaikkiaan vietetty aika	Juo + varaa juomakupin (ei juo)
Vesiateria (juomiskerta)	Vesiateria alkaa, kun eläin kastaa ensimmäisen kerran turpansa veteen juodakseen ja päättyy, kun eläin nostaa turpansa viimeisen kerran vedestä. Vesiateria voi sisältää yhden tai useamman juontijakson. Eläin voi pitää taukoa juomisessa ja peruttaa juomakupilta tai tehdä muita kupilla havaittavia toimintoja juontijaksojen välillä, mutta eläin ei poistu vesiaterian aikana kokonaan juomakupin läheisyydestä.
Syrjäyttää tai poistaa toisen eläimen juomakupilta	Eläin syrjäyttää tai poistaa toisen eläimen juomakupilta puske- malla tai työntämällä kehollaan. Toiminnon jälkeen eläin menee kupille tai ei mene kupille.
Tulee syrjäytetyksi tai poistetuksi juomakupilta	Eläin tulee syrjäytetyksi tai poistetuksi juomakupilta toisen eläimen toimesta.

7.2.4. Aineiston käsittely ja tilastolliset analyysit

Tulosten tilastollisissa analyyseissa tehtiin koekäsittelyjen A ja B vertailua koejaksoilla 1 ja 2 (Taulukko 4). Koejaksoilla 3 ja 4 aineiston luotettavuutta heikensivät useiden eläinten sairastuminen hengitystietulehdukseen ja vedenkulutuksen mittaamiseen sekä rehustukseen liittyvät odottamattomat häiriöt ja tämän vuoksi niiltä saatua aineistoa ei sisällytetty tilastollisiin analyyseihin. Kaikkien koejaksojen tuloksia esitetään soveltuvin osin kuvailevina (ei tilastollisesti analysoituna). Kuvailevia tuloksia esitetään pihaton sisälämpötilasta, juomaveden lämpötilasta, juomaveden kulutuksesta, vedenkulutuksen vuorokausirytmistä ja juomakuppien käytöstä. Tilastollisiin analyyseihin sisällytettiin kaikki 35 eläintä karsinasta 1 ja koejaksolla 1 tapahtuneen eläimen lopettamisen vuoksi 34 eläintä karsinasta 2.

Taulukko 4. Tilastollisesti analysoitavat muuttujat ja kunkin muuttujan mittauspäivät lasketuna kokeen alusta.

Muuttuja	Totutus- jakso	Koejakso 1 (14 vrk)		Koejakso 2 (14 vrk)	
		mittauspäivä viikolla -3	mittauspäivä viikolla 1	mittauspäivä viikolla 2	mittauspäivä viikolla 3
juomaveden kulutus			13		27
rehun syönti	-18 ¹	1			28
päiväkasvu		2	9 ²	16	23 ²
juomiseen käytetty aika			13		27
juomakupilla vietetty aika			13		27
vesiaterioiden lukumäärä			13		27
syrjäyttää lukumäärä			13		27
tulee syrjäytetyksi lukumäärä			13		27

¹⁾ Mitattu joka päivä, 18 vrk ennen kokeen alkua mitattua eläimen painoa käytetään kovariaattina.

²⁾ Mitattu erotuksena koejakson sisällä ja jaettu päivien määrällä (7 päivää).

Tutkimushypoteesi ja tilastollinen hypoteesi

Tutkimushypoteesit olivat, että juomakuppien määrän vähentäminen

1. ei vähennä eläinten vedenkulutusta tai rehun syöntiä eikä heikennä päiväkasvua
2. voi heikentää eläinten hyvinvointia käyttäytymismittareilla (juomiseen käytetty aika, juomakupilla vietetty aika sekä vesiaterioiden, syrjäyttämisen ja syrjäytetyksi tulemisen lukumäärä) mitattuna

Tilastollinen nollahypoteesi 1. tutkimushypoteesille oli "vähintään yhtä hyvä" -hypoteesi (ei-huonomuus, non-inferiority). Tilastollinen päättely tehtiin käsittelykeskiarvojen (1 juomakuppi vs. 2 juomakuppi) erotuksesta ja sen 95 % todennäköisyysvälistä (vrt. luottamusväli), mitä varten määritettiin ei-huonomuus -alaraja, minkä alapuolelle 95 % todennäköisyysväli ei saa ulottua. Tässä tutkimuksessa alaraja määritettiin -10 %, eli 1 juomakupin mittaustulos sai olla korkeintaan 10 % huonompi kuin 2 kupin tilanteessa (erotuksen todennäköisyysvälin alaraja ei saa mennä -10 % alapuolelle, jotta nollahypoteesi hyväksytään).

Tilastollinen nollahypoteesi 2. tutkimushypoteesille oli yksisuuntainen "erilaisuus" -hypoteesi (difference). Tilastollinen päättely tehtiin käsittelykeskiarvojen (1 juomakuppi vs. 2 juomakuppi) erotuksesta ja sen 90 % todennäköisyysvälin (vrt. luottamusväli) yläraja ei saanut olla nollaa suurempi, jotta yksisuuntainen erilaisuus-hypoteesi hyväksytään.

Tilastollinen malli

Tutkimuksen rakenne oli kahden käsittelyn ja koejakson vaihtovuorokoe, jossa koe-eläimet jaettiin kahteen karsinaan. Karsinoissa koekäsittely toteutettiin kahdessa samanaikaisessa koejaksoissa, mutta vastakkaisessa järjestyksessä. Karsinassa 1 koekäsittelyt olivat järjestyksessä 1 juomakuppi ja 2 juomakuppia karsinassa ja karsinassa 2 koekäsittelyt olivat järjestyksessä 2 juomakuppia ja 1 juomakuppi karsinassa.

Kaikille tutkittaville vastemuuttujille sovitettiin yleistetty lineaarinen sekamalli, joka oli yleisesti muotoa:

vastemuuttuja = kiinteä osa + kovariaatti + satunnaismuuttuja + skaalamuuttuja.

Muuttujakohtaiset malliyksityiskohdat on esitetty Taulukossa 5. Kaikissa sovitetuissa malleissa kiinteinä muuttujina olivat karsina, jakso sekä näiden yhdysvaikutus. Veden kulutuksen ja rehun syönnin malleissa käytettiin myös kovariaatteja. Lääkitysperiodi oli mallissa mukana erillisenä luokkamuuttujana kahden vastemuuttujan kanssa. Muiden vastemuuttujien malleissa sillä ei ollut merkitystä. Vastemuuttujasta riippuen mallin jakaumana käytettiin joko normaalijakaumaa, log-normaalijakaumaa tai Poisson-jakaumaa. Kaikissa malleissa käytetty linkkifunktio oli identiteetti, paitsi Poisson-jakaumalla log. Kaikille vastemuuttujille malli oli kahden tai useamman aikapisteen toistomittausmalli riippuen mittauspisteiden määrästä. Vastemuuttujasta riippuen toistotekijän kovarianssirakenne oli ar(1), csh, un tai un(1). Subjektina käytettiin eläinyksilöä.

Taulukko 5. Tilastollisen mallin rakenne eri vastemuuttujille. Sarakeotsikoiden selitykset: Kiinteä muuttuja = päävaikutukset ja niiden yhdysvaikutus, Kovariaatti = mallin kovariaatit, Satunnaismuuttuja = mallin satunnaismuuttuja (Repeated/Random kuvaa toistomuuttujan mallinnustapaa), Subj1 = toistomuuttujan subjekti, Kov.rak. = toistomittauksesta johtuva kovarianssirakenne, Ryhmä = x: eri karsinoille on mallinnettu eri kovarianssirakenne, Skaalaparametri = Poisson-jakauman ylihajontaparametri (Random intercept), Subj2 = skaalaparametrin subjekti, Jakauma = muuttujalle tehty jakaumaoletus, Linkki-f = jakauman kanssa käytetty linkkifunktio (GLMM).

Vastemuuttuja	Kiinteä muuttuja	Kovariaatti	Satunnaismuuttuja	Subj1	Kov. rak.	Ryhmä	Skaalaparametri	Subj2	Jakauma	Linkki-f
veden kulutus	karsina jakso karsina*jakso	lääkitys, rehukuivapaino	Repeated päivä	eläinyksilö	un	x			normaali	identiteetti
rehun syönti	karsina jakso karsina*jakso	lääkitys, paino-18	Random päivä	eläinyksilö	ar(1)				log-normaali	identiteetti
päiväkasvu	karsina jakso karsina*jakso		Repeated päivä	eläinyksilö	un				normaali	identiteetti
juomiseen käytetty aika	karsina jakso karsina*jakso		Repeated päivä	eläinyksilö	csh	x			log-normaali	identiteetti
juomakupilla vietetty aika	karsina jakso karsina*jakso		Repeated päivä	eläinyksilö	csh	x			log-normaali	identiteetti
vesiaterioiden lukumäärä	karsina jakso karsina*jakso		Repeated päivä	eläinyksilö	csh	x			log-normaali	identiteetti
syrjäytämisen lukumäärä	karsina jakso karsina*jakso		Random päivä	eläinyksilö	un(1)	x	Random intercept	el.yks.* jakso* päivä	poisson	log
syрjäytymisen lukumäärä	karsina jakso karsina*jakso		Random päivä	eläinyksilö	un(1)	x	Random intercept	el.yks.* jakso* päivä	poisson	log

Poisson-jakaumamalleissa oli mukana ylihajontaparametri (random intercept), jonka subjektina oli eläinyksilön, jakson ja aikapisteen yhdysvaikutus. Osalla vastemuuttujilla karsinoiden sisäinen vaihtelu oli niin erilainen, että karsinoiden vaihtelu estimoitiin erikseen (ryhmä-muuttuja mallissa, Taulukko 5.)

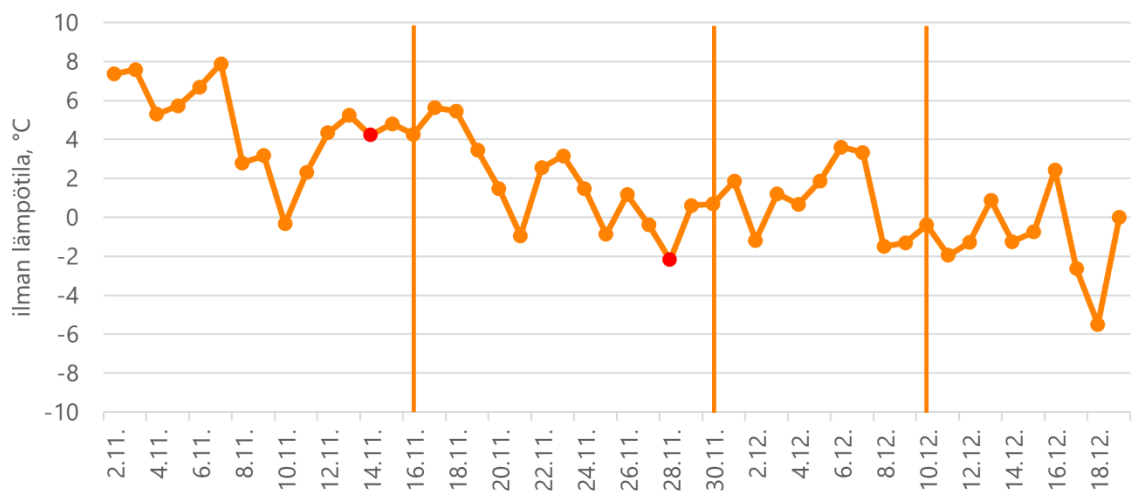
Mallin estimointimenetelmänä käytettiin MCMC-estimointia (SAS-ohjelmisto PROC BGLIMM). Periaatteessa lähestymistapa on bayesiläinen, mutta estimoinnissa ei ole käytetty prioritietoa. MCMC-estimointi tuottaa vastaavat tulokset kuin perinteinen mallinnus, mutta p-arvojen sijaan päättely tehdään todennäköisyysvälien kautta (vrt. luottamusvälit). Lähestymistapa mahdollistaa monipuolisemman tutkimushypoteesien tarkastelun kuin perinteinen mallinnus.

Tutkimushypoteesin testaus tapahtui karsina x koejakso -yhdysvaikutuksessa. Hypoteesien testaus tehtiin lineaarisilla kontrasteilla koejakso- ja käsittelykeskiarvojen välille. Log-normaali- ja Poisson-jakaumien kanssa tulokset on takaisinmuunnettu ln-skaalasta eksponenttifunktion kanssa. Tällöin keskiarvojen vertailu tapahtui niiden suhdelukujen kautta.

7.3. Tulokset

7.3.1. Ympäristön lämpötila

Pihaton sisältä mitattu vuorokauden keskilämpötila vaihteli kokeen aikana noin +8 ja -6 celsiusasteen välillä (Kuva 5). Pihaton sisälämpötila laski kokeen edetessä syksyn vaihtuessa talveen.



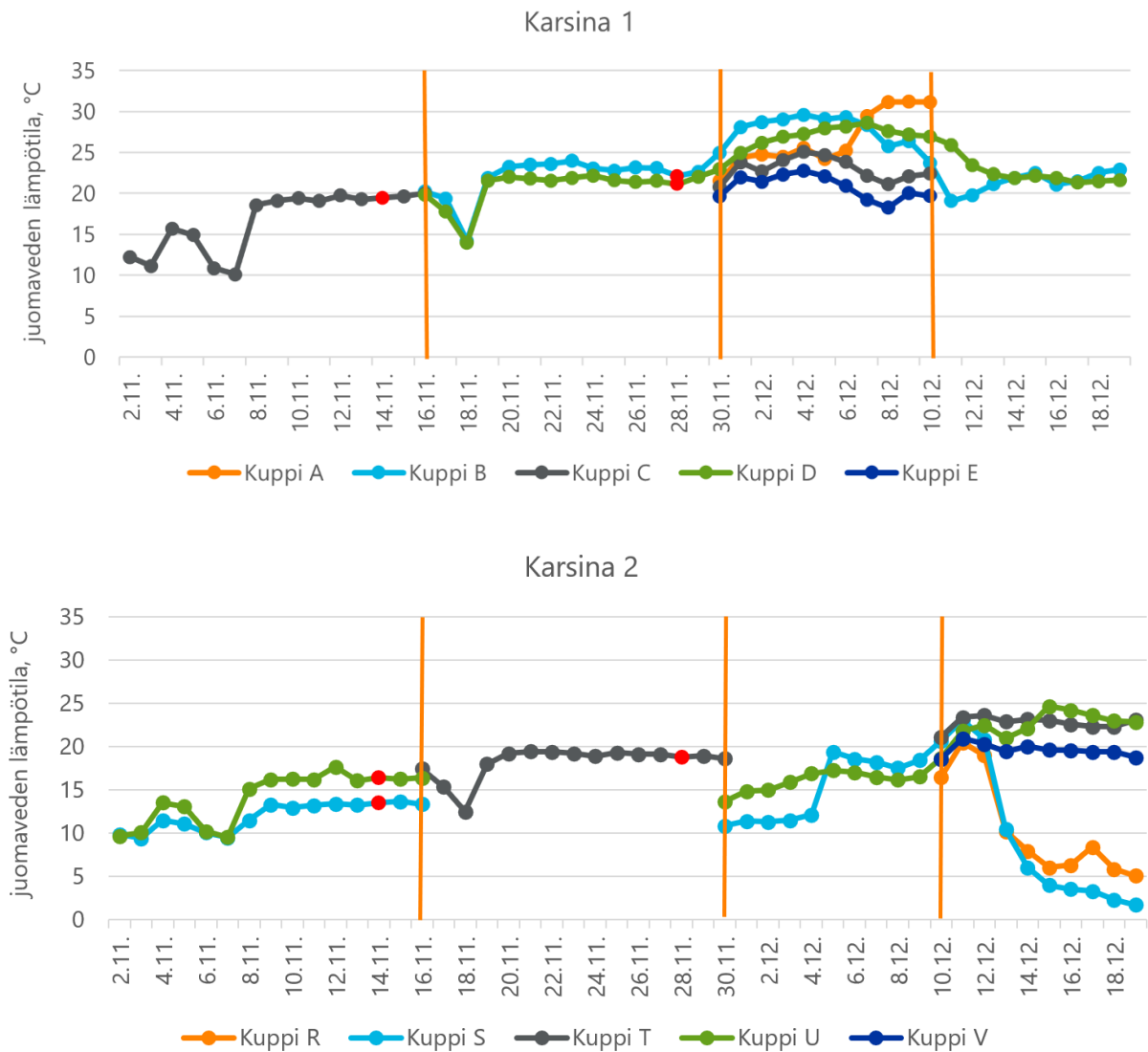
Kuva 5. Vuorokauden keskilämpötila pihatossa kokeen aikana. Koejaksojen vaihtuminen on osoitettu kuvassa pystyviivoilla. Eläinten käyttäytymisen ja yksilökohtaisen vedenkulutuksen mittausajankohdat on merkitty kuvaajaan punaisella pisteellä.

7.3.2. Juomaveden lämpötila

Koejaksoilla 1 ja 2 karsinassa 1 juomaveden vuorokauden keskilämpötilat eläinten käytössä olleissa juomakupeissa olivat yleisesti hieman korkeammat kuin karsinassa 2 (Kuva 6). Karsinassa 1 koejaksolla 1 juomaveden keskilämpötila juomakupissa C oli 16,4 °C ja koejaksolla 2 juomaveden keskilämpötilat juomakupeissa B ja D olivat 21,9 °C ja 20,7 °C. Karsinassa 2

koejaksolla 1 juomaveden keskilämpötilat juomakupeissa S ja U olivat 11,9 °C ja 14,0 °C ja koejaksolla 2 juomaveden keskilämpötila juomakupissa T oli 18,2 °C.

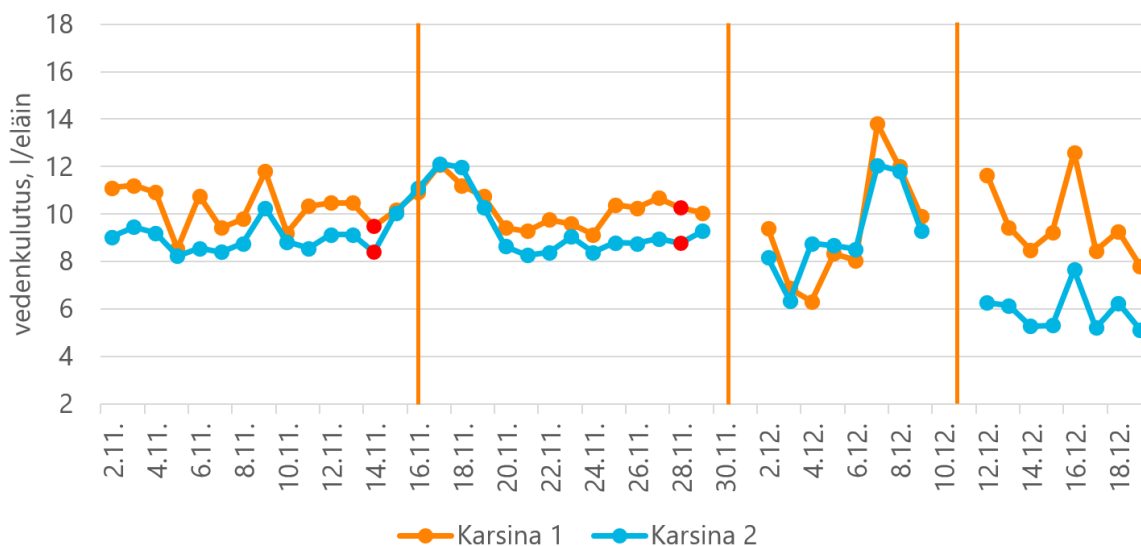
Molemmissa karsinoissa koejaksojen 1 ja 2 alkupuolella juomaveden lämpötiloissa oli selkeitä laskuja (Kuva 6). Nämä johtuivat juomakuppien sulanapitokaapeliin virran katkeamisesta ympäristön lämpötilan noustessa yli +4,5 celsiusasteen. Koejaksoilla 3 ja 4 juomaveden vuorokauden keskilämpötiloissa esiintyi enemmän vaihtelua kuin kokeen alkupuolella ja karsinassa 1 osassa juomakupeista mitattiin hyvin korkeita juomaveden lämpötiloja ja karsinassa 2 puolestaan matalia juomaveden lämpötiloja juomavettä lämmittävien sulanapitokaapeliin virtahäiriöstä johtuen.



Kuva 6. Juomaveden vuorokauden keskilämpötilat käytössä olleissa juomakupeissa karsinoissa 1 ja 2 kokeen aikana. Koejaksojen vaihtuminen on osoitettu kuvassa pystyviivoilla. Eläinten käyttäytymisen ja yksilökohtaisen vedenkulutuksen mittaussajankohdat on merkitty kuvajiin punaisella pisteellä.

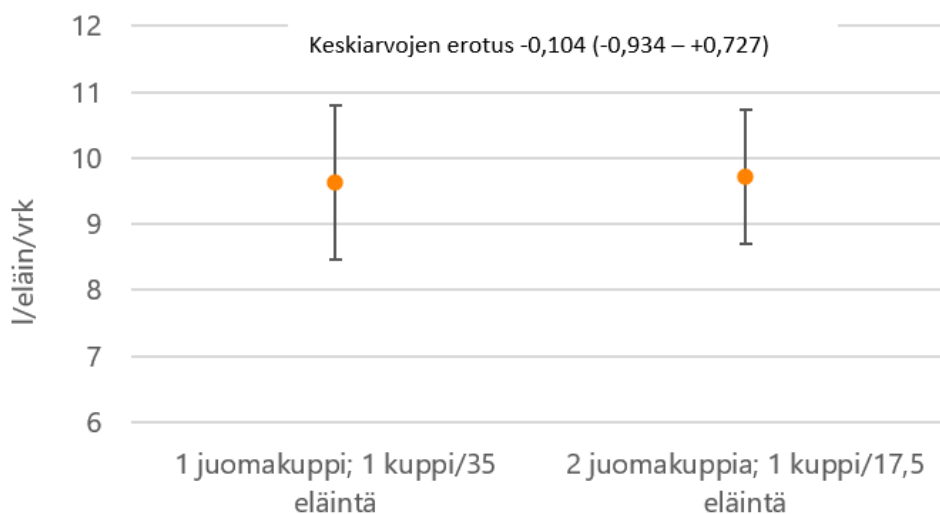
7.3.3. Juomaveden kulutus, rehun syöinti ja päiväkasvu

Koejaksoilla 1 ja 2 vedenkulutus eläintä kohden oli keskimäärin 8–12 litraa vuorokaudessa (Kuva 7). Koejaksoilla 3 ja 4 vedenkulutuksen vaihteluväli oli suurempi, 5–14 litraa eläintä kohden. Koejaksolla 4 eläinten vedenkulutus karsinassa 2 oli huomattavan matalaa verrattuna karsinan 1 eläinten vedenkulutukseen. Tämä todennäköisesti johtui vedenkulutuksen mittaamiseen liittyvästä ongelmasta.



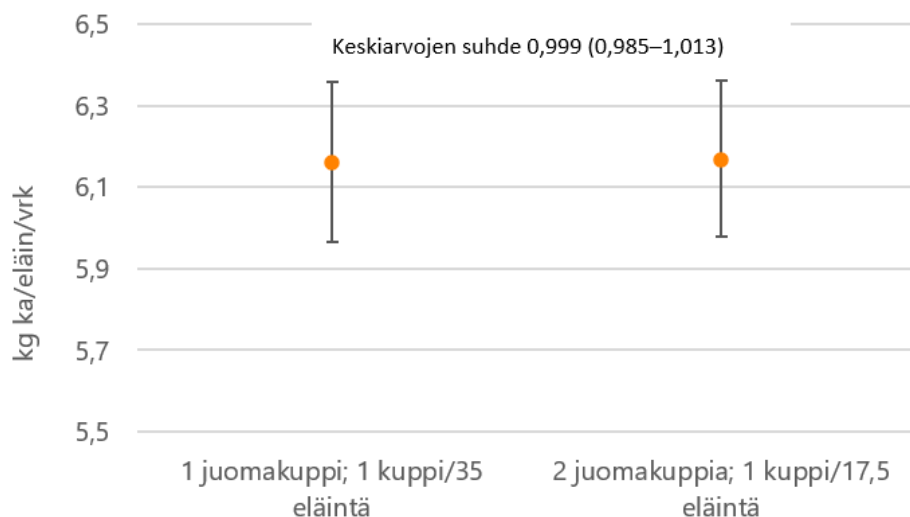
Kuva 7. Juomaveden kulutus eläintä kohden karsinoissa 1 ja 2 kokeen aikana. Havaintojen puuttuminen johtui häiriöistä vedenkulutuksen tallentumisessa. Koejaksojen vaihtuminen on osoitettu kuvassa pystyviivoilla. Eläinten käyttäytymisen ja yksilökohtaisen vedenkulutuksen mittausajankohdat on merkitty kuvaajiin punaisella pisteellä.

Sonnit joivat vuorokaudessa keskimäärin 9,7 litraa vettä (Kuva 8). Koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa vedenkulutus oli keskimäärin 0,104 l/vrk/eläin vähemmän kuin koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa (95 % todennäköisyysväli -0,934–0,727). Tämän perusteella voidaan todeta, että koekäsittelyt olivat ± 10 % tarkkuudella samanlaiset, ja koekäsittelyillä 1 tai 2 juomakuppia karsinassa ei ollut vaikutusta eläinten yksilökohtaiseen juomaveden kulutukseen.



Kuva 8. Juomaveden kulutus (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu yhden vuorokauden ajalta mitattuihin yksilökohtaisiin juomaveden kulutuksiin koejaksoilla 1 ja 2. Keskiarvojen erotus ja 95 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

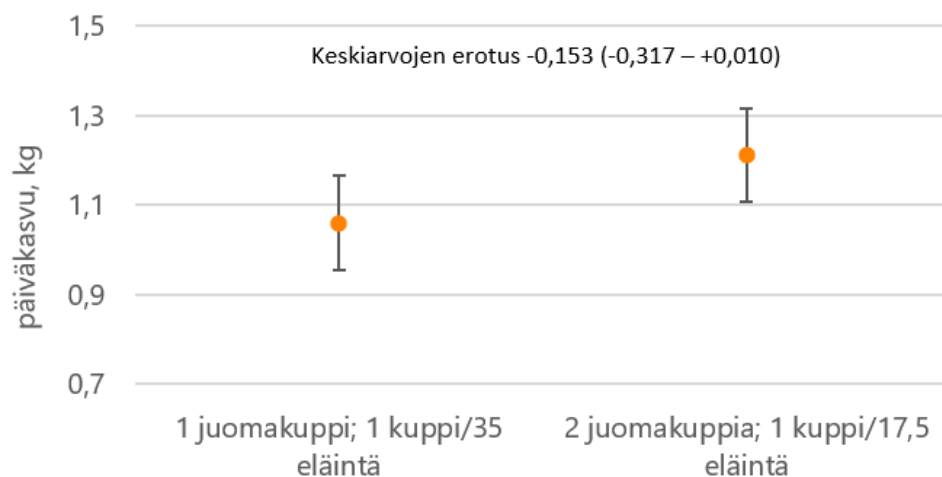
Sonnit söivät vuorokaudessa keskimäärin 6,2 kg rehua kuiva-aineena laskettuna. Koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa sonnit syövät keskimäärin 0,1 % vähemmän rehua kuin koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa (suhdeluku 0,999, 95 % todennäköisyysväli 0,985–1,013). Tämän perusteella voidaan todeta, että koekäsittelyt olivat ±1 % tarkkuudella samanlaiset, ja koekäsittelyillä 1 tai 2 juomakuppia karsinassa ei ollut vaikutusta eläinten yksilökohtaiseen rehun syöntiin (Kuva 9).



Kuva 9. Eläinkohtainen rehunkulutus kuiva-aineena (ka) laskettuna (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu koejaksoilla 1 ja 2 mitattuihin päivittäisiin yksilökohtaisiin vuorokausisyönteihin. Keskiarvojen suhde ja 95 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

Sonnit kasvoivat vuorokaudessa keskimäärin 1,136 kg (Kuva 10). Koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa kasvu oli keskimäärin 0,153 kg/vrk pienempi kuin koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa (95 % todennäköisyysväli -0,317–0,010). Koekäsittely (1 tai 2 juomakuppia karsinassa) vaikutti siten eläinten kasvuun ja koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa eläimet kasvoivat heikommin yli 95 % todennäköisyydellä.

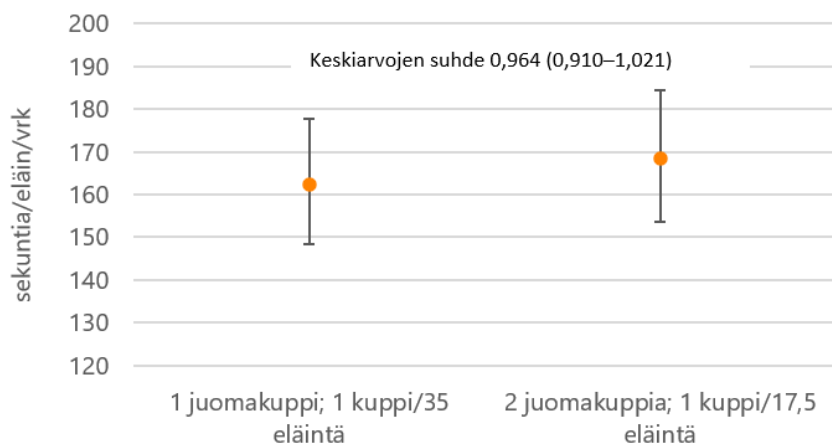
Tässä on huomioitava, että sonnien täsmällisen kasvun todentaminen lyhyellä mittausjaksolla on hyvin haastavaa johtuen suurista eläimen painon heilahteluista esimerkiksi rehun syöntimääriin liittyen.



Kuva 10. Sonnit kasvun päiväkäsvely (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu eläinten punnituksiin koejaksoilla 1 ja 2. Keskiarvojen erotus ja 95 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

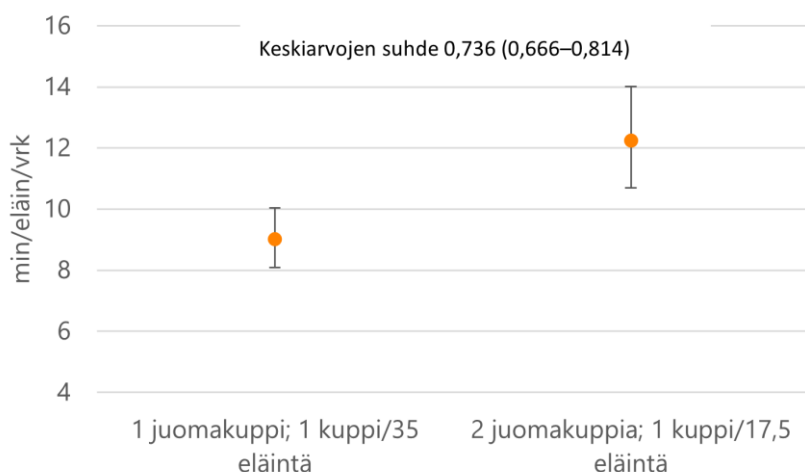
7.3.4. Juomiskäyttäytyminen

Sonnit joivat vuorokaudessa keskimäärin alle 3 minuutin ajan (165 sekuntia) (Kuva 11). Koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa juomiseen käytetty aika oli keskimäärin 3,6 % pienempi kuin koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa (suhdeluku 0,964, 90 % todennäköisyysväli 0,910–1,021). Tämän perusteella voidaan todeta, että koekäsittelyt olivat ± 10 % tarkkuudella samantyyppiset. Koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa juomiseen käytetty aika oli 82,3 % todennäköisyydellä pienempi kuin koekäsittelyllä kaksi juomakuppia karsinassa. Juomiseen keskimäärin käytetyn ajan (165 s) ja juomaveden keskimääräisen kulutuksen (9,7 l) perusteella sonnien laskennallinen juomisnopeus oli keskimäärin 3,5 l/min.



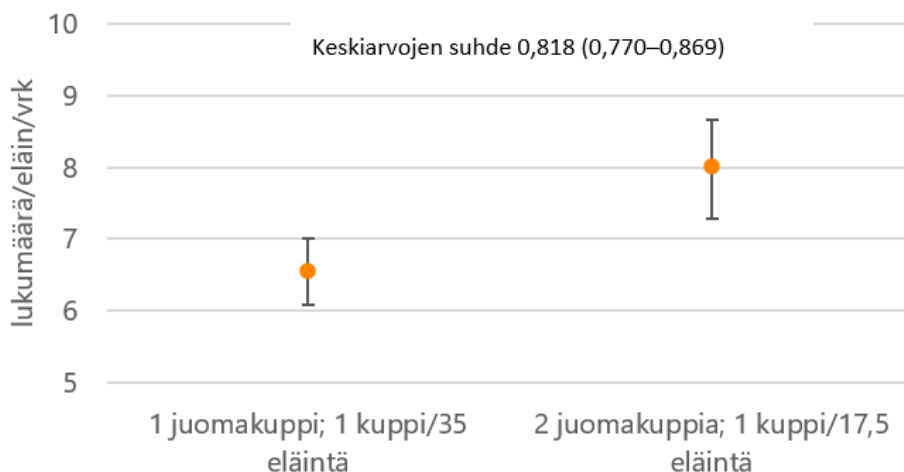
Kuva 11. Juomiseen käytetty aika (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu yhden vuorokauden ajalta tehtyyn käyttäytymisen analyysiin koejaksoilla 1 ja 2. Keskiarvojen suhde ja 90 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

Sonnit viettivät juomakupilla kaikkiaan keskimäärin 12,2 minuuttia päivässä koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa ja 9,0 minuuttia koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa (Kuva 12). Koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa juomakupilla vietetty aika oli keskimäärin 26,4 % pienempi kuin koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa (suhdeluku 0,736, 90 % todennäköisyysväli 0,666–0,814). Juomakupilla vietetty aika oli yli 99,9 % todennäköisyydellä pienempi koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa verrattuna koekäsittelyyn 2 juomakuppia karsinassa. Kun juomakupilla kaikkiaan vietetty aika vähentyi koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa, juomiseen käytetty aika ei vähentynyt (Kuvat 11 ja 12) vaan muu oleskelu kupilla kuten rakenteisiin hankaaminen, rakenteiden manipulointi suulla, märehtiminen ja ympäristön tarkkaileminen väheni.



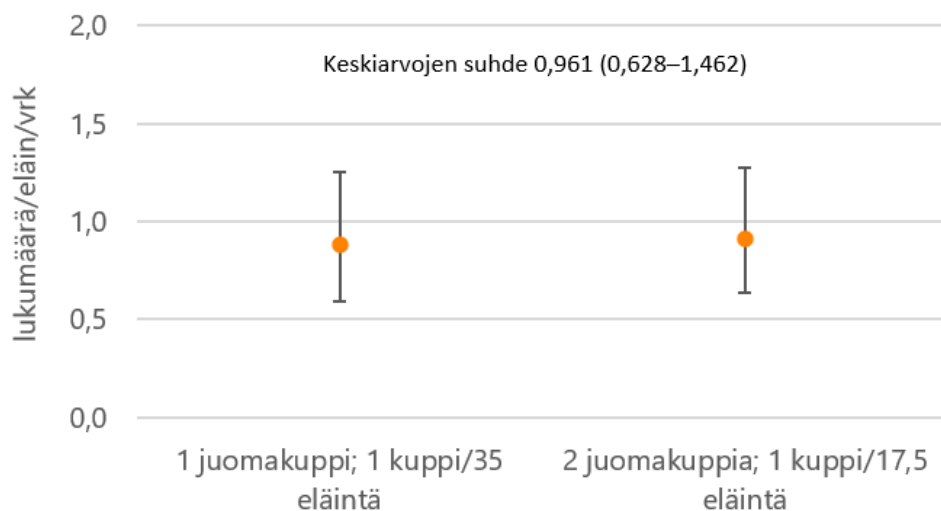
Kuva 12. Juomakupilla kaikkiaan vietetty aika (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu yhden vuorokauden ajalta tehtyyn käyttäytymisen analyysiin koejaksoilla 1 ja 2. Keskiarvojen suhde ja 90 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

Koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa vesiaterioita (juomiskertoja) oli sonnia kohden vuorokaudessa keskimäärin 8,0 kpl ja koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa 6,6 kpl (Kuva 13). Koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa vesiaterioita oli keskimäärin 18,2 % vähemmän kuin koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa (suhdeluku 0,818, 90 % todennäköisyysväli 0,770–0,869). Koekäsittely (1 tai 2 juomakuppia karsinassa) vaikutti siten eläinten vesiaterioiden lukumäärään ja koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa vesiaterioiden lukumäärä oli pienempi yli 99,9 % todennäköisyydellä.

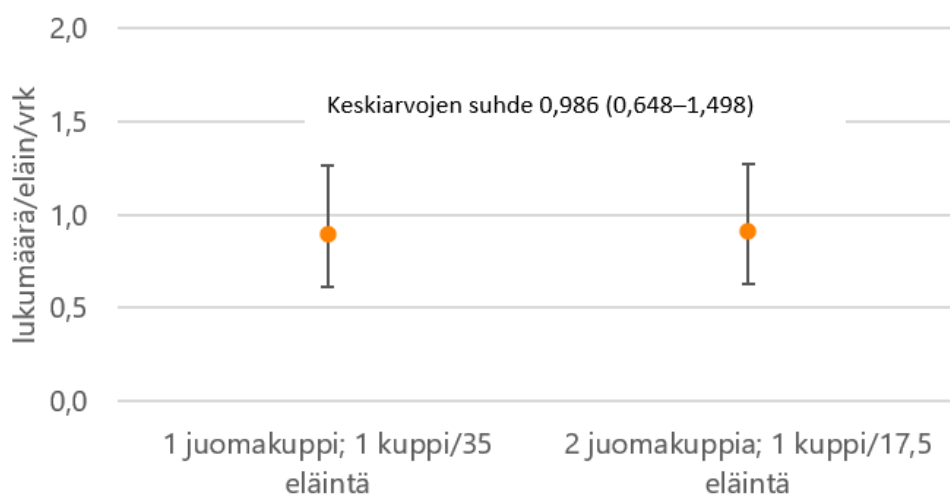


Kuva 13. Vesiaterioiden (juomiskertojen) lukumäärä (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu yhden vuorokauden ajalta tehtyyn käyttäytymisen analyysiin koejaksoilla 1 ja 2. Keskiarvojen suhde ja 90 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

Sonni syrjäytti tai poisti toisen eläimen juomakupilta keskimäärin 0,9 kertaa vuorokaudessa (Kuva 14). Vastaavasti sonni tuli syrjäytetyksi tai poistetuksi juomakupilta 0,9 kertaa vuorokaudessa (Kuva 15). Kummallakin käyttäytymismuuttujalla keskiarvojen suhdeluvun 90 % todennäköisyysväli oli suuruusluokkaa 0,6–1,5. Molempien käyttäytymismuuttujien tulos on epätarkka ja tulosten perusteella ei voida päätellä, että syrjäytysten lukumäärä tai syrjäytymisten lukumäärä poikkesi koekäsittelyjen välillä, tai että lukumäärät olisivat samankaltaiset koekäsittelyjen välillä. Jotta syrjäyttämistä ja syrjäytetyksi tulemistä voitaisiin tutkia luotettavasti, mitausjakson pituuden tulisi olla vähintään 2–4 kertainen tässä kokeessa käytettyyn.

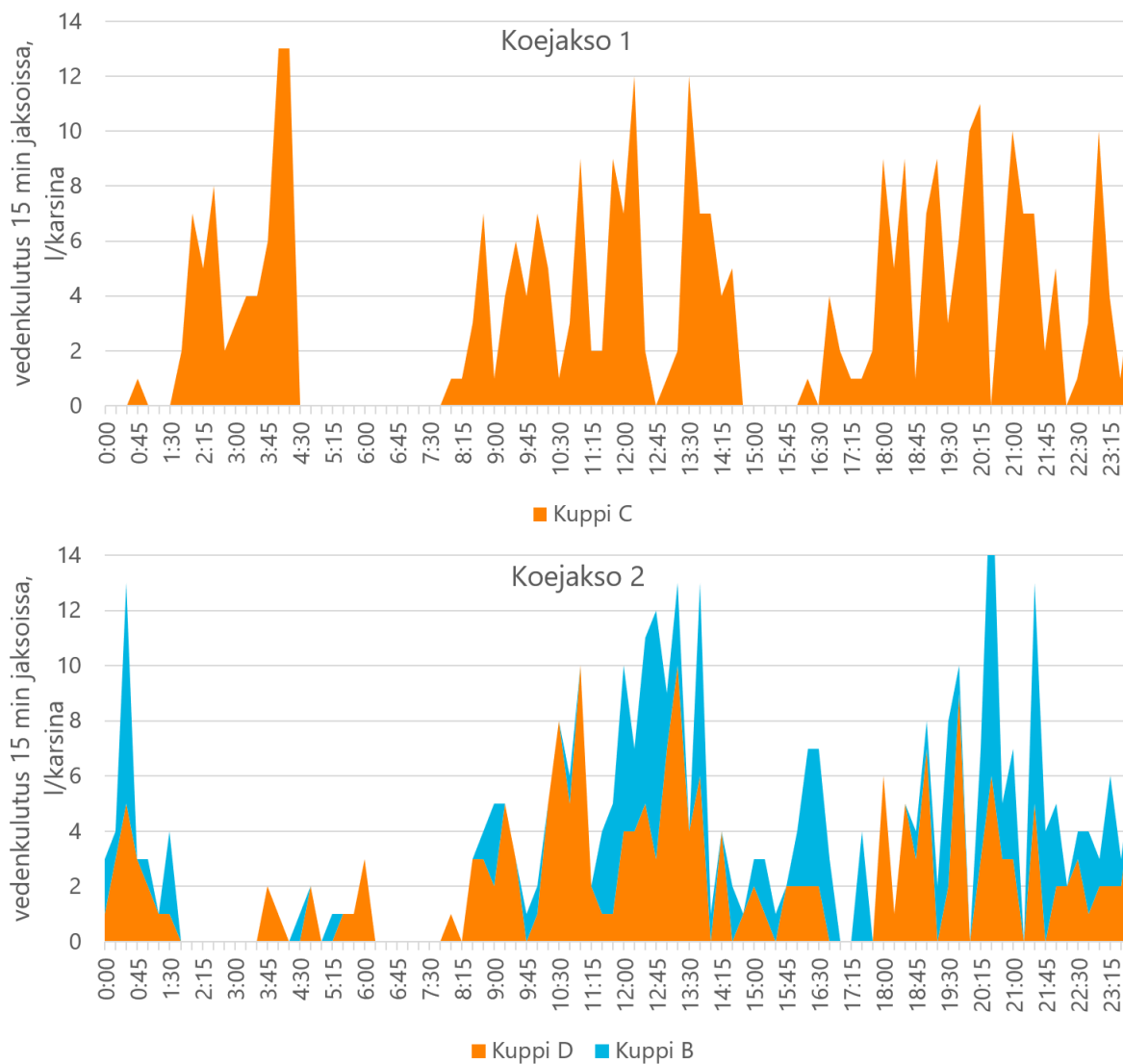


Kuva 14. Toisen eläimen juomakupilta syrjäyttämisen lukumäärä (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu yhden vuorokauden ajalta tehtyyn käyttäytymisen analyysiin koejaksoilla 1 ja 2. Keskiarvojen suhde ja 90 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

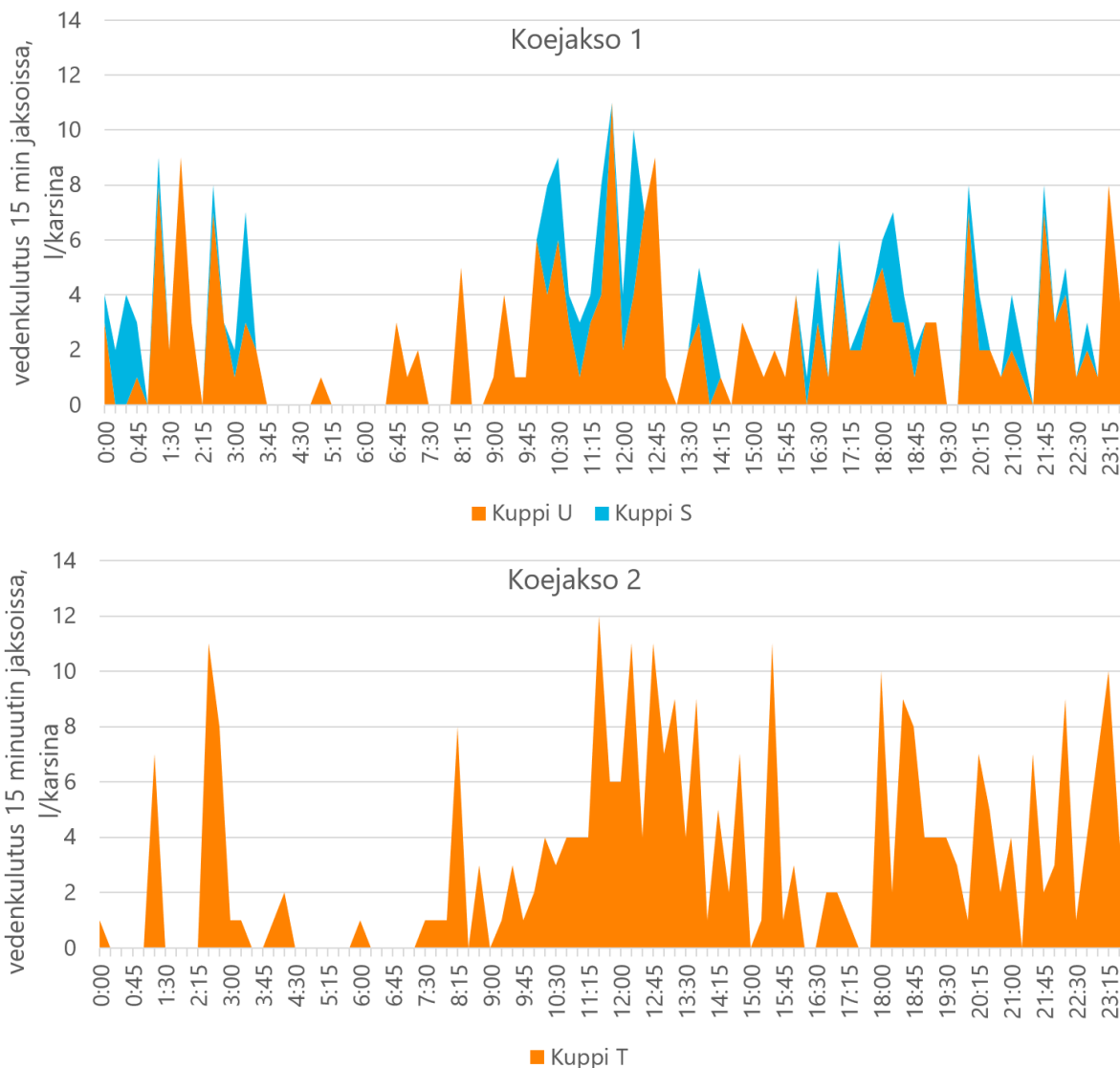


Kuva 15. Juomakupilta syrjäytetyksi tulemisen lukumäärä (malliestimoitu keskiarvo ja 95 % todennäköisyysväli) koekäsittelyillä 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi per 35 eläintä) ja 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi per 17,5 eläintä). Tulos perustuu yhden vuorokauden ajalta tehtyyn käyttäytymisen analyysiin koejaksoilla 1 ja 2. Keskiarvojen suhde ja 90 % todennäköisyysväli on esitetty kuvassa.

Sonnien suurin vedenkulutusjakso oli aamupäivällä ennen ruokintaa ja sen jälkeen (noin klo 9–14) sekä illalla klo 18 jälkeen (Kuvat 16 ja 17). Eläinten havaittiin kuluttavan juomavettä myös yöllä. Juomakupin käyttö oli vähäisintä eläinten iltapäivälevon aikaan sekä aamuyöllä ja aamulla.



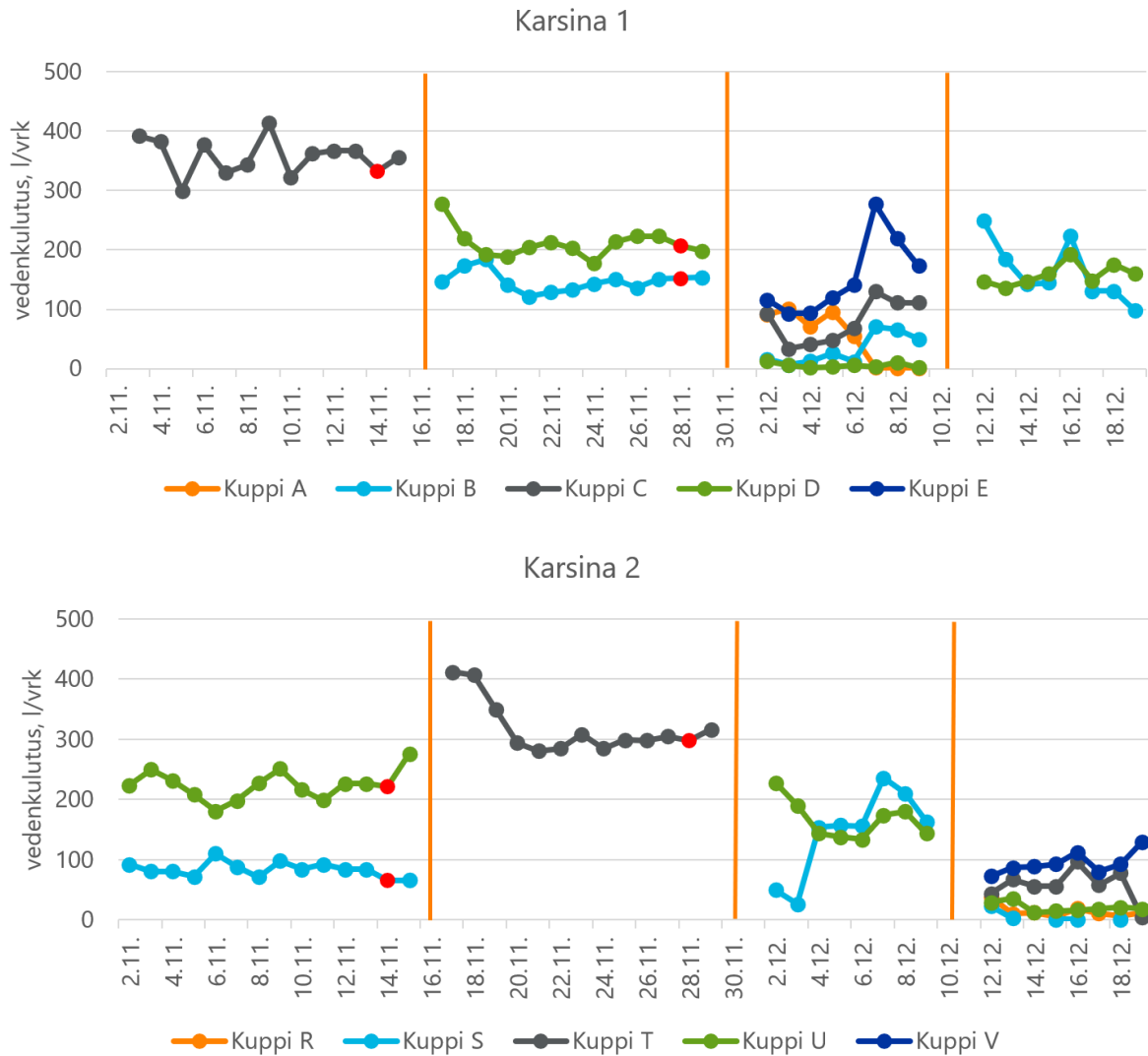
Kuva 16. Juomaveden kulutuksen jakautuminen vuorokaudelle 15 minuutin jaksoissa karsinassa 1 käyttäytymistarkkailuvuorokausina koejaksoilla 1 ja 2. Sonnit ruokittiin klo 10:00–11:00 välillä.



Kuva 17. Juomaveden kulutuksen jakautuminen vuorokaudelle 15 minuutin jaksoissa karsinassa 2 käyttäytymistarkkailuvuorokausina koejaksoilla 1 ja 2. Sonnit ruokittiin klo 10:00–11:00 välillä.

7.3.5. Juomaveden kuppikohtainen kulutus

Sonnit eivät käyttäneet juomakuppeja tasaisesti koekäsittelyillä, joissa kuppeja oli samaan aikaan useampia käytettävissä (Kuva 18). Koekäsittelyllä 2 juomakuppia karsinassa etenkin karsinassa 2 juomakuppien käyttö oli epätasaista. Koekäsittelyllä 5 juomakuppia karsinassa juominen keskittyi 2–3 juomakuppiin molemmissa karsinoissa.



Kuva 18. Juomaveden kuppikohtainen kulutus karsinoissa 1 ja 2 kokeen aikana. Eläinten lukumäärää karsinoissa ei ole huomioitu. Havaintojen puuttuminen johtuu häiriöistä vedenkulutuksen tallentumisessa. Koejaksojen vaihtuminen on osoitettu kuvassa pystyviivoilla. Eläinten käyttäytymisen ja yksilökohtaisen vedenkulutuksen mittaussajakohdat on merkitty kuvaajiin punaisella pisteellä.

7.4. Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa vertailtiin juomakuppimitoituksia nuorilla sonneilla. Koekäsittelyt olivat 1 juomakuppi karsinassa (1 kuppi/35 eläintä, lainsäädännön minimivaatimuksen alittava mitoitus), 2 juomakuppia karsinassa (1 kuppi/17,5 eläintä, lainsäädännön minimivaatimuksen täyttävä mitoitus) ja 5 juomakuppia karsinassa (1 kuppi/7 eläintä, runsas mitoitus). Tulosten tilastollisissa analyyseissä keskityttiin vertailemaan tutkimuskysymyksen kannalta tärkeimpiä käsitteitä eli 1 kuppi karsinassa ja 2 kuppia karsinassa (koejaksot 1 ja 2), koska koejaksoilla 3 ja 4 esiintyi teknisiä ja odottamattomia ongelmia.

Sonneille oli tarjolla juomakupeista enimmäkseen lämmintä tai hyvin lämmintä juomavettä, mutta vaihteluväli oli hyvin laaja (+1–31 celsiusastetta) etenkin kokeen jälkimmäisellä puoliskolla (koejaksot 3 ja 4). Koe tehtiin eristämättömässä pihatossa syystalvella, joten eläimet

mahdollisesti hyötyivät lämpimästä juomavedestä. Eläinten keskimääräiset vedenkulutuskäyrät seurailivat toisiaan karsinoissa 1 ja 2 läpi kokeen. Vedenkulutuksissa oli päiväkohtaista vaihtelua, jota esimerkiksi rehun kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu voi selittää. Rehun kuiva-ainepitoisuuden vaikutusta vedenkulutukseen ei kuitenkaan erikseen selvitetty tässä kokeessa.

Juomaveden eläinkohtaisessa kulutuksessa ei ollut eroa koekäsittelyjen 1 tai 2 juomakuppia karsinassa välillä. Kulutus oli keskimäärin 9,7 litraa vuorokaudessa, mikä on yhtenevä Mononen ym. (2022) tekemän kasvavien sonnien vedenkulutuksen mallinnuksen kanssa. Sonnien juomaveden kulutus oli jonkin verran pienempi kuin kirjallisuudessa kasvavilla lihanaudoilla on yleensä raportoitu (15–42 l/vrk, Tuomisto ym. 2022). Monet seikat, kuten eläimen koko, ympäristön lämpötila ja rehun kuiva-ainepitoisuus (Golher ym. 2020), voivat vaikuttaa nautojen vedenkulutukseen ja ainakin osittain selittää kokeessamme havaittua keskimääräistä pienempää vedenkulutusta. Rehun syönnissä ei kokeessamme ollut eroa koekäsittelyjen 1 tai 2 juomakuppia karsinassa välillä. Tämä tukee olettamusta, että eläimet saivat molemmilla käsittelyillä riittävästi vettä juodakseen, koska veden riittämätön saanti vähentää nautoilla rehun syöntiä (Utley ym. 1970, Little ym. 1978).

Eläinten päiväkasvu oli keskimäärin 150 g pienempi koekäsittelyllä 1 juomakuppi karsinassa kuin 2 juomakuppia karsinassa. Juomaveden kulutus tai rehun syönti eivät selitä heikompaa kasvua koekäsittelyllä 1 kuppi karsinassa, koska niissä ei ollut eroa koekäsittelyjen välillä. Käyttäytymistarkkailuissa ei myöskään havaittu lisääntyneitä eläinten aktiivisuutta koekäsittelyllä 1 kuppi karsinassa, mikä selittäisi mitattua heikompaa kasvua. Todennäköisintä on, että kasvun mittaamiseen liittyy menetelmällinen heikkous. Sonnien kasvun todentaminen täsmällisesti on lyhyellä mittausjaksolla hyvin haastavaa johtuen suurista eläimen painon heilahteluista esimerkiksi rehun syöntimääriin liittyen. Eläinten punnituksia tulisi tehdä huomattavasti tiheämmin kuin tässä kokeessa tehtiin tai vaihtoehtoisesti mittausjakson tulisi olla huomattavasti pidempi.

Sonnien juomiseen käyttämä aika, alle 3 minuuttia, on yhtenevä kirjallisuuden kanssa. Altaasta vapaasta veden pinnasta juotuna juomisaika on ollut nautoilla 2–9 min (Tuomisto ym. 2022). Juomalaitteen tyyppi ja veden virtausnopeus vaikuttavat juomisaikaan; hidas virtaus ja läppäkupit kasvattavat juomisaikaa. Lehmillä hyvin hidas veden virtaus juomakuppiin (2 l/min) paitsi lisäsi juomiseen käytettyä aikaa myös vähensi juodun veden määrää 11–14 %:lla (9–13 litralla) vuorokaudessa verrattuna nopeaan virtaukseen (12 l/min) (Andersson ym. 1984). Kokeessamme lyhyt juomisaika voi kertoa siitä, että sonneilla ei ollut ongelmia veden juonnissa. Sonnit saivat juoda vapaasta veden pinnasta, veden virtaus altaaseen oli riittävä ja sonnit osasivat siirtää kelluvan pallon sivuun turvallaan yltäkseen veteen. Kokeessamme sonnien laskennallinen juomisnopeus, 3,5 litraa minuutissa, on pienempi kuin aikuisilla nautoilla on raportoitu. Lehmien on mitattu juovan vapaasta veden pinnasta 6–15 litraa minuutissa (Castle & Thomas 1975). Eri ikäisten eläinten kokoero voi selittää eroa juomisnopeudessa.

Koekäsittelyllä 1 kuppi karsinassa eläimet viettivät kaikkiaan vähemmän aikaa juomakupilla kuin koekäsittelyllä 2 kuppia karsinassa. Tämä tarkoittaa sitä, että koska veden juomiseen käytetty aika pysyi ennallaan, muihin juomakupilla tapahtuviin toimintoihin, kuten rakenteisiin hankaamiseen, rakenteiden nuolemiseen ja suulla manipuloimiseen, ympäristön tarkkailemiseen ja märehkimiseen käytetty aika vähentyi, kun eläimillä oli käytössään vain 1 juomakuppi. Koekäsittelyllä 1 kuppi karsinassa myös vesiaterioiden lukumäärä oli pienempi kuin koekäsittelyllä 2 kuppia karsinassa. Juomiskäyttäytymisen voidaan ajatella ”tiivistyneen”, kun eläinten käytössä oli yksi juomakuppi. Naudat ovat tyyppillisesti päiväaktiivisiä juojia ja juomiskertoja on vain muutamia vuorokaudessa. Vesiaterioiden lukumäärä kokeessamme (6,6–8 vesiateriaa/vrk) on yhteneväinen kirjallisuuden kanssa (Tuomisto ym. 2022). Juomisen rytmittyminen ruokinnan yhteyteen on myös tyyppillistä nautoille pihatoissa.

Kun juomakuppeja oli eläinten käytössä useampia, sonnit eivät käyttäneet niitä tasaisesti. Käsitteilyllä 5 kuppia karsinassa juominen keskittyi 2–3 kuppiin. Juomaveden lämpötilassa oli vaihtelua ja se mahdollisesti vaikutti eläinten halukkuuteen käyttää eri kuppeja, mutta tätä ei voitu tilastollisesti testata. Kirjallisuudessa raportoiduissa lihanautojen juomavesikokeissa on käytetty erilaisia koeasetelmia ja mittareita ja niiden tuloksista on siten vaikea tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä. Sisäkasvatetut ja juotolta vieroitettut alle 6,5 kuukauden ikäiset maitorotuiset vasikat joivat suuntaa antavasti enemmän lämmintä (16–18 °C) kuin kylmää (6–8 °C) vettä (Huuskonen ym. 2011). Kuumissa olosuhteissa (31–34 °C) brittiläisiin rotuihin kuuluivat hiehot ja härät hyötyivät tuotantomittareilla mitattuna jäädytetystä juomavedestä (18,3 vs. 32,2 °C) (Lofgreen ym. 1975). Talviolosuhteissa (-14,3–(-5,9) °C) härkien vedenkulutuksessa ei ollut eroa tarjottaessa niille vesi jäätävänä tai lämpimänä (30 °C) (Degen & Young 1984). Varsinaisia valintakoikeita, joissa eläimet olisivat saaneet valita usean erilämpöisen juomaveden välillä, ei lihanautoilla ole raportoitu. Lehmillä kesäaikaan tehdyssä valintakokeessa eläimet osoittivat selkeän preferenssin lämpimälle vedelle (30 vs. 10 °C) (Wilks ym. 1990). Juomakupin valintaan vaikuttivat mahdollisesti myös nautojen sosiaalisuus ja taipumus synkronoida käyttäytymistään sekä juomakupin sijainti. Juomakupin puhtaus sen sijaan ei todennäköisesti ollut valintaan vaikuttavana tekijänä, koska juomakupit puhdistettiin perusteellisesti ja säännöllisesti (10–14 vrk välein) läpi kokeen.

Nautojen juomapaikkamitoitusta on tutkittu vähän tai ei lainkaan, mutta saamamme tulokset ovat samansuuntaisia pienillä märehitijöillä ja sioilla tehtyjen juomapaikkamitoituskokeiden kanssa. Erilaisilla mitoituksilla (koekäsittelyt välillä 7,5 eläintä/juomanippa ja 30 eläintä/juomanippa) ei ollut vaikutusta juomaveden kulutukseen vuohilla, lampailla tai sioilla (Turner ym. 1999, Ehrlenbruch ym. 2010, Bøe ym. 2012). Kuten meidän kokeessamme, myös näissä kokeissa juomapaikkamitoitus vaikutti kuitenkin eläinten käyttäytymiseen. Esimerkiksi jonottaminen nipalle ja syrjäytykset vesinipalta lisääntyivät ja vesiaterioiden lukumäärä väheni, kun eläinten määrää vesinippaa kohden lisättiin (Turner ym. 1999, Ehrlenbruch ym. 2010, Bøe ym. 2012).

Tämä tutkimus tehtiin viileään/kylmään vuodenaikaan nuorilla sonneilla, joilla oli käytössään juomalaite, joka mahdollisti vapaasta veden pinnasta juomisen. Kokeessa saatuja tuloksia ei voida suoraan yleistää koskemaan vanhempia eläimiä, eri vuodenaikoja ja erilaisia juomalaitteita. Voidaan kuitenkin ajatella, että tilanteissa, joissa eläinten vedentarve on suurempi (kesäaika, rehun suurempi kuiva-ainepitoisuus, eläinten suurempi koko) tai juomisnopeus on hidastunut juomalaitteesta johtuen (veden hidas virtaus, läppäkuppi), juomapaikkojen vähentämisen vaikutus eläinten hyvinvointiin on suurempi kuin tässä kokeessa.

7.5. Johtopäätökset

Koekäsittelyjen (1 kuppi/35 eläintä ja 1 kuppi/17,5 eläintä) välillä ei ollut eroa vedenkulutuksessa tai rehun syönnissä. Kansallisen lainsäädännön minimivaatimuksen alittava juomapaikkamitoitus (1 kuppi/35 eläintä) vaikutti kuitenkin eläinten juomiskäyttäytymiseen: vesiaterioiden (juomiskertojen) lukumäärä väheni ja juomakupilla kaikkiaan vietetty aika väheni. Huomioiden, että kokeessa käytettiin nuoria eläimiä, vuodenaika oli viileä ja että juomavesi tarjottiin altaasta, kokeen tulokset voivat viitata siihen, että juomapaikkamitoitus 1 kuppi/35 eläintä on riittämätön lihanautoilla.

7.6. Viitteet

- Andersson, M., Schaar, J. & Wiktorsson, J. 1984. Effects of drinking water flow rates and social rank on performance and drinking behaviour in tied-up dairy cows. *Livestock Production Science* 11: 559–610.
- Bøe, K.E., Jørgensen, G.H.M. & Andersen, I.L. 2012. Effect of increasing the number of pregnant ewes per nipple drinker on water intake, feed intake and drinking behaviour. Some preliminary results. *Small Ruminant Research* 108: 28–31.
- Castle, M.E. & Thomas, T.P. 1975. The water intake of British Friesian cows on rations containing various forages. *Animal Production* 20: 181–189.
- Coimbra, P.A.D., Machado Filho, L.C.P. & Hötzel, M.J. 2012. Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. *Applied Animal Behaviour Science* 139: 175–182.
- Degen, A.A. & Young, B.A. 1984. Effects of ingestion of warm, cold and frozen water on heat balance in cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 64: 73.
- Ehrlenbruch, R., Polleninger, T., Andersen, I.L. & Bøe, K.E. 2010. Competition for water at feeding time -The effect of increasing number of individuals per water dispenser. *Applied Animal Behaviour Science* 126: 105–108.
- Golher, D.M., Patel, B.H.M., Bhoite, S.H., Syed, M.I., Panchbhai, G.J. & Thirumurugan, P. 2021. Factors influencing water intake in dairy cows: a review. *International Journal of Biometeorology* 65: 617–625.
- Huuskonen, A., Tuomisto, L. & Kauppinen, R. 2011. Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 94: 2475–2480.
- Little, W., Sansom, B.F., Manston, R. & Allen, W.M. 1978. The effects of reducing the water intake of lactating dairy cows by 40% for 3 weeks. *Animal Production* 27: 79–87.
- Lofgreen, G.P., Givens, R.L., Morrison, S.R. & Bond, T.E. 1975. Effect of drinking water temperature on beef cattle performance. *Journal of Animal Science* 40: 223–229.
- McDonald, P.V., von Keyserlingk, M.A.G. & Weary, D.M. 2020. Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science* 103: 3447–3458.
- Mononen, J., Tuomisto, L., Heikkinen, J. & Huuskonen, A. 2022. Kasvavien sonnien juomaveden kulutuksen mallintaminen. Julkaisussa: Huuskonen, A. & Manni, K. (toim.). *Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 114–123.*
- Tuomisto, L., Mononen, J. & Huuskonen, A. 2022. Kasvavien lihanautojen veden kulutus – kirjallisuuskatsaus. Julkaisussa: Huuskonen, A. & Manni, K. (toim.). *Resurssiviisas ja kilpailukykyinen naudanlihantuotanto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 87–113.*
- Turner, S.P., Edwards, S.A. & Bland, V.C. 1999. The influence of drinker allocation and group size on the drinking behaviour, welfare and production of growing pigs. *Animal Science* 68: 617–624.

- Utley, P.R., Bradley, N.W. & Boling, J.A. 1970. Effect of restricted water intake on feed intake, nutrient digestibility and nitrogen metabolism in steers. *Journal of Animal Science* 31: 130–135.
- Valtioneuvoston asetus nautojen suojelusta 592/2010. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20100592>. Viitattu 16.7.2021
- Wilks, D.L., Coppock, C.E., Lanham, J.K., Brooks, K.N., Baker, C.C., Bryson, W.L., Elmore, R.G. & Stermer, R.A. 1990. Responses of lactating Holstein cows to chilled drinking water in high ambient temperatures. *Journal of Dairy Science* 73: 1091–1099.
- Welfare Quality® 2009. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands. Saatavissa: <http://www.welfarequalitynetwork.net/en-us/reports/assessment-protocols>. Viitattu: 1.3.2021.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000