



■ LUONNONVARA-ALA

KUVAA NAUTAA

- LÄMPÖKUVANTAMISEN HYÖDYNTÄMINEN
SORKKIEN JA POIKIMAHALVAUSTEN SEURANNASSA

TEKIJÄT: Lilli Frondelius, Inka Nykänen, Heli Lindeberg, Matti Pastell,
Tarja Koistinen, Annu Palmio ja Salla Ruuska

Kuvaa Nautaa

– lämpökuvantamisen hyödyntäminen sorkkien ja poikimahalvausten seurannassa

Lilli Frondelius, Inka Nykänen, Heli Lindeberg, Matti Pastell,
Tarja Koistinen, Annu Palmio ja Salla Ruuska



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Savonia-ammattikorkeakoulu
Julkaisutoiminta
PL 6
70201 KUOPIO
julkaisut@savonia.fi

Copyright © tekijät ja Savonia-ammattikorkeakoulu
Teksti, kuvat ja taulukot CC BY-SA 4.0

1. painos

ISBN 978-952-203-293-5 (nid.)
ISBN 978-952-203-289-8 (PDF)
ISSN 2343-5496

Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja 5/2021
Kustantaja: Savonia-ammattikorkeakoulu
Taitto ja ulkoasu: Tapio Aalto
Painopaikka: Grano Oy, Kuopio 2021

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	5
Abstract	6
Resúmen	7
Esipuhe	9
1. Johdanto	11
2. Lämpökuvauksen peruskäsitteet ja lämpökameran toimintaperiaate	13
2.1 Lämpösäteily myös heijastuu – heijastuvan lämmön huomioiminen lämpökuvauksessa	13
2.2 Ilman aiheuttaman vaimennuksen vaikutus ja ilman oma lämpösäteily	15
2.3 Lämpökamera tarvitsee taustatiedot	15
3. Lämpökamera mittausvälineenä	17
3.1 Resoluutio	17
3.2 Mittaustarkkuus ja erotteluherkkyys	17
3.3 Mittaustulosten toistettavuus ja lämpökuvien vertailukelpoisuus	18
3.4 Miten lämpökuvataan eli oikea kuvaustekniikka	19
3.4.1 Lämpökuvaukseen valmistautuminen	19
3.4.2 Tarkennus	20
4. Kuvaa Nautaa -hankkeessa testatut lämpökamerat	23
5. Millainen lämpökamera soveltuu nautojen lämpökuvaukseen?	25
5.1 Pölyä, roiskeita ja pakkasta - lämpökamera koviin olosuhteisiin	25
5.2 Kuvaa ja tulkitse heti -tyyppisen kuvaamisen tuomat erityisvaatimukset	25
5.3. Kunnolliset mittaustyökalut	27
5.4 Tarkennus toimii, mutta tähtääkö käsi?	28
5.5 Hyvällä resoluutiolla yksityiskohdat esiin	28
5.6 Saako halvalla riittävän hyvää?	29
6. Tutkittua tietoa lämpökuvien tulkintaohjeiden takana	31
6.1. Utareterveyden seuranta lämpökuvantamisen avulla	31
6.1.1 Miten utareterveyttä tutkittiin?	31
6.1.2 Lämpökuvien analysointi	32
6.1.3 Tulokset ja pohdinta	33
6.2 Sorkkaterveyden seuranta lämpökuvantamisen avulla	35
6.2.1 Miten sorkkaterveyttä tutkittiin?	35
6.2.2 Lämpökuvien analysointi	36
6.2.3 Tulokset ja pohdinta	37
6.3. Poikimisen ja poikimahalvausten seuranta lämpökuvantamisen avulla	40
6.3.1 Miten poikimahalvausta ja poikimisen lähestymistä tutkittiin?	40
6.3.2 Lämpökuvien analysointi	41
6.3.3. Tulokset ja pohdinta	43
7. Lämpökuvausohjeet – teoriasta ja tutkimustuloksista navettakäyttöön soveltuviksi lämpökuvien tulkintaohjeiksi	47
7.1 Havaitse sorkkaongelmat ajoissa – miten sorkkakuvia otetaan ja tulkitaan	47
7.1.1 Sorkkien lämpökuvaaminen	47
7.1.2 Miten sorkkien lämpökuvia tulkitaan?	48
7.2 Havaitse poikimahalvaus ajoissa – lämpökuvien ottaminen ja tulkinta	51
7.2.1 Miten poikimahalvauksen havainnointi tehdään lämpökameralla?	51
7.2.2 Miten poikimahalvauskuvia tulkitaan?	52

8. Pohdinta - Lämpökuvauksessa on potentiaalia	55
8.1 Lämpökuvien tulkinnan haasteita	55
8.2 Lämpökuvauksen mahdollisuudet	56
8.3 Yhteenveto	57
9. Lähteet	58
10. Liitteet	61

Tiivistelmä

Lämpökuvauksen mahdollisuudet kiinnostavat viljelijöitä, sillä karjakoon kasvaessa nautojen hyvinvoinnin seurantaan tarvitaan apuvälineitä. Kuvaa Nautaa – lämpökuvaus nautojen hoidossa -hankkeen (KuNa, 2018-2021) tavoitteena olikin tutkia, voiko lämpökuvausta käyttää nautojen terveyden seurannan apuvälineenä. Lisäksi selvitettiin, millainen lämpökamera soveltuu nautojen kuvantamiseen. Hankkeessa tehtyjen tutkimusten perusteella luotiin tieteeseen perustuvat ohjeet sorkkaterveyden ja poikimahalvausten seurantaan tukevien lämpökuvien tulkintaan.

Hankkeen tutkimuksissa selvisi, että perinteiset utaretulehduksen määritysmenetelmät toimivat utareterveyden seurannassa lämpökuvantamista paremmin. Poikima-ajankohtaa ei myöskään pystytty ennustamaan lehmän pinalämpötilan muutosten perusteella. Sen sijaan lämpökuvantamisesta oli apua poikimahalvausten ja sorkkaterveyden tarkkailussa. Tulosten perusteella nautan pinalämpötila laskee aina poikimisen jälkeen merkittävästi, mutta voimakkaampi pinalämpötilan lasku on todennäköisesti yhteydessä alentuneeseen veren kalsiumpitoisuuteen ja siten sekä piilevään että kliiniseen poikimahalvaukseen. Myös sorkkaterveyden arvioinnissa voitiin hyödyntää lämpökuvantamista, sillä ainakin vakavat sorkkasairaudet nostivat sorkan ruununrajan pinalämpötilaa.

Tutkimustulosten avulla luotiin lämpökuvien tulkintaohjeet sorkkaterveyden ja poikimahalvausriskin havainnointiin. Sorkkien osalta ohjeistettiin mittaamaan sorkan maksimipinalämpötilaa ja vertaamaan sitä tutkimusaineiston pohjalta luodun mallin ennustamaan sorkan pinalämpötilaan Sorkkalaskurilla. Sorkan lämpötilan lisäksi Sorkkalaskuri huomioi myös kuvausympäristön lämpötilan ja tiedon, onko kyseessä etu- vai takajalka. Jos sorkan maksimipinalämpötila poikkeaa Sorkkalaskurin ennusteesta $+2^{\circ}\text{C}$ tai enemmän, sorkkaa suositellaan tarkastettavaksi. Poikimahalvauksen lämpökuvantaminen tehdään mittaamalla takaapäin lehmän lantion ja takareiden alueen maksimipinalämpötilaa. Jos mittausalueen maksimipinalämpötila on alle $+33^{\circ}\text{C}$, lehmä on vaarassa sairastua poikimahalvaukseen. Lämpökuvatessa on kuitenkin muistettava, että tulkintaohjeet ovat päätöksenteon apuvälineitä; hoitopäätöstä ei pidä koskaan tehdä pelkän lämpökuvantamisen perusteella. KuNassa tehdyt lämpökuvien tulkintaohjeet on tarkoitettu viljelijöiden ja muiden sidosryhmien käyttöön, kyseessä ei siis ole diagnostinen kuvantaminen.

Nautojen lämpökuvantaminen asettaa käytettävälle lämpökameralle erityisvaatimuksia. Navetassa käytettävältä lämpökameralta vaaditaan kestävyyttä ja kykyä toimia viileissä olosuhteissa. Lämpökameroiden teknisistä ominaisuuksista kannattaa kiinnittää huomiota riittävään lämpökuvan resoluutioon, joka mahdollistaa lämpötilapoikkeamien löytämisen pieneltä pinta-alalta. Lisäksi lämpökamerassa olisi hyvä olla mittastuokalu, jolla maksimilämpötila löytyy helposti.

Lämpökuvantamisessa on paljon potentiaalia nautojen hyvinvoinnin seurannan apuvälineeksi. Ennen menetelmän laajamittaista hyödyntämistä on kuitenkin selvitettävä useita haasteita. KuNassa kehitetyt lämpökuvausohjeet perustuvat ihmisen tekemiin mittauksiin, mutta hankkeen tulokset palvelevat myös tulevaisuuden kehitystarpeita. Ennen kuin menetelmä on mahdollista automatisoida, on kuitenkin tehtävä lisätutkimuksia. Sitä ennen KuNa-hankkeessa tehdyt ohjeistukset auttavat lämpökuvien ottamisessa ja kuvien tulkinnassa.

Asiasanat: lämpökuvaus, lämpökuvantaminen, nauta, eläinten hyvinvointi, karjanhoito, utareterveys, sorkkaterveys, poikiminen, poikimahalvaus, kotieläintuotanto, tulkintaohje

Abstract

The possibilities in thermal imaging interest farmers. As the herd size rises, useful tools to monitor animal welfare are needed. The aim of Kuvaa Nautaa – thermal imaging in cattle health care project (KuNa, 2018-2021) was to find out whether thermal imaging can be used as a tool for monitoring cattle health. In addition, the project investigated what kind of thermal imager is suitable for imaging cattle. Guidelines for monitoring hoof health and milk fever using thermal imaging were created based on the research conducted during this project.

Results of our research revealed that traditional methods of diagnosing mastitis work better in monitoring udder health than thermal imaging. Similarly, the parturition is not possible to predict based on changes in the surface temperature of the cow. Instead, thermal imaging can be used for detecting milk fever and monitoring hoof health. According to our results, the surface temperature of the cow decreases significantly in all cases after calving, but a larger decrease is associated with a decrease in serum calcium concentration, and thus with subclinical or clinical milk fever. Thermal imaging could also be used in the hoof health assessment, as at least severe hoof diseases raise the surface temperature of the coronary band.

Based on the results we created guidelines for the use of thermography in monitoring hoof health and the risk of milk fever. In the case of the hooves, the maximum temperature of the coronary band is measured using thermal imager and then compared with the temperature predicted by our model. To make the comparison easy we created a web-based calculator (Sorkkalaskuri) that compares the measured temperature with model prediction taking into account also ambient temperature and whether front or rear foot is scanned. When the measured coronary band temperature is higher than 2 °C compared to our model prediction, the calculator suggests checking the hoof. To monitor milk fever using thermography, the maximum surface temperature of the pelvic and thigh area of the cow is measured from behind. If the maximum surface temperature of the area is below +33 °C, the cow is at risk of developing milk fever. However, interpretative guidelines are tools for decision-making; the treatment decision should never be based solely on thermal imaging.

Cattle thermography places special demands on the thermal-imaging camera. The thermal imager used in the cowshed needs to be durable and able to operate in cold conditions. When reviewing the technical properties of thermal imagers, it is worth paying attention to the infrared resolution (IR resolution). High enough IR resolution enables finding also small-scale temperature differences. Additionally, thermal imager should have a practical measuring tool that enables finding the maximum temperature easily.

Thermal imaging is a tool with great potential for monitoring the welfare of cattle. However, various challenges need to be addressed before the method can be widely used. The thermal imaging guidelines developed at Kuvaa Nautaa project are based on manually made infrared measurements, but the results of the project serve also future development needs. Before the method can be automated, further research is needed. In the meantime, the guidelines developed in the Kuvaa Nautaa project will help taking and interpreting on-farm thermal images.

Keywords: thermal imaging, thermography, cattle, animal welfare, animal husbandry, udder health, hoof health, calving, milk fever, livestock production, guidelines

Resumen

Las posibilidades de la termografía son de interés de los agricultores. Como la cantidad de animales en la granja se eleva, se necesitan herramientas útiles para monitorear su bienestar. El objetivo del proyecto Kuvaa Nautaa - termografía en el cuidado del ganado (KuNa, 2018-2021) fue averiguar si la termografía se puede utilizar como herramienta para monitorear la salud del ganado vacuno. Además, en el proyecto se investigó qué tipo de cámara termográfica es adecuada para obtener imágenes de ganado. Durante el proyecto se creó pautas basadas en la ciencia para monitorear la salud de las pezuñas y la fiebre de la leche utilizando imágenes térmicas.

Durante la investigación del proyecto se descubrió, que los métodos tradicionales de monitoreo de la salud de la ubre funcionan mejor que las imágenes térmicas para diagnosticar la mastitis. El momento del parto tampoco se pudo predecir a partir de los cambios en la temperatura de la superficie de la vaca. En cambio, las imágenes térmicas pueden ser usadas para detectar la fiebre de la leche y para monitorear la salud de las pezuñas. Según los resultados, la temperatura de la superficie de la vaca disminuye en todos los casos significativamente después del parto, pero una disminución más fuerte es asociada con nivel bajo de calcio en la sangre y en consecuencia con la fiebre de la leche latente o clínica. Las imágenes térmicas también pueden ser utilizadas en la evaluación de la salud de las pezuñas, ya que al menos las enfermedades graves elevan la temperatura de la banda coronaria.

Basado a los resultados creamos instrucciones para monitorear la salud de las pezuñas y la fiebre de la leche utilizando la termografía. En el caso de las pezuñas, se mide la temperatura de la banda coronaria y se lo compara con la temperatura predicha por nuestro modelo. Para la comparación se creó un contador al internet que compara la temperatura medida con nuestra base de datos tomando en cuenta también la temperatura del ambiente y el pie en cuestión. Cuando la temperatura de la banda coronaria es 2° C o más caliente de lo predicho, el contador sugiere revisar la pezuña. Para monitorear la fiebre de la leche se mide la temperatura máxima del área del pelvis y muslo de la vaca desde atrás con la cámara térmica. Si la temperatura máxima de esa área es inferior a +33 °C, la vaca corre el riesgo de desarrollar la fiebre de la leche. Sin embargo, las pautas interpretativas son solamente herramientas para la toma de decisiones; la decisión de tratamiento nunca debe basarse únicamente en imágenes térmicas.

La termografía del ganado plantea exigencias especiales a la cámara termográfica. Se requiere que la cámara utilizada en el establo sea duradera y pueda funcionar en condiciones frías. Cuando se revisa las propiedades técnicas, conviene prestar atención a la adecuada resolución de la imagen térmica, que permite encontrar también las diferencias de temperatura de pequeña escala. Además, la cámara debería tener una herramienta de medición práctica para hallar fácilmente la temperatura máxima. La termografía tiene un gran potencial como herramienta para monitorear el bienestar del ganado vacuno. Sin embargo, es necesario superar una serie de desafíos antes de que el método se pueda utilizar ampliamente. Nuestras pautas de termografía se basan en mediciones hechas por el hombre, pero nuestros resultados también sirven para su futuro desarrollo, aunque la automatización del método requiere más investigación. Mientras tanto, las pautas desarrolladas en el proyecto Kuvaa Nautaa ayudarán a tomar imágenes térmicas e interpretarlas.

Palabras clave: termografía, ganado vacuno, bienestar animal, cría de animales, salud de la ubre, salud de las pezuñas, parto, fiebre de la leche, producción ganadera, pautas

Esipuhe

Kuvaa Nautaa – lämpökuvaus nautojen hoidon tukena -hanke (KuNa, 2018–2021) syntyi maatalousyrittäjän innovaatiosta kokeilla, olisiko lämpökuvauksesta apua nautan sairauden syyn selvittämisessä. Otettujen lämpökuvien tulkinta osoittautui kuitenkin ennakoitua vaikeammaksi, joten KuNassa haluttiin kehittää ohjeet lämpökuvien ottamiseen ja tulkintaan Maaseudun innovaatorahoituksen (European Innovation Partnership, EIP) avulla. KuNan tavoitteena oli myös testata, millaisia ominaisuuksia nautojen kuvantamiseen käytettävässä lämpökamerassa olisi hyvä olla.

KuNa-hankkeen toteuttivat Savonia-ammattikorkeakoulu Oy ja Luonnonvarakeskus Luke (Maaninka). Hankkeen ytimen muodostivat innovaatioryhmän yritykset, kuusi nautatilaa, jotka osallistuivat potentiaalisten kuvantamisaiheiden valintaan sekä ohjeiden kehittämiseen ja testaamiseen aidossa maatilaympäristössä. Innovaatioryhmän yritysten työpanos oli käytäntöön viemisen kannalta tärkeää, sillä tavoitteena oli luoda maatilaympäristössä testatut lämpökuvantamisohjeet ja lämpökuvien tulkintaohjeet.

KuNa aloitettiin huolellisella taustakartoituksella, jossa perehdyttiin lämpökuvauksen teoriaan ja tuotantoeläimillä tehtyihin lämpökuvantamistutkimuksiin (Frondelius ym. 2019, <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/543903>). Lisäksi selvitimme, millaisia tuotantoeläinten lämpökuvaussovelluksia ja -palveluita oli saatavilla jo kaupallisesti. Näiden selvitysten perusteella innovaatioryhmä valitsi potentiaalisia nautojen terveys- ja hyvinvointiongelmia, joiden havainnointia lähdettiin selvittämään tutkimuksen keinoin. Tutkimustulosten perusteella luotiin lämpökuvien tulkintaohjeet, joiden käytävyyttä testattiin ja kehitettiin tuotanto- ja opetustiloilla.

KuNan työryhmä kiittää hankkeessa mukana olleita innovaatioryhmän yrityksiä ja muita yhteistyökumppaneita siitä, että laitoitte lämpökuvien tulkintaohjeet tulikokeeseen. Antamanne palaute ohjeistusten käytettävyydestä, hyödyllisyydestä ja kehitystarpeista auttoi niiden kehittämisessä. Kiitos kuuluu myös Savonia-ammattikorkeakoulun opiskelijoille, jotka testasitte ohjeita ja tuotitte tietoa lämpökuvausohjeiden tekemisen tueksi sekä hankkeen ohjausryhmälle arvokkaista vinkeistä ja antamastanne palautteesta. Lopuksi kiitämme rahoittajaa, joka mahdollisti innovatiivisen kehitysprojektin nautojen lämpökuvauksen parissa.

KuNan työryhmä toivoo, että hankkeessa tehty selvitystyö auttaa viljelijöitä ja muita sidosryhmiä löytämään lämpökuvantamisen mahdollisuudet, mutta välttämään lämpökuvaukseen liittyvät sudenkuopat!

Lämpimin terveisin,
Kuvaa Nautaa -hankkeen työryhmä

1. Johdanto


Karjakokojen kasvaessa eläinten terveyden ja hyvinvoinnin seurantaan kaivataan luotettavia apuvälineitä, mikä on johtanut myös kiinnostuksen kasvuun eläinten lämpökuvantamista kohtaan. Tekniikan kehittyminen ja entistä edullisemmat lämpökamerat tuovat tämän teknologian kaikkien saataville. Lämpökamera onkin hyvä väline kuvauskohteen pintalämpötilojen mittaukseen ja visualisointiin, mutta lämpökuvien ottaminen ja erityisesti lämpökuvien tulkinta vaativat perehtymistä aiheeseen (Paloniitty ym. 2018).

Lämpökuvauksen mahdollisuuksia tuotantoeläinten hyvinvoinnin seurannassa on tutkittu aktiivisesti: esimerkiksi nautojen sorkkasairauksien ja ontumisen sekä utareterveyden vaikutukset nautojen pintalämpötiloihin ovat olleet kiinnostuksen kohteina (ks. Frondelius ym. 2019). Markkinoilta löytyy myös lypsykarjatiloilta suunnattuja lämpökuvauslaitteistoja utareterveyden automaattiseen seurantaan. Tieteellisissä tutkimuksissa on havaittu, että lämpökuvantamisessa on potentiaalia ainakin sorkkaterveyden seurannassa. Utareterveyden seuranta lämpökuvantamisen avulla on sen sijaan haastavampaa.

Lämpökameroiden hinnat alkavat noin 400 eurosta, mutta maataloolosuhteisiin soveltuvan lämpökameran valitseminen monista kameravaihtoehdoista voi tuntua hankalalta. Viljelijöiden kameravainnain helpottamiseksi KuNa testasi hinnaltaan edullisia lämpökameroita maataloilla. Testauksessa kiinnitettiin huomiota myös lämpökameroiden käytettävyyteen, sillä maatilalla lämpökameran on selvitävä monenlaisissa olosuhteissa.

KuNa-hankkeessa luotiin tieteelliseen tutkimukseen perustuvat ja navettaolosuhteisiin soveltuvat nautojen lämpökuvien tulkintaohjeet. Luotuja ohjeita testattiin ja jatkokehitettiin yhteistyössä innovaatioryhmän maataloilla ja muiden aiheesta kiinnostuneiden kanssa.

Kuvaa Nautaa – lämpökuvaus nautojen hoidon tukena (2018 – 2021)



- Kuvaa Nautaa – lämpökuvaus nautojen hoidon tukena -hankkeen tavoitteena oli selvittää, onko lämpökuvantamisesta apua nautojen terveyden ja hyvinvoinnin seurannassa. Hankkeessa luotiin tieteelliseen tutkimukseen perustuvat ohjeet sorkkaterveyteen ja poikimahalvauksen ennustamiseen liittyvien lämpökuvien ottamiseen ja tulkintaan.
- Innovaatioryhmän ytimessä oli kuusi nautatilaa, jotka osallistuivat kiinnostavien tutkimuskohteiden valintaan ja hankkeessa luotujen ohjeiden kehittämiseen testaamalla niitä navettaympäristössä.
- Kuvaa Nautaa -hanke on yksi maaseudun innovaatioryhmistä (EIP). Hanketta rahoitti Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014-2020 yhteensä 299 552 eurolla.

2. Lämpökuvauksen peruskäsitteet ja lämpökameran toimintaperiaate

Kaikki aine, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nolapisteen, lähettää sähkömagneettista säteilyä ympärilleen (Modest 2003). Lämpösäteilyksi luetaan sähkömagneettisen spektrin aallonpituudet 0,1 μm – 100 μm . Kyseiseen aallonpituusväliin sisältyy osa ultraviolettisäteilystä, näkyvän valon aallonpituudet ja suurin osa infrapunasäteilystä. Mitä kuumempi kappale on kyseessä sitä enemmän ja lyhyempiaaltoisempaa lämpösäteilyä siitä lähtee. Hyvin kuuma rautaesine hohtaa näkyvääkin valoa, mutta yleensä normaalielämän kohteiden lähettämä lämpösäteily on ihmisilmälle näkymätöntä infrapunasäteilyä.

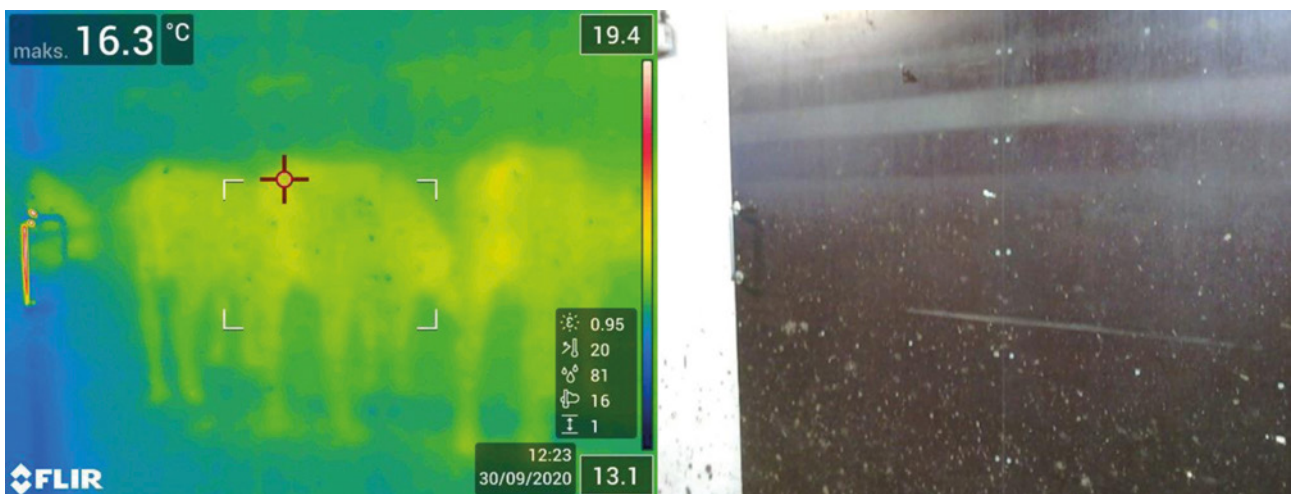
Lämpökamera kykenee mittaamaan lämpösäteilyn voimakkuuden ja muuttamaan sen lämpötilatiedoksi (Paloniitty ym. 2018). Lämpökamera mittaa nimenomaan pitkäaaltoista infrapunasäteilyä (aallonpituudet: 7,5–14 μm). Nykyisten normaalikäyttöön tarkoitettujen lämpökameroiden toiminta perustuu jäähdyttämättömään matriisiteknikkaan. Siinä jokaiselle kuvapistelle on oma ilmaisinsä. Lämpökuvassa jokainen kuvapiste, pikseli, saa siis oman lämpötila-arvon, jota havainnollistetaan tiettyllä värillä tai värisävyllä. Muodostuva kuva on eräänlainen lämpötilakartta, josta on helppo havainnoida lämpötilaeroja.

Kaikki lämpökameraan saapuva lämpösäteily ei ole kuitenkaan kuvauskohteen oman lämpötilan aikaansaamaa säteilyä (Paloniitty ym. 2018).

2.1 Lämpösäteily myös heijastuu – heijastuvan lämmön huomioiminen lämpökuvauksessa

Ympäristömme kappaleet ovat likimain niin sanottuja harmaita kappaleita (Modest 2003). Niistä mitatusta lämpösäteilystä osa on kappaleen itsensä lähettämää, mutta osa lämpösäteilystä on peräisin ympäristöstä ja vain heijastuu kappaleen pinnasta. Eri pinnat heijastavat lämpösäteilyä eri tavalla: kiiltäväpintaiset kohteet heijastavat paljon lämpösäteilyä, kun puolestaan mattapintaisista kohteista lämpösäteilyä heijastuu vähän.

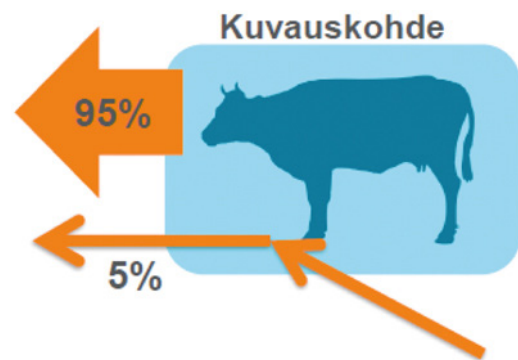
Lämpökuvatessa lämpösäteilyn heijastuminen kannattaa aina tiedostaa, sillä vaikka säteilyä ei näe paljaalla silmällä, sillä on mittaustulosten kannalta iso merkitys. Kuva 1 havainnollistaa, miten kuvaajan takana olevien eläinten lämpösäteily heijastuu sileästä vaneriovesta. Vieressä oleva valokuva näyttää, mitä ihmisilmä kykenee näkemään. Jos heijastuminen jätettäisiin huomiotta, vanerioven lämpötilaksi saataisiin tässä tapauksessa todellisuutta paljon korkeampi lukema.



Kuva 1. Sama vaneripinta kuvattuna lämpökameralla ja tavallisella valokuvakameralla. Vasemmalla olevassa lämpökuvassa näkyy, miten kuvaajan takana olevien eläinten lämpösäteily heijastuu sileästä vaneripinnasta. Oikeanpuoleisesta valokuvasta ei lämpösäteilyn heijastumista voi nähdä. Kuvat: Inka Nykänen, Savonia.

Lämpökuvauksessa lämpösäteilyn heijastumisen huomioiminen tehdään asettamalla kameran asetuksiin emissiivisyysarvo sekä arvio heijastuvasta lämpötilasta.

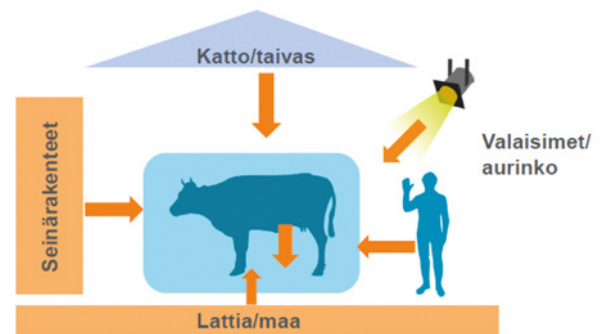
Emissiivisyysarvo kertoo kameralle, mikä osa kohteesta mitatusta lämpösäteilystä on siitä itsestään peräisin ja mikä osa on ympäristöstä tulevaa heijastumaa (Paloniitty ym. 2018). Emissiivisyys voi saada arvon väliltä nolasta yhteen. Jos kappaleen emissiivisyys on 0,95, siitä mitatusta lämpösäteilystä 95 % on kappaleesta itsestään peräisin ja loput 5 % on ympäristöstä heijastuvaa lämpösäteilyä (Kuva 2).



Kuva 2. Nautoja kuvatessa käytetään tyypillisimmin emissiivisyysarvoa 0,95, jolloin yksinkertaistettuna 95 % mitatusta lämmöstä on kohteen itsensä säteilemää ja 5 % sen ympäristöstään heijastamaa lämpösäteilyä. Kuva: Frondelius ym. 2019.

Kannattaa huomioida, että kappaleiden emissiivisyys riippuu nimenomaan kappaleen pinnan ominaisuuksista (Modest 2003). Tämän vuoksi samaa materiaalia olevilla kappaleilla on eri emissiivisyys, jos niiden pinnat ovat erilaisia. Jos esimerkiksi toinen kappale on hiottu kiiltäväksi ja toinen samaa materiaalia oleva kappale on maalattu mattavalkealla, niillä on eri emissiivisyys. Myös kappaleen pinnalla olevat epäpuhtaudet kuten lika, ruoste tai maalit, sekä pinnan epätasaisuudet muuttavat kappaleen emissiivisyyttä. Eläimiä kuvatessa on käytetty yleensä emissiivisyysarvoja välillä 0,90 – 0,98 (McManus ym. 2016, Tattersall 2016, Zhang ym. 2016). Muiden kuvauskohteiden emissiivisyysarvot voi tarkistaa verkosta löytyvistä taulukoista (esimerkiksi: <https://www.infradex.com/wp-content/uploads/2016/08/emissiivisyys.pdf>).

Heijastuvan lämpötilan asettaminen oikein on haastavampaa kuin oikean emissiivisyysarvon valitseminen. Lämpösäteilyä voi heijastua kuvauskohteen kautta kameraan hyvin monista lähteistä. Kuvassa 3 näkyy, mistä kaikkialta lämpösäteilyä voi navetta-ympäristössä heijastua. Lisäksi huomioitavat heijastuvan lämmön lähteet riippuvat kuvaussuunnasta ja kuvauskulmasta. Kannattaa myös muistaa, että ympäristön kohteiden lämpötila voi erota suurestikin ilman lämpötilasta. Esimerkiksi lämmittämättömän eläinsuojan rakenteet voivat pakkasjakson jäljiltä olla vielä hyvin kylmät, vaikka ilma olisi jo ehtinyt lämmetä. Taustan kohteet voivat myös olla keskenään hyvin eri lämpöisiä. Heijastuvan lämmön tarkassa määrittämisessä voidaan hyödyntää peilejä (Harrap ym. 2018). Peilin emissiivisyys on lähellä nolaa ja lähes kaikki lämpösäteily on siis heijastumaa muualta. Tilaolosuhteissa ja liikkuvaa kohdetta kuvatessa tämä on kuitenkin vaikeaa ja käytännössä heijastuva lämpötila pitää arvioida.

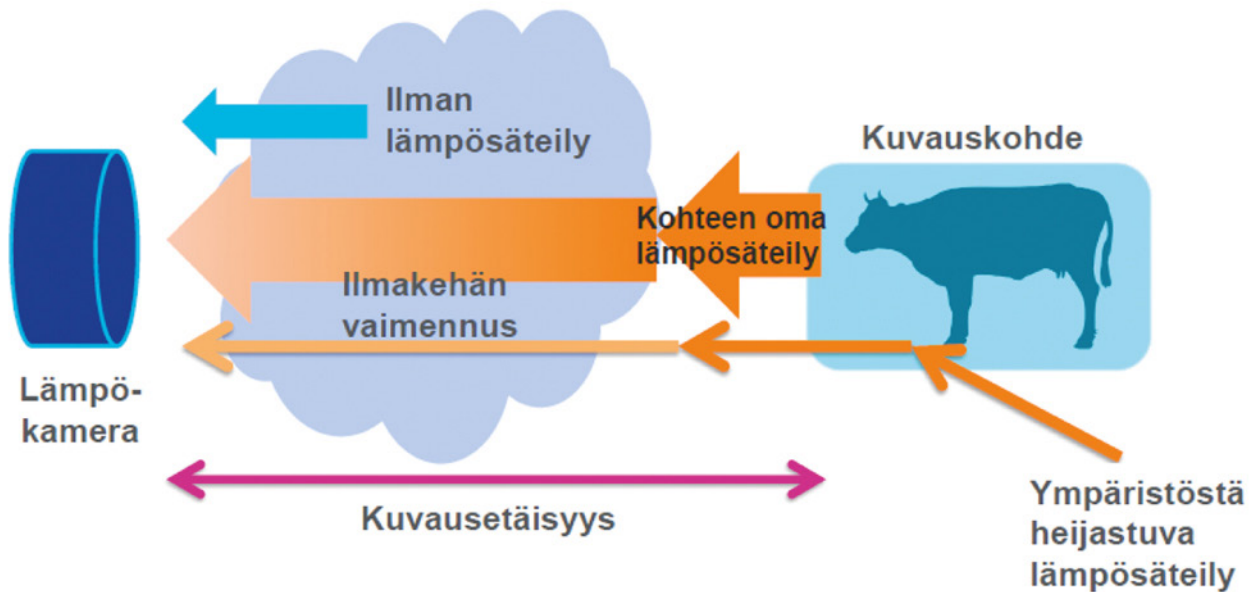


Kuva 3. Kuvauskohte heijastaa ympäristönsä lämpösäteilyä oman emissiivisyysarvonsa mukaan. Navetassa heijastuva lämpö koostuu seinä-, lattia-, ja kattorakenteiden sekä valaisimien lämpösäteilystä. Lähietäisyydeltä kuvatessa myös kuvaajan lämpösäteily saattaa heijastua kohteesta tai esimerkiksi sorkkia kuvatessa eläimen oman kehon muiden osien lämpösäteily voi vaikuttaa sorkasta mitattuun lämpötilaan. Kuva: Frondelius ym. 2019.

Emissiivisyysarvo ja heijastuva lämpötila kannattaa laittaa aina mahdollisimman lähelle oikeaa arvoa. Lämpökameran antama mittaustulos vääristyy, jos emissiivisyysarvo poikkeaa suuresti todellisesta arvosta (Tattersall 2016). Vastaavasti myös väärä heijastuvan lämpötilan arvo vääristää mittaustulosta. Eläinten karvan ja ihon emissiivisyys on kuitenkin korkea, joten väärin arvioidun heijastuvan lämpötilan vaikutus mittaustulokseen on melko vähäinen. Heijastuvan lämpötilan merkitys kannattaa kuitenkin pitää mielessä, sillä se korostuu silloin, kun kuvauskohteen emissiivisyys on pienempi eli kuvatessa kiiltävämpiä kohteita. Heijastuvan lämmön vaikutusta mittaustulokseen voidaan kuitenkin vähentää lämpökuvauksella ympäristössä, jossa ei ole ainakaan merkittävästi kylmää tai kuumaa säteileviä kohteita, kuten esimerkiksi lämpölamppuja.

2.2 Ilman aiheuttaman vaimennuksen vaikutus ja ilman oma lämpösäteily

Lämpökuvatus heijastumisen lisäksi pitää huomioida myös ilmakehän vaikutus. Kuvauskohteen oma lämpösäteily sekä kohteen kautta heijastuva lämpösäteily osuvat ilmakehän kaasuihin ennen saapumistaan lämpökameraan (Paloniitty ym. 2018). Kaikki aineet, myös ilma itse, sitovat itseensä lämpösäteilyä (Modest 2003). Tämän vuoksi lämpösäteily vaimenee ennen kuin se saavuttaa lämpökameran (Kuva 4). Samaan aikaan ilmakehän kaasut lähettävät itse lämpösäteilyä.



Kuva 4. Lämpökameraan saapuvan lämpösäteilyn lähteet ja ilmakehän kaasujen aiheuttama vaimennus, kun kyseessä on lämpösäteilyä läpäisemätön kappale. Piirretty Paloniitty ym. (2018) ja FLIR Systems:n (2012) mukaan. Kuva: Frondelius ym. 2019.

Ilman lämpösäteilyn voimakkuus ja ilmakehän vaimentava vaikutus riippuvat ilman lämpötilasta, ilmankosteudesta ja kuvausetäisyydestä (Paloniitty ym. 2018, FLIR Systems 2012). Lämpökameraan syötetään sen vuoksi myös nämä tiedot.

2.3 Lämpökamera tarvitsee taustatiedot

Lämpökamera on näennäisesti helppokäyttöinen laite ja siksi helposti unohtuu, että sen antama mittaustulos on vain matemaattinen arvio kohteen pintalämpötilasta ottaen huomioon ympäristöolosuhteet kuvaushetkellä (Tattersall 2016). Lämpökameran antaman mittaustuloksen luotettavuus riippuu siis hyvin paljon annettujen taustatietojen oikeellisuudesta. Tiivistettynä vielä: jotta lämpökamera kykenisi kertomaan luotettavasti kohteen pintalämpötilan, kamerasetukseen laitetaan emissiivisyys, heijastuva lämpötila, ilman lämpötila ja kosteus sekä kuvausetäisyys.

Kaikkia edellä esitettyjä mittaussparametrejä voi muuttaa kuvan ottamisen jälkeenkin lämpökuvien käsittelyyn sopivalla tietokoneohjelmalla. Joissakin lämpökameramalleissa kaikkien taustatietojen antaminen ei ole mahdollista. Silloinkin ne voidaan lisätä jälkikäteen sopivaa ohjelmaa käyttäen. Lämpökameravalmistajilla on yleensä tarjolla ilmaisia ohjelmia lämpökuvien käsittelyyn. Lisäksi tarjolla on maksullisia ohjelmia monipuolisemmilla ominaisuuksilla.

Lämpökamera mittaa ja visualisoi pintalämpötilaa

- Kaikki ympärillämme oleva aine lähettää lämpösäteilyä – mitä kuumempi kappale sitä enemmän ja lyhytaaltoisempaa lämpösäteilyä se lähettää.
- Lämpökamera mittaa lämpösäteilyä ja muuttaa sen lämpötilatiedoksi. Lämpökameran muodostamassa lämpökuvassa jokainen kuvapikseli on oma mittaustuloksensa.
- Lämpösäteily myös heijastuu ja imeytyy, siksi lämpökamera tarvitsee riittävät taustatiedot antaaakseen luotettavia mittaustuloksia. Kameran asetuksiin laitetaan sen vuoksi:
 - Emissiivisyys
 - Heijastuva lämpötila
 - Ilman lämpötila ja -kosteus
 - Kuvausetäisyys
- Jos haluat perehtyä lämpökuvaukseen tarkemmin, tutustu Lämpökuvantaminen nautojen terveyden ja hyvinvoinnin seurannan apuvälineenä -kirjallisuuskatsaukseen (Frondelius ym. 2019, <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/543903>).



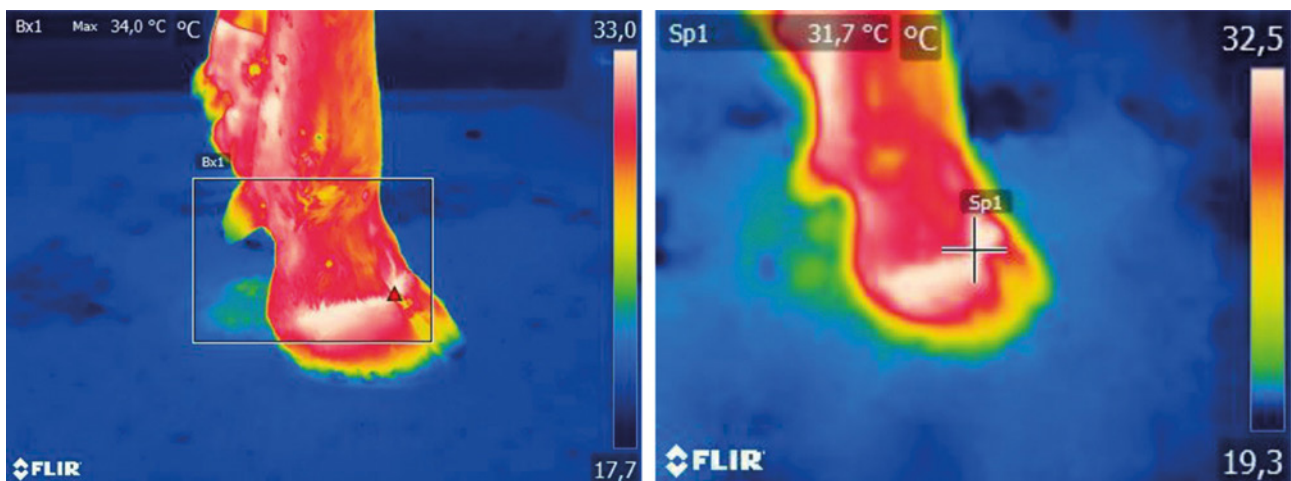
3. Lämpökamera mittausvälineenä

Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, lämpökameran antaman mittaustuloksen luotettavuus riippuu annettujen taustatietojen oikeellisuudesta. Ensimmäinen askel luotettavien mittaustulosten saamiseksi onkin laittaa kameran asetuksiin oikea emissiivisyys, heijastuva lämpötila, ilman lämpötila ja ilmankosteus sekä kuvausetäisyys. Lämpökameran mittaustuloksiin vaikuttaa myös lämpökameran resoluutio, mittaustarkkuus, erotteluherkkyys sekä kuvaustekniikka.

3.1 Resoluutio

Lämpökameran resoluutiolla (IR-resoluutio, IR = infrared) tarkoitetaan kameran ilmaisimessa olevien mittauspisteiden lukumäärää (Paloniitty ym. 2018). Yksittäinen mittauspiste mittaa kuvattavasta kohteesta tietyltä pinta-alalta saapuvan lämpösäteilyn määrän. Resoluution kasvaessa kukin mittauspiste vastaa yhä pienempää pinta-alaa kuvattavasta kohteesta.

Kuvan visuaalinen miellyttävyys on ensimmäinen asia, mihin huomio kiinnittyy, kun vertailtavana on matalan ja korkean resoluution lämpökuvat (Kuva 5). Resoluutio vaikuttaa kuitenkin myös itse mittaustulokseen ja siihen, miten pienipiirteistä lämpötilavaihtelua kuvasta voidaan havaita; korkean resoluution lämpökameralla pystytään havaitsemaan paremmin pienialaiset vaihtelut pintalämpötilassa verrattuna matalamman resoluution kameraan. Korkean resoluution lämpökameralla voi myös kuvata kohdetta kauempaa menettämättä liikaa tarpeellisia yksityiskohtia. Resoluution merkityksestä nautojen lämpökuvauksessa kerrotaan lisää kappaleessa 4.



Kuva 5. Vasemmalla olevassa lämpökuvassa resoluutio on korkeampi (464 x 348 pikseliä) kuin oikeanpuoleisessa kuvassa (80 x 60 pikseliä). Korkeamman resoluution lämpökameralla kuvauskohteen pintalämpötilan vaihtelu on mahdollista havaita huomattavasti yksityiskohtaisemmin kuin matalamman resoluution lämpökuvassa. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

3.2 Mittaustarkkuus ja erotteluherkkyys

Lämpökameroiden herkkyys (*noise equivalent temperature difference*, NETD tai *sensitivity*) kuvaa, miten hyvin lämpökamera pystyy erottelmaan lämpötilaeroja kuvauskohteessa (Paloniitty ym. 2018). Erotteluherkkyys on pienin kameran ilmaisimen kahden mittauspisteen välinen lämpötilaero, joka pystytään havaitsemaan. Normaalisti lämpökameran erotteluherkkyys on välillä 0,02–0,15 °C eli lämpökameralla pystytään havaitsemaan hyvin pienet lämpötilaerot kuvauskohteessa.

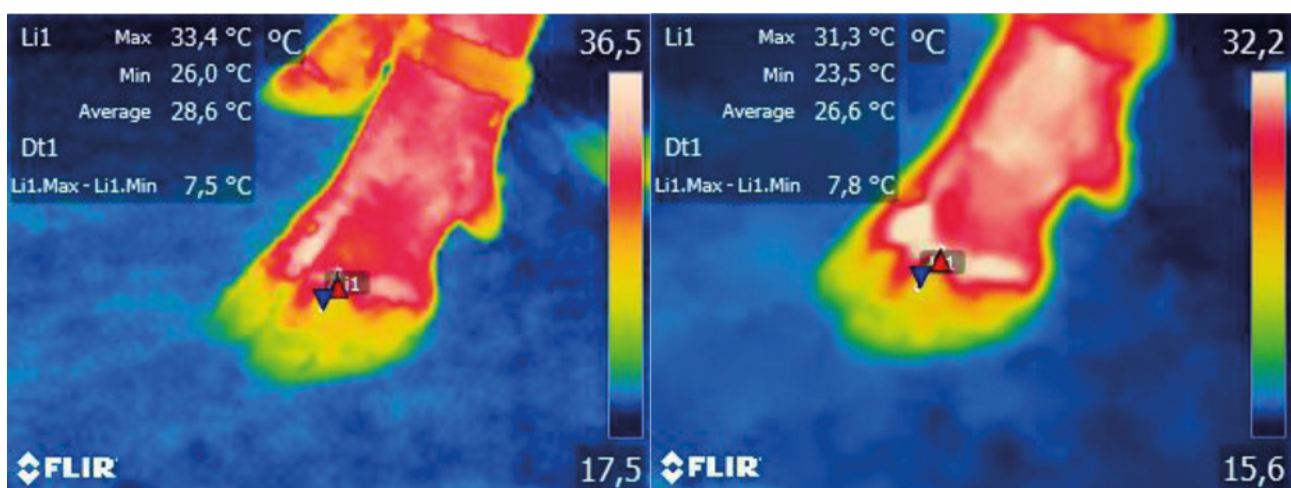
Erotteluherkkyys ei tarkoita sitä, että lämpökamera kykenisi mittaamaan kohteen todellisen lämpötilan samalla tarkkuudella (Curran ym. 2015), vaan sitä kuvaa mittaustarkkuus (*accuracy*). Mittaustarkkuus kertoo, kuinka tarkasti lämpökamera kykenee mittaamaan kohteen todellisen lämpötilan (Paloniitty ym. 2018). Lämpökameroiden mittaustarkkuus on hyvilläkin kameroilla yleisesti ± 2 °C.

Käytännössä mittaustarkkuus ± 2 °C merkitsee, että jos kuvauskohteen pintalämpötila on todellisuudessa $+38$ °C, moitteettomasti toimivan lämpökameran mittaustulos on jotain $+36$ °C ja $+40$ °C väliltä. Erotteluherkkyyden ja mittaustarkkuuden ero on tärkeä muistaa esimerkiksi lämpökuvia tulkittaessa.

3.3 Mittaustulosten toistettavuus ja lämpökuvien vertailukelpoisuus

Mittaustulosten toistettavuus samaa kameraa käyttäen on keskimäärin $0,5$ °C:n suuruusluokkaa (Howell ym. 2020). Myös KuNassa tehdyt testaukset tukevat tätä havaintoa. Jos kuitenkin haluaa pelata varman päälle, niin on suositeltavaa ottaa kuvaskohteesta useampi kuva ja hylätä lämpötila-arvoiltaan selvästi poikkeavat mittaukset (Howell ym. 2020). Eri lämpökamerayksilöillä samaa kohdetta samoissa olosuhteissa kuvatessa lämpötilamittaustulokset voivat erota toisistaan mittaustarkkuuden verran eli yleisesti ± 2 °C, vaikka käytössä olisi sama kameramalli. Lämpökamerat ovat yksilöitä ja se on otettava huomioon lämpökuvien tulkinnassa.

Sen sijaan lämpökuvan eri pikseleiden eli mittauspisteiden välisten erojen tarkkuus on lähellä lämpökameran erotteluherkkyyden arvoa. Myös eri kamerayksilöillä kuvatuissa lämpökuvissa kuvien sisällä näkyvät lämpötilaerot ovat keskenään hyvin lähellä toisiaan. Kuvassa 6 on kahdella eri lämpökameralla samasta kohteesta otetut lämpökuvat. Kuviin piirrettyjen mittajanojen maksimi-, minimi- ja keskilämpötilat eroavat toisistaan suurin piirtein mittaustarkkuuden verran. Maksimin ja minimin erotus on kuitenkin lähestulkoon sama molemmissa kuvissa. Eri lämpökameroilla otettuja lämpökuvia vertaillessa onkin suositeltavaa tarkastella lämpötilaeroja absoluuttisten lämpötila-arvojen sijaan aina kuin mahdollista.



Kuva 6. Sama sorkka kuvattuna kahdella eri lämpökameralla. Lämpökameroiden mittaustulokset eroavat toisistaan paljon (vrt. maksimi- ja minimilämpötiloja, jotka on esitetty lämpökamerakuvien vasemmassa yläosassa), mutta lämpötilaerot ovat lähestulkoon samat. Li1.Max -Li1.Min tarkoittaa mittajanan maksimin ja minimin erotusta. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Lämpökuvien vertailukelpoisuuteen vaikuttaa myös lämpökameran resoluutio. Alhaisen resoluution lämpökameralla pienialaiset lämpötilaerot jäävät havaitsematta ja siten minimi- ja maksimilämpötilat eroavat korkeamman resoluution kameralla saaduista tuloksista.

Lämpökameran mittaustarkkuus voi muuttua ajan saatossa. Lämpökamerat olisi hyvä kalibroida laitevalmistajan ohjeistamassa aikataulussa, yleensä vähintään kahden vuoden välein (Paloniitty ym. 2018). Kalibrointi tehdään laboratoriossa ja siinä verrataan lämpökameran mittaustuloksia standardoituun lämpötilamittaukseen. Näin saadaan selville, miten todenmukaisesti lämpökamera ilmoittaa mitatut pintalämpötilat. Jos lämpökameran mittaustulokset poikkeavat todellisuudesta kameramallin ilmoitettua mittaustarkkuutta (yleensä ± 2 °C) enemmän, on lämpökameran mittausalgoritmi mahdollista päivittää.

Lämpökuvauksen terminologiaa

- Lämpökameran resoluutio kertoo, kuinka monta mittauspistettä kameran ilmaisimessa on. Korkeampi resoluutio tuo lämpötilaerojen yksityiskohdat paremmin esille.
- Erotteluherkkyys kertoo, kuinka pienen mittauspisteiden välisen lämpötilaeron lämpökamera kykenee havaitsemaan. Erotteluherkkyys on yleensä 0,02–0,15 °C välillä.
- Mittaustarkkuus kertoo, kuinka tarkasti lämpökamera kykenee mittaamaan kohteen todellisen lämpötilan. Mittaustarkkuus on yleensä ± 2 °C.
- Lämpökuvauksessa mittaustulosten toistettavuus ja kuvien vertailukelpoisuus on kohtuullinen silloin kun käytetään samaa lämpökamerayksilöä. Eri kameroilla kuvattuja lämpökuvia vertaillessa on suositeltavinta vertailla kuvien sisäisiä lämpötilaeroja absoluuttisten lämpötilojen sijaan.

3.4 Miten lämpökuvataan eli oikea kuvaustekniikka

Oikeiden asetusten ja kunnollisen lämpökameran lisäksi lämpökuvauksessa on huomioitava myös oikea kuvaustekniikka. Kohdetta kuvataan mahdollisimman kohtisuoraan, sillä lämpösäteilyllä on kulkusuunta ja emissiivisyys muuttuu kuvauskulman muuttuessa (Modest 2003). Käytännön kuvaustilanteessa joidenkin kohteiden, kuten esimerkiksi sorkkien, kuvaaminen kohtisuoraan on vaikeaa. Pieni vaihtelu (alle 45 °) kuvauskulmassa ei merkittävästi vaikuta mittaustulokseen (Westermann ym. 2013, Okada ym. 2013, Rekant ym. 2016, Tattersall 2016). Riittää siis, että kuvauskulma on suurin piirtein kohtisuoraan.

3.4.1 Lämpökuvaukseen valmistautuminen

Lämpökuvaukseen valmistautuminen alkaa lämpökameran toiminnan tarkastamisesta, mikä on hyvä tehdä aina ennen käyttöönottoa (Paloniitty ym. 2018). Lämpökameran pitää sopeutua mittaustaikojen lämpötilaan ennen kuvausta, joten tuo lämpökamera mittaustilaan hyvissä ajoin. Sopeutumisaika riippuu lämpökamerasta ja tasapainottumista tulisi odottaa noin 10 – 15 min ajan. Lämpökameroiden käyttöönottotarkastus vie muutamia minutteja, mutta se kannattaa tehdä luotettavien mittaustulosten saamiseksi.

Lämpökameran käyttöönottotarkastukseen kuuluvalla vertailumittauksella selvitetään mahdollinen mittavirhe eli se, miten lämpökameran mittaukset vertautuvat toisella lämpömittarilla mitattuun ympäristön lämpötilaan (Paloniitty ym. 2018). Koska ilman lämpötilaa ei voida mitata suoraan lämpökameralla, mitataan mattapintaisen, vähän lämpöä heijastavan esineen pintalämpötila. Vertailumittauksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi sohvaa tai pehmustettua työtuolia, jolla ei ole hetkeen istuttu. Vertailumittauksessa lämpökameralla saatuja lämpötiloja verrataan erillisellä lämpömittarilla mitattuun huoneen lämpötilaan. Vertailumittaukset kannattaa tehdä erityisesti silloin, jos epäilet lämpökameran toimivan väärin.

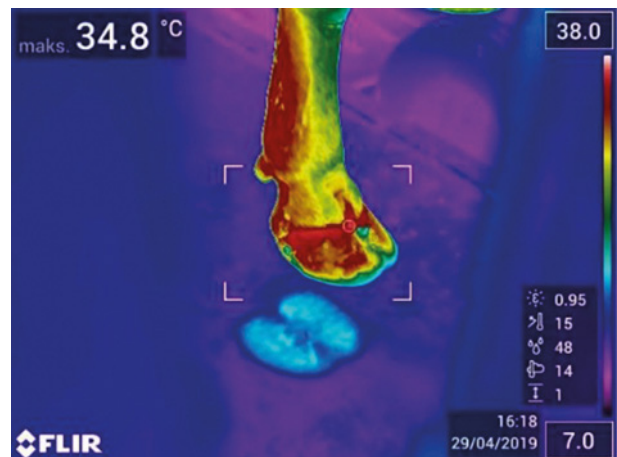
Koska ympäristön lämpötila vaikuttaa eläinten pintalämpötilaan ja lämpökameran toimintaan, lämpötila on huomioitava kuvaustilanteesta. Kuvaustaikojen ilman lämpötila mitataan erillisellä lämpömittarilla ennen kuvausta. Myös erillisen lämpömittarin pitää antaa sopeutua lämpötilaan riittävän ajan ennen mittaustuloksen lukemista. Jos erillistä lämpömittaria ei ole saatavilla voidaan ympäristön lämpötila arvioida, sillä se ei vaikuta merkittävästi mittaustulokseen, kun kuvataan kohteita, joilla on korkea emissiivisyys (esimerkiksi karvapeitteinen nauta).

Lämpökameran asetukset on syytä säätää oikeiksi luotettavien mittaustulosten saamiseksi aina ennen jokaista kuvauskertaa (ks. 2.3 [Lämpökamera tarvitsee taustatiedot](#)). Säättömahdollisuudet riippuvat käytettävän lämpökameran mallista. KuNa-hankkeen kehittämässä lämpökuvausohjeistuksissa lämpökuvat otetaan noin metrin etäisyydeltä kuvauskohteesta. Emissiivisyydeksi asetetaan 0,95 tai "matta" lämpökamerasta riippuen. Kuvaustaikojen ilman lämpötila ja ilmankosteus mitataan erillisellä

lämpömittarilla. Heijastuvana lämpötilana käytetään ympäristön lämpötilaa, jos lähellä ei ole voimakkaasti kylmää tai kuumaa hohkaavia elementtejä.

Ennen lämpökuvasta eläimen puhdistus tai rapsuttelu saattaa tuntua houkuttevalta ajatukselta. Eläintä ei kuitenkaan saa puhdistaa tai koskea, sillä kuvattavan kohteen käsittely voi vaikuttaa pintalämpötilaan ja vääristää mittaustuloksia (Kuva 7). Hevosten diagnostisessa lämpökuvantamisessa ohjeena pidetään, ettei hevoseen koskettaisi noin tuntiin ennen lämpökuvantamista (Soroko & Davies Morel 2013).

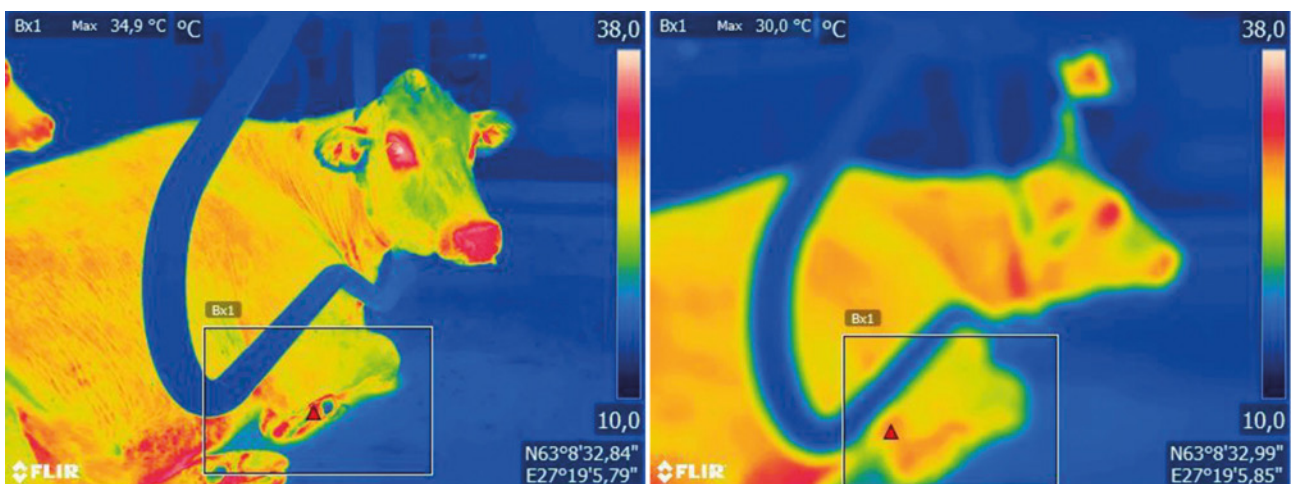
Kun yllä kuvatut alkuvalmistelut on tehty, on lämpökamera valmiina lämpökuvaukseen. Lämpökuvauksessa pitää kuitenkin huomioida, että lämpökameran ohjelmisto kalibroi itse itseään säännöllisesti myös kuvauksen aikana. Jos lämpökameran ruudussa lukee "Kalibroidaan" tai vasemman laidan yläosassa lämpötila-arvon edessä näkyy ~ -merkki, on odotettava niiden häviämistä näytöltä ennen lämpökuvauksista. Nämä merkit kertovat, ettei lämpötilamittaus ole vielä luotettava vaan lämpökamera kalibroitu tai lämpötila-arvojen laskenta on kesken.



Kuva 7. Lämpökamera visualisoi sorkan lämpöjäljen lattiasta. Jos eläintä kosketetaan juuri ennen lämpökuvauksista, voi eläimen pintaan jäädä lämpöjälki kädestä. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.

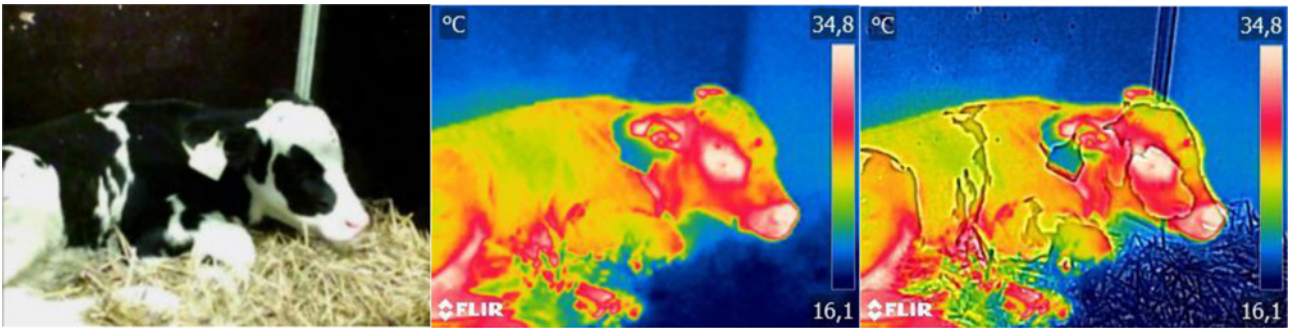
3.4.2 Tarkennus

Kuvan tarkennus on erittäin olennaista, jotta mittaustuloksista saadaan luotettavia (Tattersall 2016). Epätarkassa lämpökuvassa mittaustulos on väärä. Pienetkin virheet tarkennusvaiheessa voivat vaikuttaa paljon mittaustulokseen. Kun kuva on huonosti tarkennettu, ympäristön lämpötila ikään kuin sulautuu kohteen lämpötilaan ja vääristää mittaustulosta. Ympäristöään lämpimämpää kohdetta kuvattaessa epätarkan kuvan antama maksimilämpötila on todellista alhaisempi (Kuva 8). Epätarkkaa lämpökuvaa ei saa korjattua edes analyysiohjelmia käyttämällä. Siksi kuvan tarkentaminen on ensiarvoisen tärkeää.



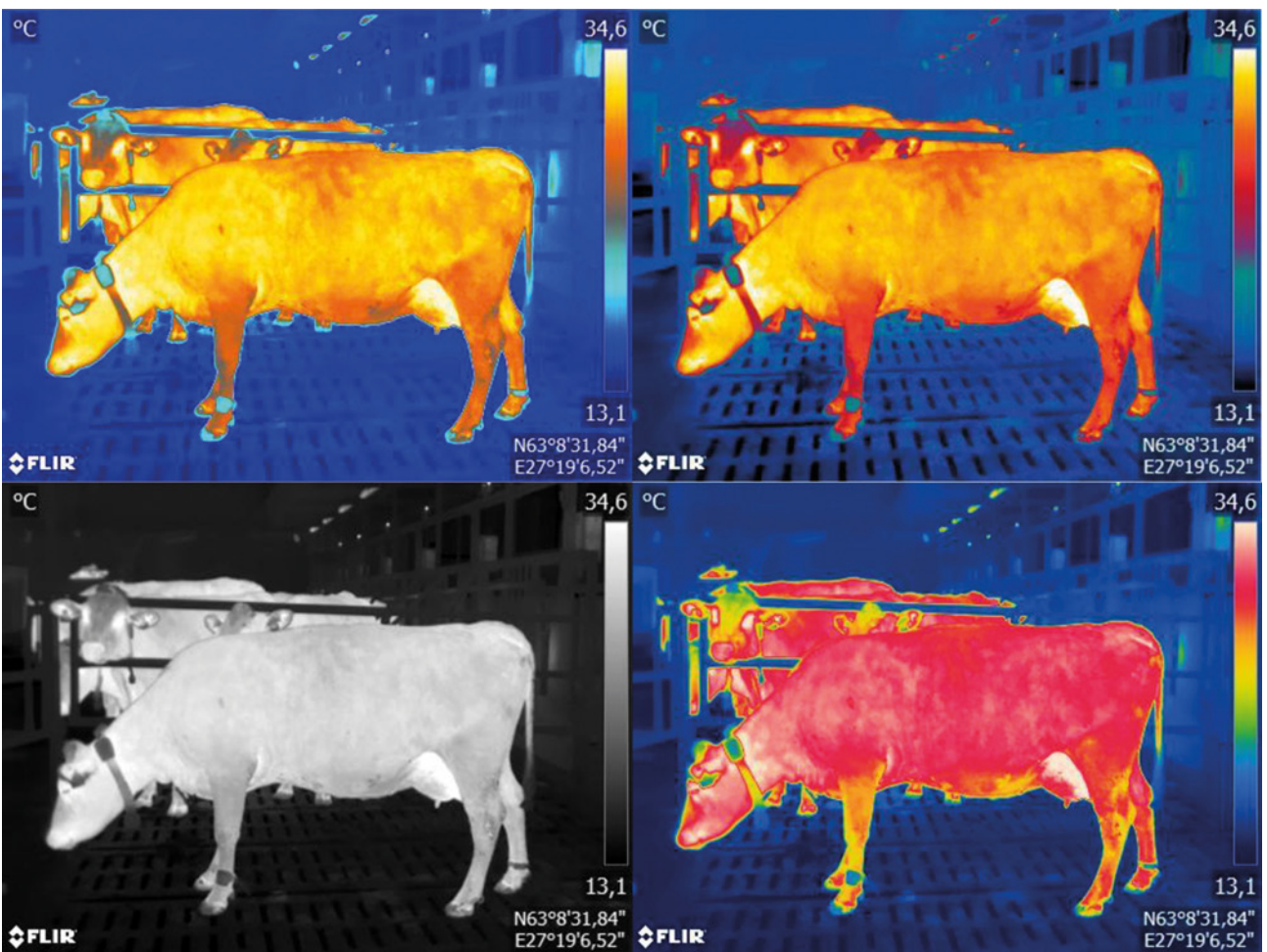
Kuva 8. Lämpökuvan tarkkuus vaikuttaa mittaustulokseen. Epätarkan lämpökuvan maksimilämpötila on alhaisempi kuin tarkaan lämpökuvan (30,0°C vs. 34,9°C), kuvan tarkentaminen onkin tärkeää. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Joissakin lämpökameroissa on MSX (*Multi-Spectral Dynamic Imaging*) -ominaisuus, joka yhdistää lämpökuvaa samalla otetun valokuvan ääriarvot (Kuva 9). Lämpökuvia tulkitessa MSX-työkalu auttaa selkiyttämään lämpökuvaa: ominaisuus on erityisen hyödyllinen lämpökameroissa, joiden resoluutio on matala ja kuva rakeinen. On kuitenkin huomioitavaa, että MSX-ominaisuuden käyttö ei vaikuta itse lämpökuvan tarkennukseen.

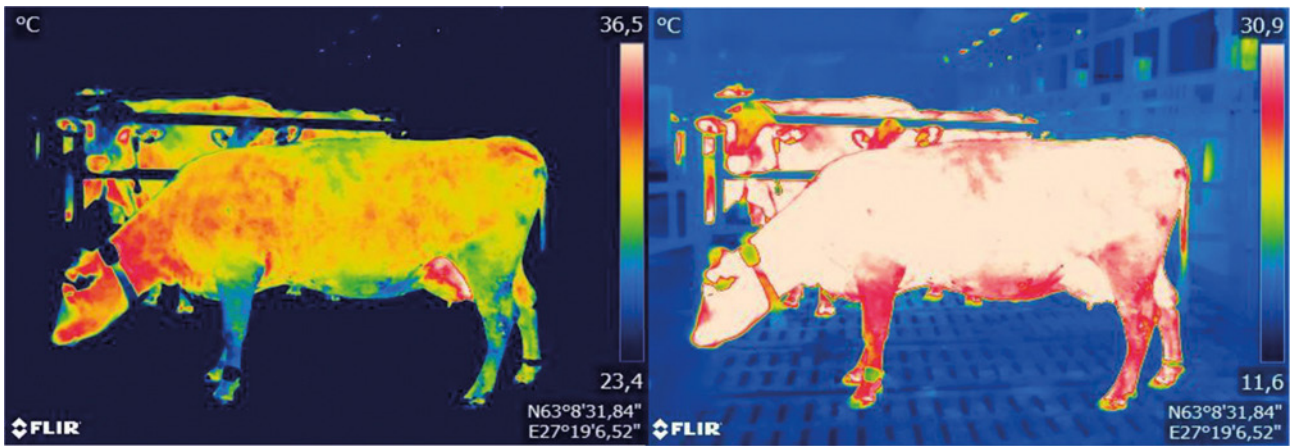


Kuva 9. Multi-Spectral Dynamic Imaging (MSX) -ominaisuus voi auttaa lämpökuvan tulkinassa. Digikamerakuvan ääriviivat (kuva vasemmalla) on yhdistetty lämpökuvaan (keskellä), jolloin lämpökuvan tulkinta voi helpottua (oikealla). Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Lämpökuvia voidaan tarkastella käyttäen erilaisia väripaletteja. Kuvassa 10 lämpökuva on saatu näennäisesti näyttämään hyvin erilaiselta, kun kuvaa on käsitelty erilaisilla väripaletteilla, vaikka kaikissa kuvissa on lukittuna sama lämpötilaskaala (13,1-34,6 °C). Kuvia tulkitessa pitää muistaa, että väripaletti ei vaikuta lämpötilamittaukseen, vaikka sen avulla lämpökuvista voidaan korostaa erilaisia yksityiskohtia. Oikein käytettynä väripalettien käyttö helpottaakin lämpökuvan tulkintaa. Lämpötilaskaala muuttamalla voidaan puolestaan korostaa mitattavan kohteen pintalämpötilan muutoksia tai esimerkiksi häivyttää kuvauskohteen taustan lämpötilavaihteluita (Kuva 11). Lämpökuvia vertailtaessa kannattaa siis kiinnittää huomiota väripalettiin ja lämpötilaskaalaan.



Kuva 10. Sama lämpökuva neljällä erilaisella väripaletilla käsiteltynä. Väripaletit vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas: Arctic, Lava, Gray ja Rainbow. Väripaletteja käytettäessä kannattaa muistaa, että niiden muuttaminen ei vaikuta itse lämpötilamittaukseen. Kaikissa kuvan 10 lämpökuvissa on käytetty samaa lämpötila-asteikkoa (palkki lämpökuvien oikeassa reunassa). Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.



Kuva 11. Lämpökuvien yksityiskohtia voidaan tuoda esille tai häivyttää lämpötilaskaalaa säätämällä. Vasemmassa kuvassa lämpötila-asteikko on säädetty välille 23,4-36,5 °C, jolloin taustalla olevat viileämmät kohteet eivät näy kuvassa ja huomio keskittyy eläimeen. Oikeanpuoleisessa kuvassa lämpötila-asteikko on asetettu välille 11,6-30,9 °C, jolloin ympäristön lämpötilat näkyvät tarkemmin, mutta kaikki yli 30,9 °C lämpötilat kuvautuvat vaaleana. Kuvissa on käytössä sama väripaletti. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Lämpökuvauksen muistilista

Nämä yleiset lämpökuvausohjeistukset on huomioitava sekä sorkkien että poikimahalvausten varhaisen havaitsemisen lämpökuvantamisoheistuksissa.

Lämpökameran valmistelu ennen lämpökuvausta

- Tarkista käyttöönottotarkastuksessa, että
 - lämpökamera on päällisin puolin kunnossa
 - lämpökameran akussa on riittävästi virtaa
 - tarvittaessa tee vertailumittaus
- Tarkista lämpökameran asetukset
 - kuvausetaisyys
 - emissiivisyys kuvattavan kohteen mukaan: nautoja kuvatessa matta tai 0,95 lämpökameran asetuksista riippuen
 - ilman lämpötila ja ilman kosteus: erillisellä mittarilla mitattu ilman lämpötila ja ilman kosteus
 - heijastuva lämpötila: ilman lämpötila
- Video: Lämpökuvaus: kameran asetukset ja kuvausvinkkejä (<https://www.youtube.com/watch?v=LFO0BRORzho>)



Eläimen valmistelu ennen lämpökuvausta

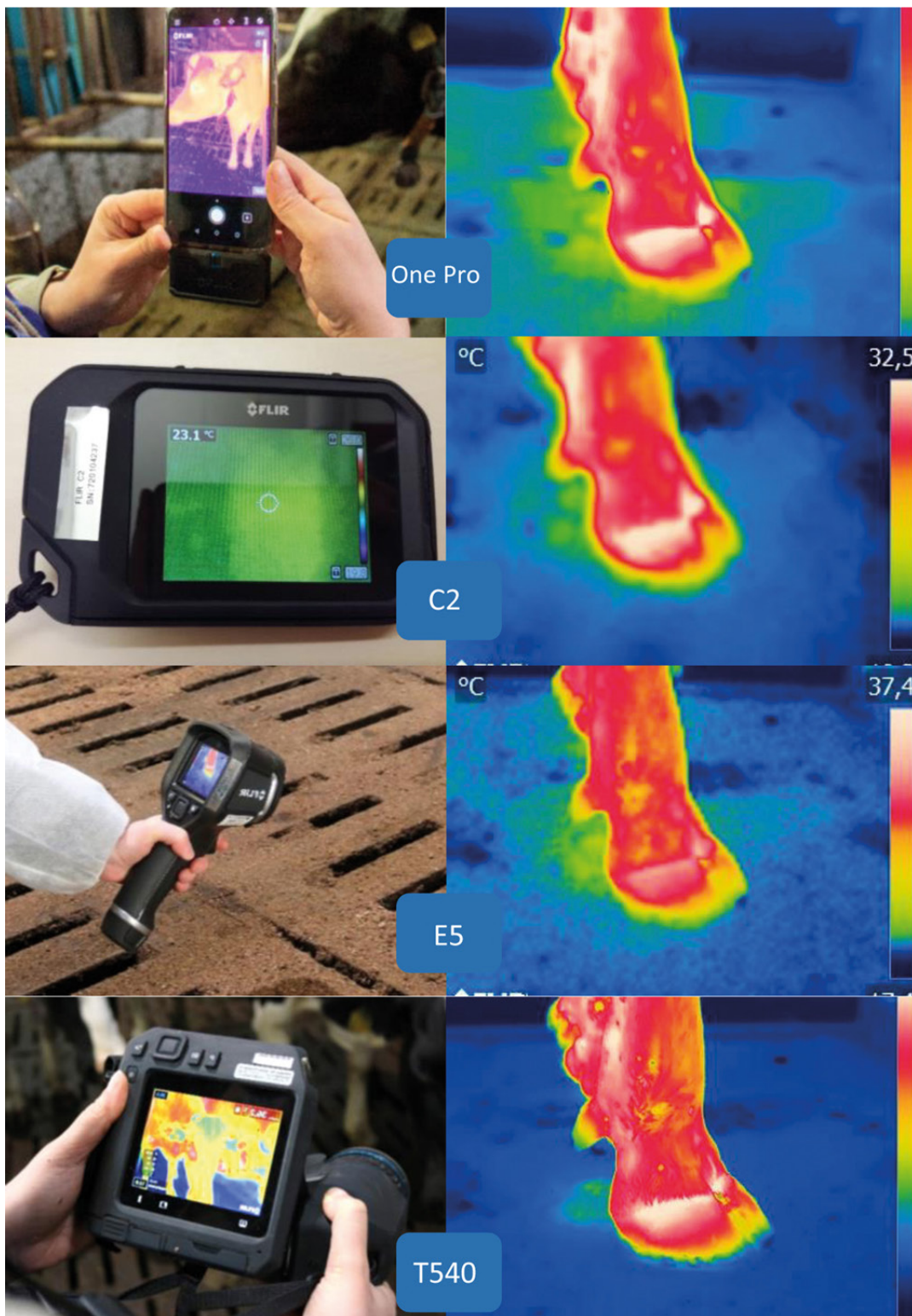
- Älä puhdista tai rapsuttele eläintä juuri ennen kuvausta, sillä käsittely voi vaikuttaa eläimen pintalämpötilaan.

Kuvauksen vinkkilista

- Pyri kuvaamaan mahdollisimman kohtisuoraan, alle 45 ° muutokset kuvauskulmassa eivät vaikuta merkittävästi mittaustulokseen.
- Oikean pintalämpötilan mittaamiseksi on lämpökuvan oltava tarkka. Epätarkkaa lämpökuvaa ei voi pelastaa edes kuvankäsittelyohjelmalla.
- Jos lämpökameran ruudussa lukee "Kalibroidaan" tai vasemman laidan yläosassa lämpötilan arvon edessä näkyy ~ -merkki, odota niiden poistumista ennen kuvausta.

4. Kuva Nautaa -hankkeessa testatut lämpökamerat

Yksi KuNa-hankkeen tavoitteista oli selvittää, minkälainen lämpökamera olisi sopiva nautojen lämpökuvantamiseen maataloilla. Tämän selvittämiseksi testasimme neljää erilaista, hinnaltaan edullista lämpökameraa: FLIR E5, FLIR C2, FLIR ONE Pro ja Caterpillar S60 (Kuva 12). FLIR E5 ja C2 ovat erillisiä lämpökameroita, kun taas ONE Pro on älypuhelimeen liitettävä lisälaitte. Caterpillar S60 on puolestaan puhelin, jossa on sisäänrakennettu lämpökamera. Näiden lämpökameroiden ominaisuuksia peilattiin tutkimuskäyttöön soveltuvan lämpökameran (FLIR T540) ominaisuuksiin. Lisäksi kerättiin kokemuksia lämpökameroiden käytettävyydestä navettaolosuhteissa.



Kuva 12. KuNa-hankkeessa testattiin hinnaltaan edullisia lämpökameroita: FLIR ONE Pro, C2 ja E5 –lämpökameroilla otetut lämpökuvat eroavat resoluutioltaan tutkimuskäyttöön soveltuvan T540-lämpökameran kuvista. Kuvat: Inka Nykänen, Savonia; Lilli Frondelius, Luke; Kuva Nautaa -hanke.

Lämpökameroiden ominaisuudet vaihtelevat kameramalleittain (Taulukko 1). Tutkimuskäyttöön soveltuvassa FLIR T540 lämpökamerassa lämpökuvan resoluutio on muita kameroita korkeampi, joten tällä lämpökameralla otetut lämpökuvat ovat muilla testatuilla kameroilla otettuja kuvia terävämpiä (Kuva 12). Testattujen lämpökameroiden mittaustarkkuus vaihteli $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteen välillä. Erotteluherkkyys puolestaan vaihteli 0,04 ja 0,15 $^{\circ}\text{C}$ asteen välillä. Esimerkiksi FLIR E5 pystyy erottamaan alle 0.1 $^{\circ}\text{C}$ eron mittaustarkkuudessa FLIR One Pron ollessa hieman epäherkempi (0.15 $^{\circ}\text{C}$).

Taulukko 1. Kuvaa Nautaa -hankkeessa testattujen lämpökameroiden (FLIR T540, FLIR E5, FLIR C2, FLIR One Pro ja Caterpillar (CAT) S60) ilmoitettu lämpökuvan resoluutio (IR-resoluutio), mittaustarkkuus (accuracy), herkkyys (sensitivity, NETD) ja laitevalmistajan arvioima akunkesto tunteina (h).

Lämpökamera	IR-resoluutio	Mittaustarkkuus	Herkkyys	Akunkesto (h)
FLIR T540	464 x 348	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ tai 2%	$< 0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$	4
FLIR E5	120 x 90	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ tai 2 %	$< 0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$	4
FLIR C2 ¹	80 x 60	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ tai 2%	$< 0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$	2
FLIR ONE Pro	160 x 120	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ tai 5%	0.15 $^{\circ}\text{C}$	1
CAT S60 ¹	80 x 60	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	0.15 $^{\circ}\text{C}$	- ²

¹ Lämpökameramalli on poistunut markkinoilta. ² Riippuu puhelimen muusta käytöstä.

Teknisten ominaisuuksien vaihtelun lisäksi lämpökameramalleissa olevat mittaustyökalut vaihtelivat (Taulukko 2). Tämän seurauksena esimerkiksi sorkkien maksimilämpötila etsitään lämpökuvasta eri työkaluilla lämpökamerasta riippuen (Kuva 13).

Lämpökameroiden tekniset ominaisuudet ja käytettävissä olevat työkalut vaikuttavat lämpökameroiden hintoihin ja nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että mitä enemmän kameralla on hintaa, sen enemmän ominaisuuksia. Hintaluokaltaan edullisempien lämpökameroiden hinnat vaihtelivat niiden hankintahetkellä noin 400 – 1500 euron välillä FLIR T540 -lämpökameran hinnan ollessa huomattavasti korkeampi, noin 17 000 euroa.

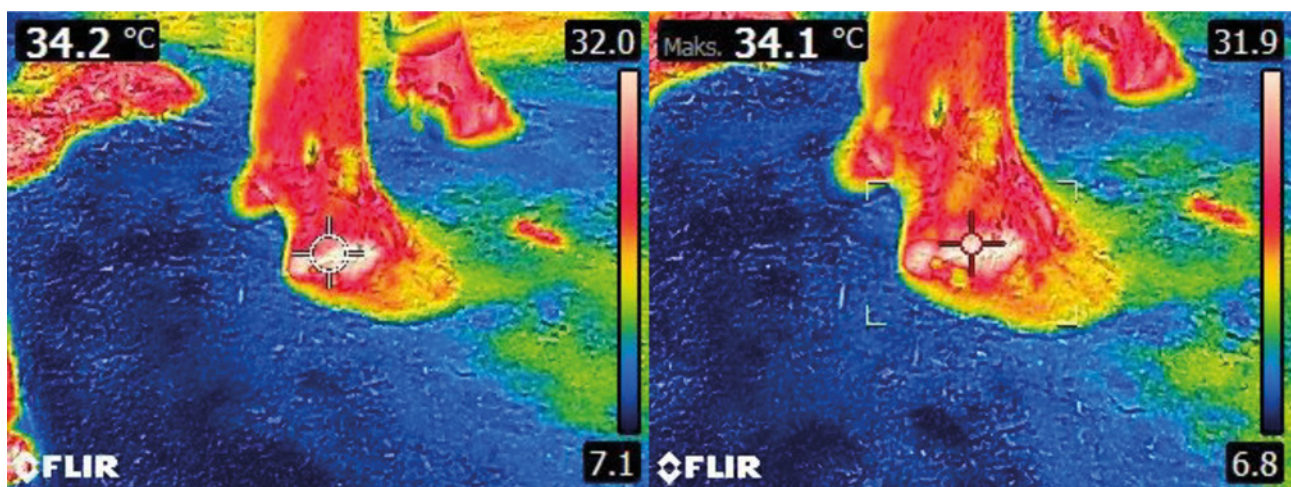
Taulukko 2. Eri kameramalleissa käytössä olevat mittaustyökalut: koko näytön minimi (min), maksimi (max) ja keskiarvo (ka); kiinteän tai liikuteltavan mittaruudun tai -ympyrän minimi (min), maksimi (max) ja keskiarvo (ka); pistemittaus-työkalu (pisteen lämpötila); keskipiste; kahden pisteen lämpötilaero.

Lämpökamera	Koko näytön min, max ja ka	Mittaruudun/-ympyrän min, max ja ka	Pistemittaus-työkalu (pisteen lämpötila)	Keskipiste	Kahden pisteen lämpötilaero
FLIR T540	x ¹	x	x	x	x
FLIR E5		x ²		x	
FLIR C2			x	x	
FLIR One Pro		x ³	x		
Cat S60	x	x	x		

¹ suorakulmiotyökalun avulla

² maksimi ja minimi

³ keskiarvo



Kuva 13. Vasemmassa kuvassa sorkan maksimilämpötila on mitattu Keskipiste-työkalulla (FLIR E5). Mittaustyökalun kohdistin on suunnattu sorkan ruununrajan kuumimpaan kohtaan ja lämpötila luetaan vasemmassa yläkulmassa olevasta mustata laatikosta (34,2 $^{\circ}\text{C}$). Oikeanpuoleisessa kuvassa sorkan maksimilämpötila on mitattu Aluemittaus-työkalulla ("Kuumin piste"). Mittausalue kohdistetaan sorkkaan, jolloin lämpökamera etsii automaattisesti kuumimman pisteen kohdistetulta alueelta. Maksimilämpötila näkyy kuvan vasemman ylälaidan laatikosta (34,1 $^{\circ}\text{C}$). Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

5. Millainen lämpökamera soveltuu nautojen lämpökuvaukseen?

Lämpökameran käyttö nautojen hyvinvoinnin seurannan apuvälineenä vaatii kameralta tiettyjä ominaisuuksia. Jotta lämpökuvaaminen olisi mahdollisimman helppoa ja vaatisi hyvin vähän ylimääräistä työtä, keskitymme esittelemään erityisesti sellaisia ominaisuuksia, jotka mahdollistavat kuvien tulokinnan heti kuvan ottamisen yhteydessä ilman analyysiohjelmien käyttöä eli suoraan lämpökameran näytöltä.

On hyvä huomata, että diagnostiseksi välineeksi kelpaavalta lämpökameralta vaaditaan paljon enemmän, kuin mitä tässä luvussa esitellään.

5.1 Pölyä, roiskeita ja pakkasta - lämpökamera koviin olosuhteisiin

Yksi tärkeimmistä navettakäyttöön tarkoitetun lämpökameran ominaisuuksista on hyvä akunkesto. Nautoja lämpökuvatessa kuvausolosuhteet ovat usein viileät. Akkujen kesto lyhenee viileässä kuvatussa huomattavasti ja lämpökameraa valitessa kannattaakin valita kamera, jonka akunkesto on mahdollisimman hyvä (Taulukko 1). Lisäksi kannattaa muistaa, että ilmoitettu akunkesto pitää paikkansa vain silloin kun kuvataan huoneenlämmössä. Viileämmässä kuvatussa akunkesto on helposti puoletkin ilmoitettua lyhyempi.

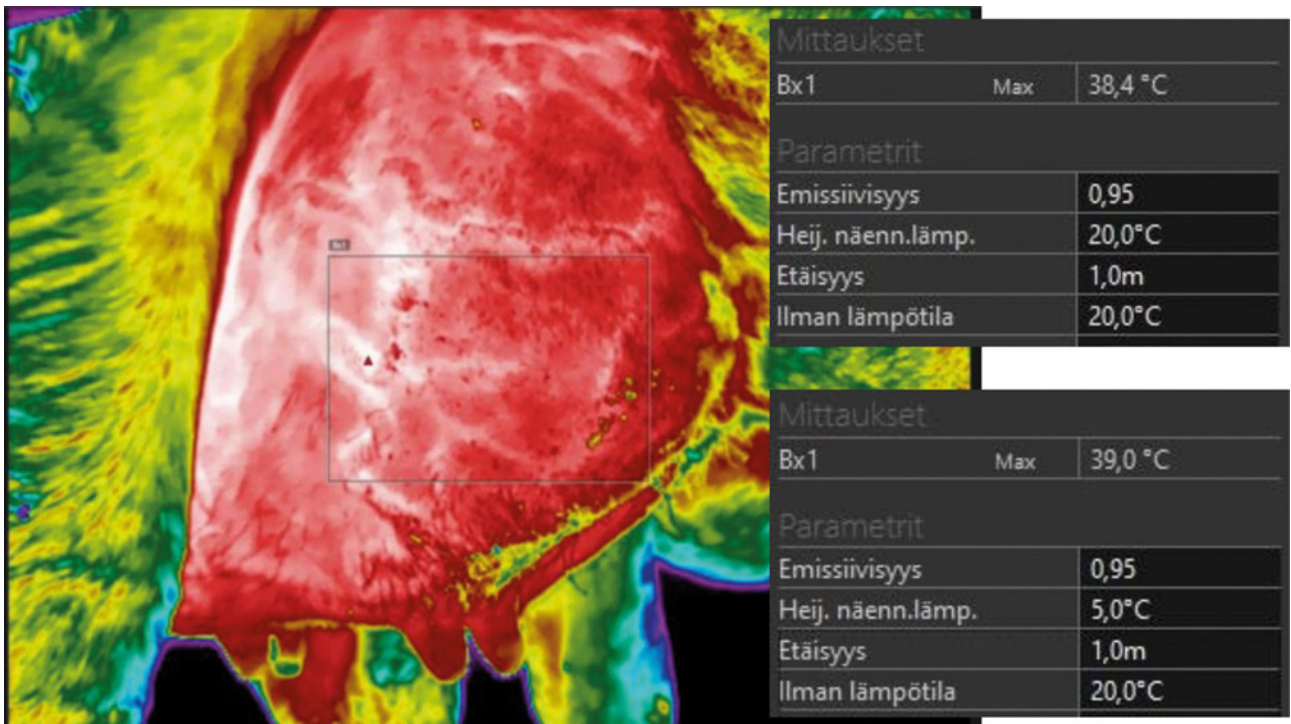
Suomen olosuhteissa myös alimpaan mahdolliseen käyttölämpötilaan kannattaa kiinnittää huomiota ja valita lämpökamera, jolla voi kuvata myös pakkasella. Lämpökameroiden teknisissä tiedoissa on ilmoitettu kameralle soveltuva käyttölämpötila (*Operating temperature range*). Kun lämpökameraa voi käyttää myös talviolosuhteissa, sitä voi helpommin käyttää myös muiden kohteiden kuvaamiseen, kuten esimerkiksi rehun lämpenemisen tarkkailuun.

Lämpökameran rakenteen tulisi olla mahdollisimman tiivis, sillä navetan ilmassa on kosteutta ja pölyä. Myöskään roiskeilta ei aina voi välttyä. Tiiviyttä tarvitaan myös silloin kun kameraa joutuu puhdistamaan ja desinfioimaan esimerkiksi tarttuvien eläintautien torjunnan vuoksi. Kestävää ja tiivistä lämpökameraa ei tarvitse erityisemmin varoa ja suojella, jolloin työ on sujuvaa ja navetassa liikkuminen luontevaa.

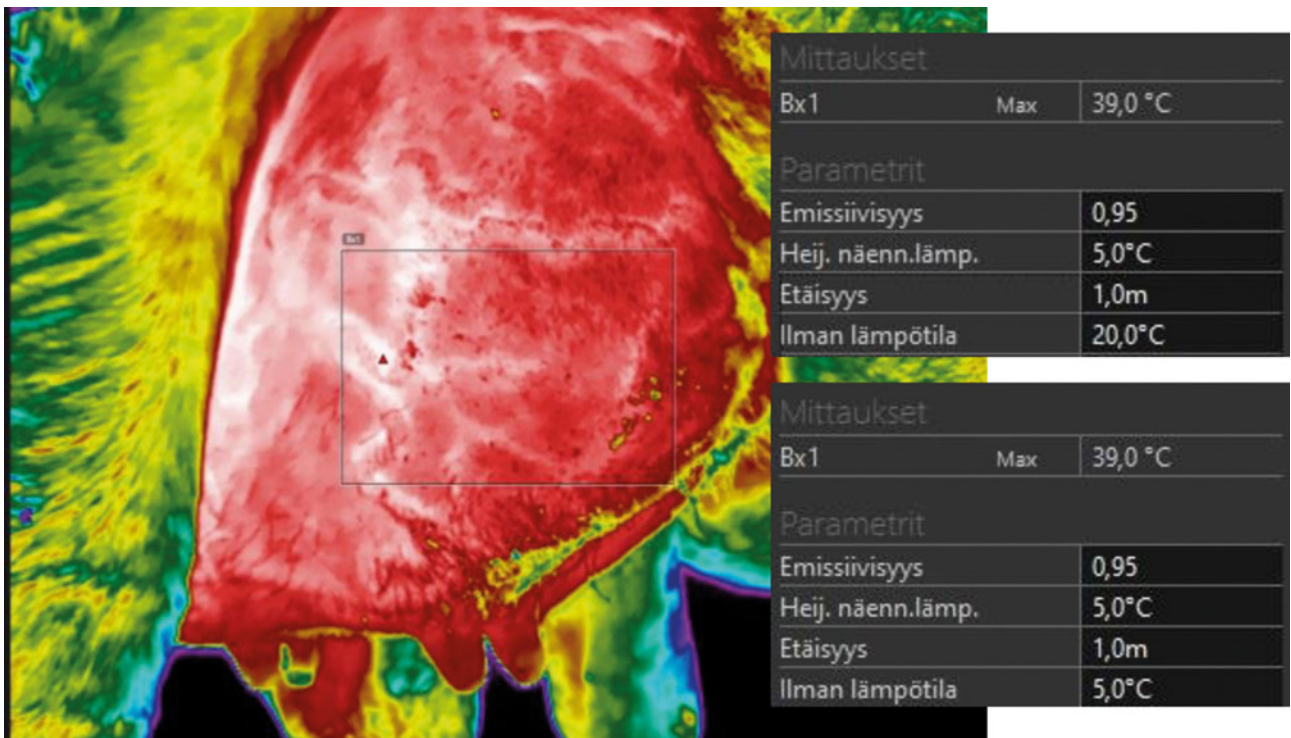
Lämpökamerahankintaan suunniteltaessa myös lämpökameran näppäinten ja valikoiden helppokäyttöisyyteen kannattaa myös kiinnittää huomiota. Asetuksien säätämisen ja kuvanoton tulisi onnistua käsiin kädessä. Isot kamerat ovat tässä suhteessa pieniä parempia, mutta omat käyttötarpeet toki vaikuttavat valintaan. Jos lämpökuvaamista aikoo tehdä säännöllisesti muun työn ohessa, pienestä taskuun mahtuvasta koosta on hyötyä.

5.2 Kuvaa ja tulkitse heti -tyyppisen kuvaamisen tuomat erityisvaatimukset

Jotta lämpökameran kuvaa voi tulkitä suoraan kameran näytöltä, tarvittavat asetukset tulee voida laittaa kohdilleen kameran valikoista. Asetusmahdollisuudet vaihtelevat paljon kameramallista riippuen. Ehdottoman tärkeää on, että emissiivisyysarvon saa asetettua oikeaksi. Lisäksi heijastuvalle lämpötilalle tulisi voida asettaa arvo lämpökamerassa. Navetassa rakenteet ovat usein hyvin kylmiä ja niiden lämpötila voi erota suurestikin ilman lämpötilasta. Kuva 14 havainnollistaa, miten heijastuva lämpötila vaikuttaa mittaustulokseen. Heijastuvan lämpötilan rooli on sitä suurempi, mitä pienempi on kuvattavan kohteen emissiivisyys. Esimerkissä käytetty 0,95 on yleisesti eläimiä kuvatussa käytetty emissiivisyyden arvo, mutta joissain lähteissä näkee käytettävän arvoa 0,98. Silloin heijastuvan lämpötilan merkitys on hieman pienempi. Ilman lämpötilalla ja ilmankosteudella on pienempi merkitys mittaustuloksen kannalta varsinkin, kun kuvataan kohdetta läheltä (Kuva 15).



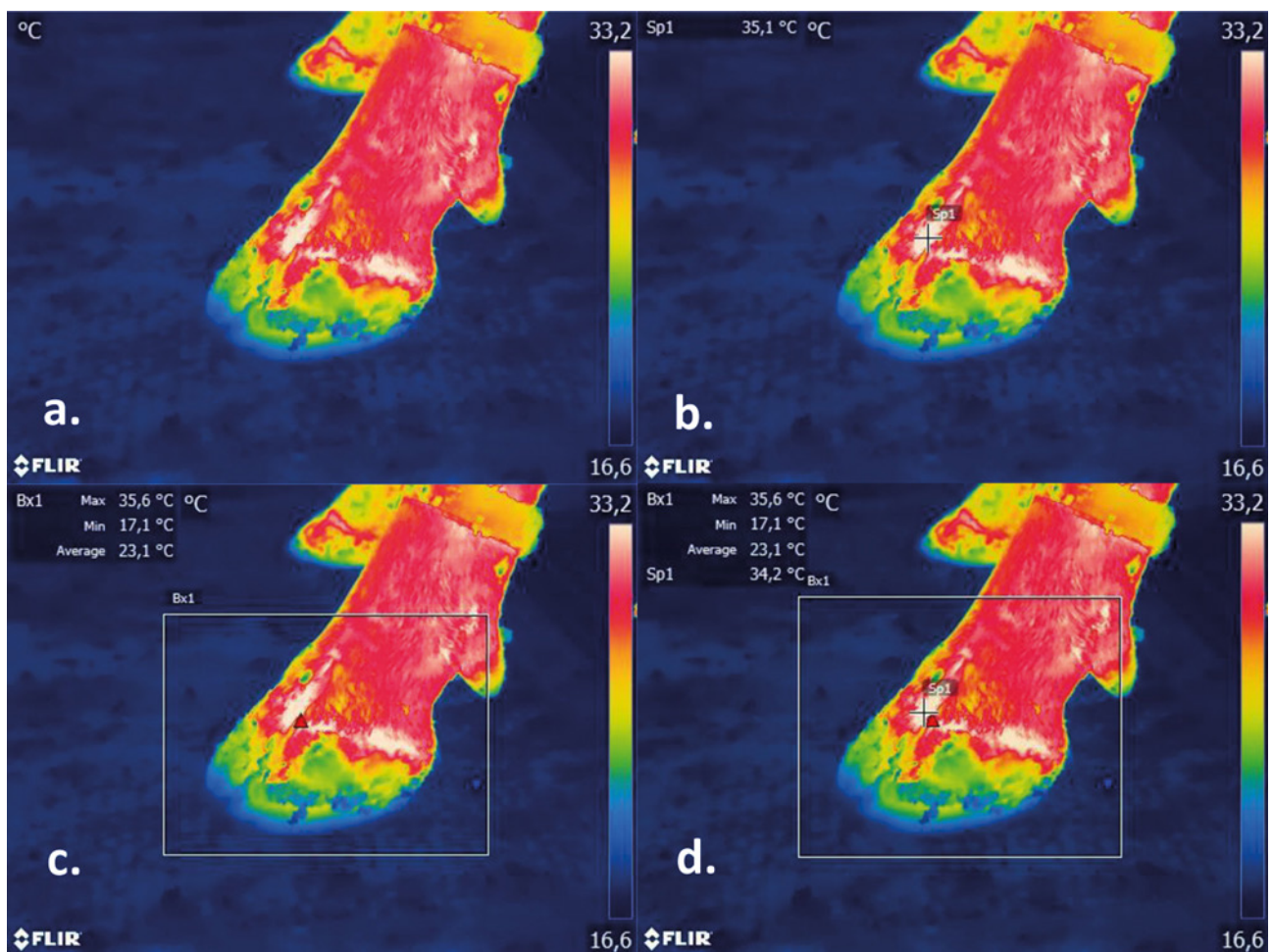
Kuva 14. Virheellinen heijastuvan lämpö vääristää lämpötilamittaustulosta. Mittaustulos näkyy kunkin taulukon ylimmällä rivillä (Bx1 Max). Ylemmässä taulukossa on heijastuvana lämpönä 20 °C ja mittaustulos on 38,4 °C. Alemmassa taulukossa heijastuvana lämpönä 5 °C ja mittaustulos on 39,0 °C. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.



Kuva 15. Ilman lämpötilan merkitys mittaustulokseen on varsinkin lyhyillä mittausetäisyyksillä heijastuvaa lämpötilaa huomattavasti vähäisempi. Ylemmässä taulukossa on ilman lämpötilana 20 °C ja alemmassa 5 °C. Mittaustulos näkyy kunkin taulukon ylimmällä rivillä (Bx1 Max) ja se on molemmilla arvoilla sama (39,0 °C). Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.

5.3 Kunnolliset mittaustyökalut

Eläimiä lämpökuvatessa on usein tarkoituksena löytää tietyn alueen lämpimin kohta. Lämpökameran kuvassa lämpötilat näkyvät eri väreillä. Esimerkiksi Rainbow-väripalettia käytettäessä lämpimimmät kohdat näkyvät valkoisella (Kuva 16). Vaikka lämpökuvan reunassa olevasta asteikosta näkee summittaisen arvion kuvassa näkyvistä lämpötiloista, siitä ei voi päätellä mikä on kuvan kuumimman pisteen lämpötilaa eikä sijaintia (Kuva 16 a). Lämpimimmän kohdan paikantaminen ja sen tarkan lämpötilan mittaaminen onnistuu vain käyttämällä lämpökameran valikoista löytyviä mittaustyökaluja. Kaikissa lämpökameroissa on vähintään pistetyökalu, jonka voi kohdistaa haluamaansa kohtaan ja joka mittaa kyseessä olevan kohdan lämpötilan (Kuva 16 b). Kuumin kohta etsitään tarkastelemalla kuumilta näyttäviä paikkoja pistetyökalun avulla. Käytännössä lämpimimmän kohdan löytäminen on helpointa mittaustyökalulla, joka hakee ja paikantaa kuumimman pisteen automaattisesti, sekä ilmoittaa näytöllä sen lämpötilan (Kuva 16 c). Eläin liikkuu myös paikallaan seisoessaan sen verran, että juuri oikean kohdan löytäminen pistetyökalun avulla on haastavaa. Osuminen vähänkin sivuun kuumimmasta kohdasta voi vaikuttaa paljon saatuun mittaustulokseen, vaikka silmämääräisesti värien perusteella arvioituna pistetyökalu (musta risti) osuu lämpimimpään kohtaan (Kuva 16 d).



Kuva 16. Mittaustyökalun merkitys lämpökuvan tulkinnessa. a) Lämpökuvassa ei ole käytössä mittaustyökalua. Kuumin piste sijoittuu valkealle alueelle (vrt. värien lämpötilaskaala kuvan oikeassa laidassa), mutta sen tarkka sijainti ja lämpötila ei selviä kuvasta; b) pistemittaustyökalua käytettäessä mittauspiste pitää itse kohdistaa sinne, missä lämpökuvan värien perusteella arvioi kuumimman kohdan sijaitsevan; c) aluemittaustyökalu näyttää automaattisesti kuumimman (punainen kolmio, Max) ja kylmimmän (sininen kolmio, Min) kohdan sijainnin sekä niiden lämpötilat; d) pistetyökalun osuminen hieman sivuun aidosti kuumimmasta kohdasta voi aiheuttaa ison eron mittaustuloksissa (tässä 1,4 °C). Bx1 Max -kohdasta näkee aluettyökalun antaman maksimilämpötilan ja Sp1 -kohdasta pistetyökalun antaman lämpötilan. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Lämpökameramallien välillä on paljon eroa käytettävissä olevien mittaustyökalujen suhteen. Kannattaa panostaa lämpökameraan, jossa on jonkinlainen aluemittaustyökalu tai automaattisesti koko näytöltä lämpimimmän pisteen etsivä mittaustyökalu. Sopiva mittaustyökalu helpottaa ja nopeuttaa kuvaamista ja parantaa mittaustulosten luotettavuutta.

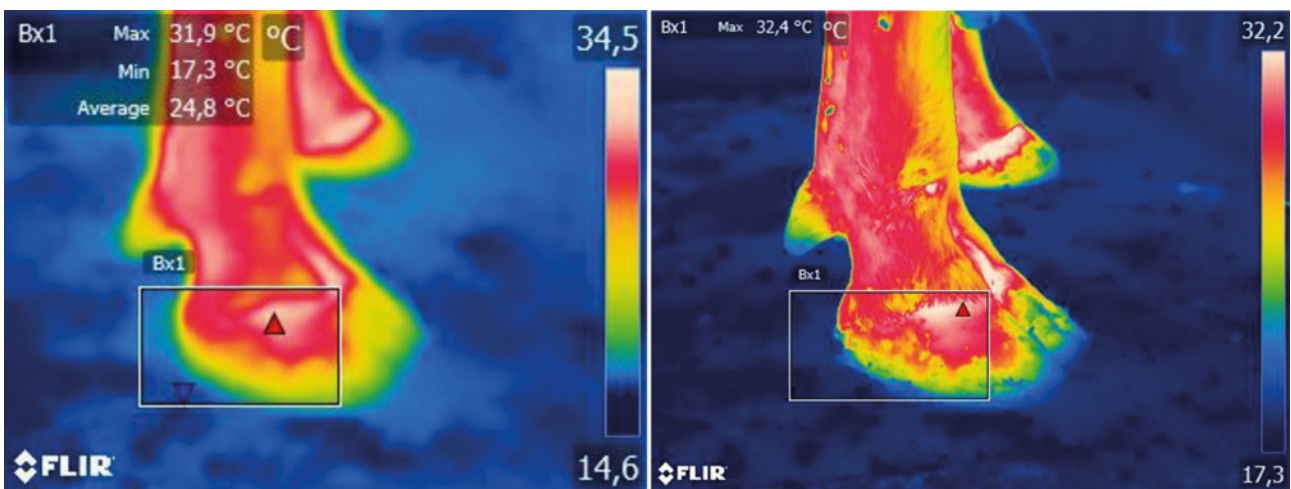
5.4 Tarkennus toimii, mutta tärähtäkö käsi?

Epätarkassa lämpökuvassa mittaustulos on väärä. Siksi kuvan tarkentaminen on ensiarvoisen tärkeää. Markkinoilla olevissa lämpökameroissa on käytössä tarkennusominaisuuksiltaan monenlaisia linsskejä (esim. focus free/fixed focus, manual ja automatic). Meidän kokemuksemme on, että kaikki tarkennusvaihtoehdot näyttävät olevan toimivia. Kuva pitäisi kuitenkin myös saada otettua ilman, että kamera heilahtaa kuvanottohetkellä. Joissakin testatuissa kameramalleissa kuvanottopainike oli hyvin jäykkä ja tarkkojen kuvien saaminen oli sen vuoksi vaikeaa. Kuvanoton helppoutta kannattaa mahdollisuuksien mukaan kokeilla itse. Kunnan liipaisin on luonnollisesti pientä näppäintä parempi, kun kädessä on työhanskat.

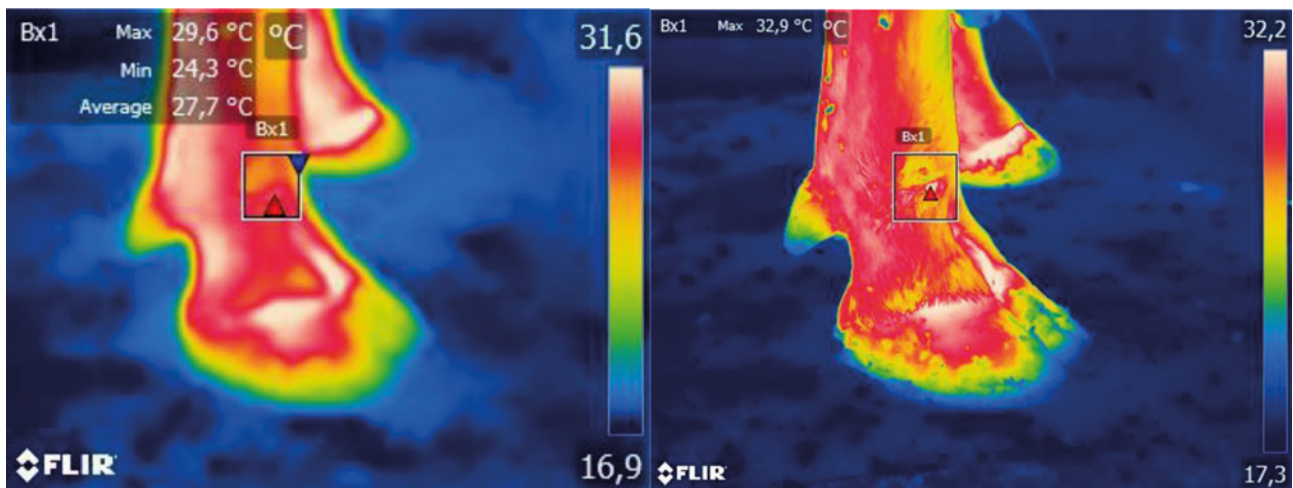
5.5 Hyvällä resoluutiolla yksityiskohdat esiin

Korkean resoluution lämpökameralla pystytään havaitsemaan paremmin pienialaiset vaihtelut pintalämpötilassa. Nautojen pintalämpötilassa on paljon pienipiirteistä vaihtelua jo pelkästään karvapeitteen vuoksi. Lika lisää pintalämpötilan vaihtelua entisestään. Esimerkiksi naudan sorkan ruununrajassa on yleensä vieri vieressä monen paksuista puhdasta karvapeitettä ja likaa. Likaiset kohdat ovat yleensä huomattavasti puhtaita kohtia viileämpiä, mutta kuvia tulkitessa kannattaa huomioida, että esimerkiksi tuore sonta on yleensä lämmintä.

Sorkkaterveyden havainnoinnissa kiinnostavaa on nimenomaan löytää ruununrajan korkein pintalämpötila puhtaalta alueelta. Kuvan 17 esimerkissä matalalla resoluutiolla kuvatessa mittapisteesiin osuu paksua ja ohutta karvapeitettä sekä likaista aluetta. Mittaustulos edustaa silloin näiden alueiden keskimääräistä lämpötilaa ja todellinen maksimilämpötila jää löytymättä. Korkean resoluution kameralla jokin mittapisteesistä osuu todennäköisemmin kokonaan puhtaalle alueelle ja aidosti lämpimin piste löytyy todennäköisemmin. Kuvassa 18 näkyy, miten resoluutio vaikuttaa mittaustulokseen myös silloin kun kuvattavalla alueella on pieni ihovaurio.



Kuva 17. Sama sorkka kuvattuna kahdella eri lämpökameralla. Vasemmanpuoleisen kamerasen resoluutio on 80 x 60 ja oikeanpuoleisen 464 x 348. Huomaa ero myös kuvien vasemmasta yläkulmasta löytyvissä mittaustuloksissa (maksimilämpötila 31,9 vs. 32,4 °C). Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.



Kuva 18. Eläimen jalassa oleva pienialainen ihovaurio (ruudun sisässä) kuvattuna kahdella eri lämpökameralla. Vasemmanpuoleisessa kuvassa matalamman resoluution (80 x 60) kameralla ihovaurio ei juurikaan erotu ja alueelta mitattu maksimilämpötila on useita asteita matalampi oikeanpuoleisen kuvan korkean resoluution (464 x 348) kameraan verrattuna (29,6 °C vs. 32,9 °C). Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

5.6 Saako halvalla riittävän hyvää?

Laadukkaissa lämpökameroissa on hyödyllisiä ja mittausten laatua parantavia ominaisuuksia, jotka näkyvät myös hinnassa. Laadukkaat lämpökamerat myös säilyttävät mittaustarkkuutensa varmemmin vuosienkin käytön jälkeen. Edullisissa lämpökameroissa tingitään aina joistain ominaisuuksista, mutta niistä voi silti löytyä omaan käyttötarkoitukseen sopiva kamera. Taulukossa 3 on vertailtu KuNa-hankkeessa testattuja kameroita. Kohtuullisen korkean resoluution kameroita löytyy myös edullisemmista hintaluokista. Samoin monipuolisia mittaustyökaluja omaavia kameroita. Joistain ominaisuuksista joutuu kuitenkin aina luopumaan. Mitä edullisempaa kameraa etsii, sitä tarkemmin kannattaa tutustua laitteen ominaisuuksiin ja miettiä sopiiko kyseinen lämpökamera käyttötarkoitukseensa.

Taulukko 3. KuNa-hankkeessa testattujen lämpökameroiden hintaluokka ja ominaisuuksien vertailua.

Lämpökamera	Resoluutio	Akun kesto	Alin/korkein käyttölämpötila	Mittaustyökalut	Tiiviys, kestävyys, käytettävyys	Tarkkuus, eroteluherkkyys	Hintaluokka
FLIR T540	+++	+++	+++	+++	++	+++	17 000 €
FLIR E5	+	+++	+++	+	+++	++	1 500 €
FLIR C2	-	++	++	-	++	++	500 €
FLIR One Pro	++	-	-	-	-	-	400 €
Cat S60	-	++	--	++	++	--	400 €

Puhelimeen integroidut lämpökamerat ovat edullisia ja kätevästi aina mukana. Niiden ongelma on, että puhelimen akku lämpenee ja vääristää mittaustulosta (Malmivirta ym. 2019). Haitta on suurin silloin, kun puhelimeen sisäänrakennettua lämpökameraa käytetään yhtäjaksoisesti pidempään esimerkiksi tilanteessa, jossa kuvataan useampia eläimiä kerralla. Luotettavimmat tulokset näillä laitteilla saa, kun puhelin on ollut lepotilassa ja akku on viileä. Siksi ne soveltuvat parhaiten yksittäisten kuvien ottamiseen.

Vinkit lämpökameran valintaan

- Hyvä akunkesto ja laaja käyttölämpötila (*Operating temperature*) mahdollistaa kameran monipuolisen käytön ympäri vuoden.
- Kosteuden, lian ja kolhujen kestävyys sekä helppokäyttöisyys on eduksi.
- Riittävän hyvä mittaustyökalu nopeuttaa kuvaamista, helpottaa kuvan tulkintaa ja parantaa mitausten luotettavuutta.
- Aluemittaustyökalu on eläinten kuvaamisessa lähes välttämätön, jos kuvia haluaa tulkita suoraan kameran näytöltä.
- Jos kuvia tulkitaan ilman analyysiohjelman käyttöä tietokoneella, lämpökameraan olisi voitava asettaa vähintään emissiivisyys ja heijastuva lämpötila.
- Mahdollisimman hyvä resoluutio.
- Mitä edullisempi lämpökamera sitä tärkeämpää on tutustua ominaisuuksiin etukäteen ja miettiä sopiiko kyseinen kamera käyttötarkoitukseensa.

6. Tutkittua tietoa lämpökuvien tulkintaohjeiden takana

Frondelius ym. (2019) tekemän kirjallisuusselvityksen ja innovaatioryhmän kanssa käytyjen keskustelujen perusteella KuNassa päädyttiin selvittämään tieteen menetelmin, onko lämpökuvantamisesta hyötyä nautojen utare- ja sorkkaterveyden seurannassa. Kiinnostuksen kohteena oli myös, voidaanko poikimisen ajankohtaa tai poikimahalvausta ennakoida lehmän pintalämpötilan muutoksista, koska tästä aiheesta ei juurikaan löytynyt tutkittua tietoa. Tutkimuskohteiden valinnassa huomioitiin aikaisempien tutkimustulosten lisäksi se, millaisten hyvinvointiongelmien seurantaan viljelijät kaipaisivat apua. Tässä luvussa kerrotaan, miten tutkimukset tehtiin ja millaisia tuloksia niistä saatiin. Kokeet toteutettiin Luke Maaningan tutkimuspihatossa.

Tutkimustuloksiin perehtyessä kannattaa huomata, että tutkimukset on tehty lypsylehmillä, eikä tulokset ole välttämättä suoraan sovellettavissa esimerkiksi liharotuisten nautojen lämpökuvien tulkintaan.

6.1. Utareterveyden seuranta lämpökuvantamisen avulla

Utaretulehdus on lypsylehmien yleisin sairaus, joka vaikuttaa utareen terveydentilaan ja tuotetun maidon määrään ja laatuun. Utaretulehduksen varhainen havaitseminen tehokkaan ja automaattisen seurantajärjestelmän avulla voisi olla keino parantaa maidontuotannon tehokkuutta ja eläinten hyvinvointia. Utaretulehduksen ilmaisemiseksi kehitetyt menetelmät, kuten somaattisten solujen lukumäärä tai maidonäytteen bakteriologinen määrittäminen, vaatii yleensä laboratorioanalyysijä (Pyörälä & Taponen 2009). Paremmiin tilatasolle sopivat menetelmät, kuten *California Mastitis Test* CMT (eli tutummin lettupannutesti), maidon sähkönjohtavuuden mittaaminen sekä maidon ulkonäön tutkiminen, mittaavat puolestaan tulehdusta epäsuorasti eikä testien herkkyys välttämättä riitä kaikkien tapausten, erityisesti piilevien utaretulehdusten, havaitsemiseen (Hovinen ym. 2008).

Tulehdusreaktio utareessa voi aiheuttaa kuumeen nousun (Hovinen ym. 2008) ja verenvirtauksen muutoksia kudostasolla, joista voi olla seurauksena utareen ihon pintalämpötilan nousu (ks. kirjallisuuskatsaus Frondelius ym. 2019). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko lämpökameran avulla utareen pintalämpötilaa mittaamalla havaita muutoksia utareterveydessä.

6.1.1 Miten utareterveyttä tutkittiin?

Koe toteutettiin tammi-kesäkuussa 2019 ja siinä seurattiin lehmiä joko poikimisesta eteenpäin (n=28, noin kuusi kuukautta) tai loppu lypsykaudesta (n=21, noin kolme kuukautta). Kokeen aikana lehmillä oli keskimäärin 115 päivää poikimisesta ja käytännössä puolen vuoden kokeen aikana vaihteluväli oli 3 – 300 päivää poikimisesta. Kokeessa oli sekä holstein- (n=38) että ayrshire-lehmiä (n=11). Lehmien keski-poikimakerta oli 2,63: ensikoita kokeessa oli 11, kaksi kertaa poikineita 14 ja tätä useamman kerran poikineita 24.

Lehmien utareet lämpökuvattiin (FLIR T540, Taulukko 1) kolme kertaa viikossa iltalypsyyn yhteydessä. Ennen kuvausten aloittamista määritettiin kamerasetukseen ilman lämpötila ja ilmankosteus lypsyasemalla olevan erillisen mittarin perusteella. Heijastuvan lämpötilan määrittämiseksi mitattiin lämpökameran avulla myös lypsyaseman lattian lämpötila lehmän alta. Emissiivisyysarvoksi asetettiin 0,95. Kameran asetuksia muutettiin tarvittaessa, jos ympäristöolosuhteissa tapahtui merkittäviä muutoksia (>3 yksikköä) lypsyyn aikana. Kaikki käytetyt asetukset kirjattiin erikseen ylös, jotta ne voitiin tarvittaessa tarkistaa vielä kuvien analysointivaiheessa.

Utareet lämpökuvattiin lypsyasemalla ennen lehmän valmistelua lypsyyn, koska utareiden pyyhkiminen vaikuttaa mitattavaan pintalämpötilaan. Kalanruotomallisella lypsyasemalla lämpökuvaa otettiin lypsymontusta vain siltä puolelta utareta, joka sillä lypsykerralla oli kuvaajalle näkyvässä. Utareet kuvattiin noin metrin etäisyydeltä hieman etuviistosta. Utareen koosta ja sijainnista riippuen suora

kuvauskulma ei aina ollut mahdollinen. Kuvauskulma ei kuitenkaan saanut ylittää 30 astetta. Jokaisesta utareesta otettiin kolme perättäistä kuvaa kerralla.

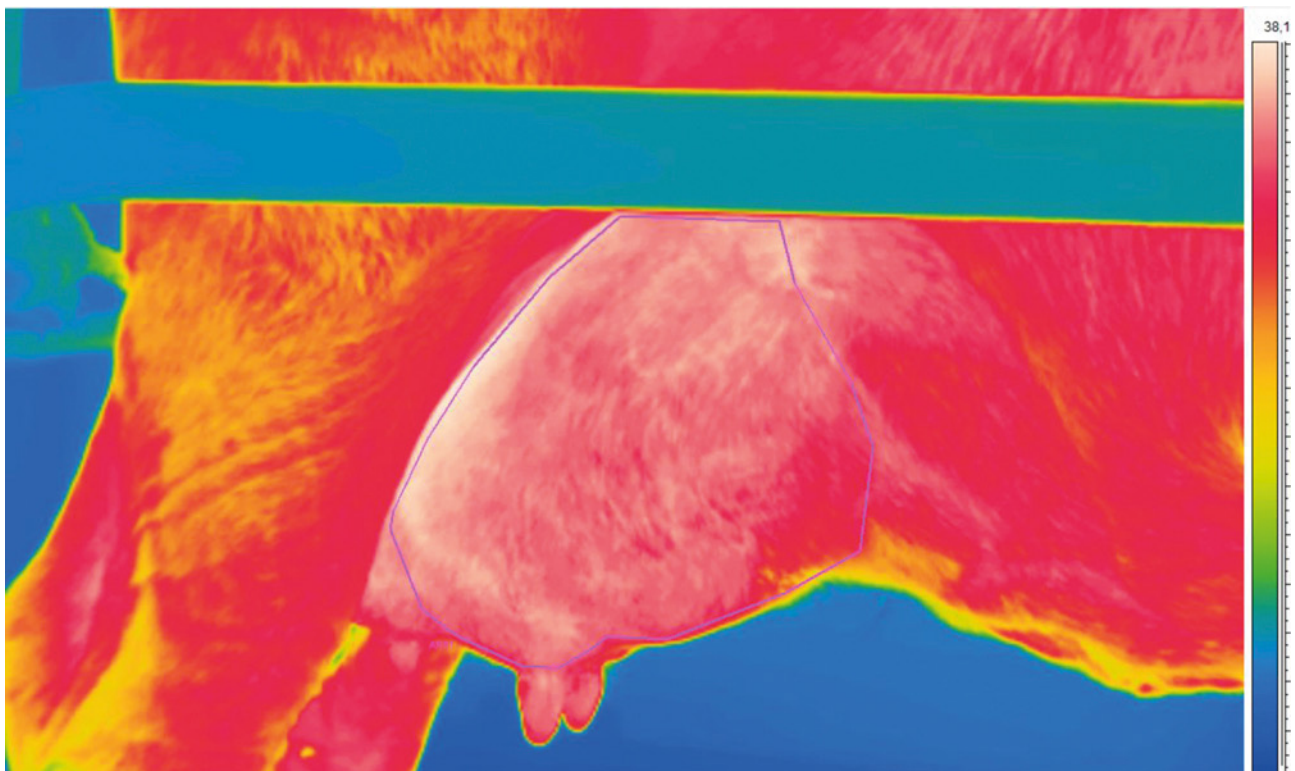
Lämpökuvauksen jälkeen lehmän utare pyyhittiin ja alkusuihkeet otettiin normaalin lypsyruutiinin mukaisesti. Lehmän lypsyvalmisteluiden jälkeen jokaisesta utareneljänneksestä tehtiin CMT-testi. CMT-testi perustuu maitoon sekoitettavaan reagenssiin, joka muodostaa geelimäistä sakkua reagoidessaan maidossa olevien somaattisten solujen DNA:n kanssa. Testin tulos tulkitaan silmämääräisesti arvioiden saostuman määrää ja se antaa karkean arvion somaattisten solujen määrästä maidossa (Taulukko 4).

Taulukko 4. *California Mastitis Test* -tulosten tulkinta (Marshall ym. 1993).

CMT-tulos	Kuvaus	Tulkinta
1	Ei saostumaa	SCC < 150 000 solua/ml. Negatiivinen tulos, ei utaretulehdusta.
2	Vähän saostumaa, häviää sekoittaessa	SCC 150 000 – 400 000 solua/ml. Terve, mutta seurattava.
3	Sakenee, mutta geeliä ei muodostu sekoittaessa	SCC 400 000 – 800 000. Heikko positiivinen tulos, piilevä utaretulehdus.
4	Selkeä geelin muodostuminen	SCC 800 000 – 5 000 000. Selvä positiivinen tulos, utaretulehdus.
5	Voimakas geelin muodostuminen, tarttuu kiinni maljaan	SCC > 5 000 000. Vahva positiivinen tulos, utaretulehdus.

6.1.2 Lämpökuvien analysointi

Lämpökuvat analysoitiin ThermaCAM Researcher Pro 2.10 -ohjelmalla ja kaikista analysoiduista utareneljänneksistä määritettiin alueen maksimi-, minimi- ja keskilämpötila sekä lämpötilan keskihajonta. Ennen analysointia ilman lämpötila ja kosteusarvot tarkistettiin ja heijastuvaksi lämpötilaksi korjattiin ilman ja lypsyaseman lattian lämpötilojen painotettu keskiarvo (3:1). Lämpökuvasta analysointiin vapaapiirtotyökalun avulla kuvassa näkyvältä utareen puoliskolta erikseen etuneljännes ja utareen mallista ja takajalan asennosta riippuen myös takaneljännes (Kuva 19).



Kuva 19. Lämpökuvasta on rajattu analysoitavaksi alueeksi utareen oikea etuneljännes. Oikea takaneljännes näkyy kuvassa huonosti, minkä takia sitä ei ole analysoitu. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.

6.1.3 Tulokset ja pohdinta

Kokeen aikana lypsyaseman navetta-ilmän lämpötila kuvauspäivinä oli keskimäärin 13,4 °C ja se vaihteli 3,0 – 27,5 °C:n välillä (Taulukko 5).

Taulukko 5. Lypsyaseman ilman lämpötilan kuukausittainen keskiarvo, minimi ja maksimi lämpökuvantamispäivinä.

Kuukausi	Ilman lämpötilan keskiarvo (°C)	Pienin mitattu ilman lämpötila (°C)	Korkein mitattu ilman lämpötila (°C)
tammikuu	8,4	3,0	11,8
helmikuu	11,5	5,5	17,0
maaliskuu	12,0	6,0	15,1
huhtikuu	14,0	9,0	20,0
toukokuu	14,1	6,5	19,0
kesäkuu	20,7	16,0	27,5

Kokonaisuudessaan yksittäisiä utareneljänneksiä analysoitiin yhteensä 3569. Valtaosa CMT tuloksista oli luokissa 1 – 2. Yhteensä 238 utareneljänneskohtaista CMT-näytettä ylitti piilevän tai kliinisen utaretulehduksen rajan: näytteistä 145 oli luokassa 3, 55 luokassa 4 ja 38 luokassa 5. Lehmät lypsivät kokeen aikana keskimäärin 36,4±8,8 kg maitoa päivässä.

Utareneljänneksen keskimääräinen pintalämpötila oli 35,2±1,2 °C (Taulukko 6). Tilastoanalyysissä mallinnettiin CMT-luokan, laktaatiopäivän, maitomäärän, analysoidun neljänneksen (etu/taka) ja ilman lämpötilan vaikutusta utareen pintalämpötilaan. Tässä raportissa esitetään tulokset vain utareneljänneksen pintalämpötilan keskiarvosta ja keskihajonnasta.

Taulukko 6. Utareen etu- ja takaneljänneksen keskipintalämpötilat (°C) kokeen aikana. Neljänneksistä on laskettu keskilämpötilan keskiarvo (ka) ja keskihajonta sekä pienin ja suurin mitattu arvo.

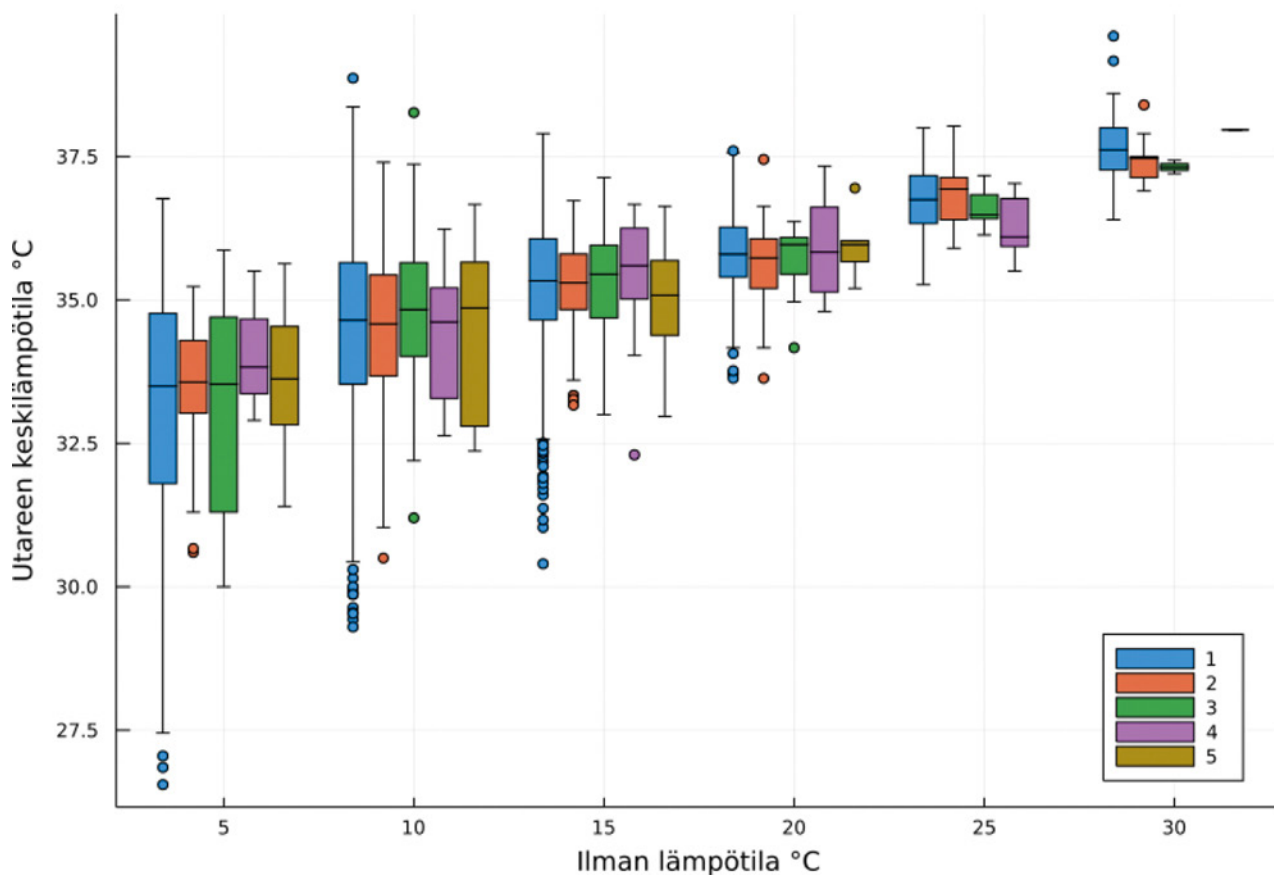
Utareneljännes	Keskilämpötilan (°C) ka±keskihajonta	Pienin mitattu keski-lämpötila (°C)	Suurin mitattu keski-lämpötila (°C)
Etueljännes	34,5±1,5	27,6	38,9
Takaneljännes	35,9±0,9	32,0	39,0

CMT-luokalla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus utareen pintalämpötilan keskiarvoon ja keskihajontaan (Taulukko 7). Keskiarvo oli korkeampi luokissa 2 ja 3 ja suuntaa antavasti korkeampi luokassa 5 luokkiin 1 ja 4 nähden. On kuitenkin huomioitavaa, että nämä erot olivat keskimäärin alle 0,2 °C, joten niiden käytännön merkitys utaretulehduksen varhaisessa havaitsemisessa on mitätön. Luokassa 2 ja 3 lämpötilan keskihajonta oli myös pienempi kuin muissa CMT-luokissa.

Lisäksi utareneljänneksen pinnan keskilämpötila oli korkeampi ja keskihajonta pienempi, mitä pidemmällä laktaatiokausi oli, mitä korkeampi ilman lämpötila oli (Kuva 20), sekä jos kyseessä oli takaneljännes (Taulukko 7). Takaneljänneksen korkeampi pintalämpötila ja pienempi keskihajonta selittyy sillä, että takaneljänneestä saatiin harvoin analysoitua koko pinta-alaltaan ja yleensä se oli osittain takajalan suojassa, jolloin ympäristön lämpötila ei vaikuta siihen yhtä voimakkaasti.

Taulukko 7. CMT-luokan, laktaatiopäivän, maitomäärän, utarenljänneksen ja ilman lämpötilan vaikutus lämpökuvantamalla mitattuun utareen pintalämpötilaan.

	Utarenljänneksen pintalämpötilan keskiarvo			Utarenljänneksen pintalämpötilan keskihajonta		
	Mallin kerroin	Keski- virhe	Tilastollinen merkitsevyys (p)	Mallin kerroin	Keskivirhe	Tilastollinen merkitsevyys (p)
Mallin kulmakerroin	26,32	0,187		5,24	0,116	
CMT 1	Referenssi			Referenssi		
CMT 2	0,11	0,050	0,0338	-0,12	0,033	0,0002
CMT 3	0,17	0,076	0,0212	-0,15	0,050	0,0024
CMT 4	0,01	0,12	0,9323	-0,08	0,078	0,2881
CMT 5	0,27	0,141	0,0558	-0,04	0,093	0,6766
Laktaatiopäivä (log)	0,62	0,025	<0,0001	-0,37	0,016	<0,0001
Maitomäärä (kg)	0,005	0,003	0,0608	0,002	0,002	0,2168
Utarenljännes (taka)	1,64	0,03	<0,0001	-0,59	0,020	<0,0001
Ilman lämpötila (°C, log)	1,98	0,05	<0,0001	-0,76	0,034	<0,0001



Kuva 20. Utareen pintalämpötilan keskiarvo oli korkeampi ja keskihajonta pienempi, mitä korkeampi ilman lämpötila kuvaushetkellä oli. Eri CMT-luokkien (1 – 5) välillä oli havaittavissa tilastollisesti merkitseviä eroja, mutta ne olivat käytännön hyödynnettävyyden kannalta hyvin pieniä.

Utareterveyden seuranta – tulokset

Yleisesti voidaan todeta, että CMT-luokkien välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja, mutta ne olivat hyvin pieniä sekä epä johdonmukaisia eikä niillä siten ole käytännön lämpökuvantamissovelluksen kannalta merkitystä. Vastaava tulos on saatu myös kansainvälisissä tutkimuksissa (ks. kirjallisuuskatsaus Frondelius ym. 2019). Perinteiset utaretulehduksen määrittäminen menetelmät toimivat lämpökuvantamista paremmin.

6.2 Sorkkaterveyden seuranta lämpökuvantamisen avulla

Ontuminen ja sorkkasairaudet on yksi merkittävimmistä eläinten hyvinvointiongelmista moderneilla lypsytiloilla, ja se aiheuttaa myös taloudellisia tappioita muun muassa hoitokustannusten, tuotosmenetysten ja ennen aikaisten poistojen myötä (Huxley 2013). Etenkin lievien ontumisten havaitseminen on tilaolosuhteissa haastavaa (Higginson Cutler ym. 2017) ja monet käytössä olevat ontumisen mittaamisen menetelmät ovat työläitä tai epätarkkoja (Schlageter-Tello ym. 2014).

Lämpökuvantamisen käyttökelpoisuudesta sorkkasairauksien ja ontumisen havainnoinnissa löytyy lukuisia tutkimuksia (ks. kirjallisuuskatsaus Frondelius ym. 2019), mutta niiden tulokset ovat vaihtelevia osittain tutkimuksessa käytettyjen menetelmien ja kuvannettavien alueiden takia. Tämän kokeen tarkoituksena oli selvittää, onko sorkan pintalämpötilalla yhteyttä sorkkatarkastuksissa havaittuihin sorkkasairauksiin. Kuvannettaviksi alueiksi valikoitui kirjallisuuden pohjalta ruununraja ja sarveissorkka.

6.2.1 Miten sorkkaterveyttä tutkittiin?

Koe toteutettiin joulukuusta 2018 kesäkuuhun 2019 ja siinä seurattiin lehmiä joko umpeen panosta eteenpäin (n=28, noin 6 – 7 kuukautta) tai loppu lypsykaudesta (n=23, noin kolme kuukautta). Kokeessa oli sekä holstein-lehmiä (n=40) että ayrshirejä (n=11). Lehmien keskipoikimakerta oli 2,65: ensikoita kokeessa oli 11, kaksi kertaa poikineita 14 ja tätä useamman kerran poikineita 26.

Lehmille tehtiin sorkkatarkastus vähintään kolme kertaa kokeen aikana ja lisäksi tarvittaessa, jos eläin ontui. Sorkkatarkastuksissa tehtiin aina toiminnallinen sorkkahoito sekä tarvittaessa terapeuttinen sorkkahoito. Havaitut sorkkasairaudet kirjattiin ylös kansainvälisen sorkka-atlaksen mukaan (Egger-Danner ym. 2020) ja jaettiin kahdeksaan luokkaan oletetun vakavuuden mukaan (Taulukko 8). Jokainen tarkastettu sorkka luokiteltiin aina vakavimman löydöksen mukaan.

Taulukko 8. Sorkkasairaudet luokiteltiin kahdeksaan luokkaan oletetun vakavuuden perusteella ja tarkastettu sorkka luokiteltiin aina vakavimman löydöksen mukaan.

Sorkkaluokka	Sorkkasairaus
1	Terve Kantasyöpymä
2	Kaksoispohja Epäsymmetrinen sorkka Ylikasvanut sorkka Saksisorkka Kierresorkka Sorkkavälin ihotulehdus Sorkka-alueen ihotulehdus M1/ M4.1 Sorkkasyylä
3	Vertymä
4	Sorkkavälin liikakasvu
5	Valkoviivan repeämä
6	Anturahaavauma
7	Valkoviivan paise Kärkipaise
8	Sorkka-alueen ihotulehdus M2
0	Muu

Sorkkatarkastuksen yhteydessä jokainen sorkka lämpökuvattiin (FLIR T540, Taulukko 1) lehmän ollessa sorkkatelineessä niin, että ulko- ja sisäsorkka voitiin analysoida erikseen. Kuva otettiin noin 0,5 – 1 metrin etäisyydeltä suoraan sivulta tai etuviistosta. Ennen kuvausten aloittamista määritettiin kameran asetuksiin ilman lämpötila ja -kosteus erillisen mittarin perusteella. Emissiivisyysarvoksi asetettiin 0,95. Heijastuva lämpö määritettiin vasta kuvien analysointivaiheessa. Kameran asetuksia muutettiin tarvittaessa, jos ympäristöolosuhteissa tapahtui merkittäviä muutoksia (>3 yksikköä) sorkkahoitopäivän aikana. Kaikki käytetyt asetukset kirjattiin erikseen ylös, jotta ne voitiin tarvittaessa tarkistaa vielä kuvien analysointivaiheessa.

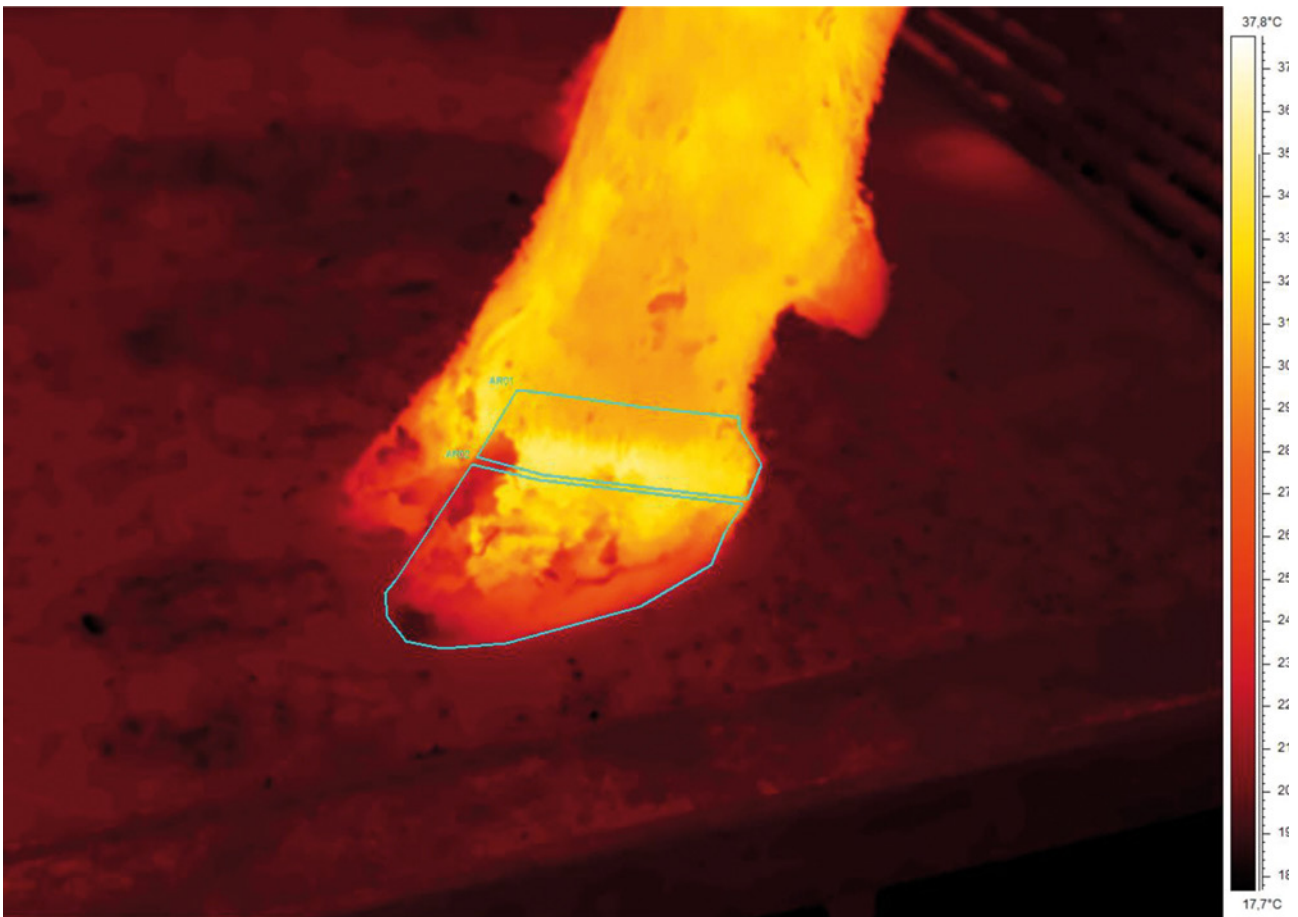
Lisäksi lehmät ontumislukiteltiin aina kahden viikon välein. Myös tässä yhteydessä sorkat lämpökuvattiin. Kuvat otettiin noin metrin etäisyydeltä samalla tavalla kuin sorkkahoidon yhteydessä, mutta eläinten ollessa vapaana pihatossa (Kuva 21).



Kuva 21. Sorkat lämpökuvannettiin aina juuri ennen sorkkahoitoa lehmän ollessa sorkkatelineessä. Ontumislukitteluiden yhteydessä sorkat kuvattiin lehmien ollessa vapaana pihatossa. Kuvausetaisyys oli noin metri ja sorkat kuvattiin sivulta tai etuviistosta. Kuvat: Juliana Roivainen, Luke; Inka Nykänen, Savonia.

6.2.2 Lämpökuvien analysointi

Lämpökuvat analysoitiin ThermaCAM Researcher Pro 2.10 -ohjelmalla ja kaikista analysoiduista alueilta määritettiin alueen maksimi-, minimi- ja keskilämpötila sekä lämpötilan keskihajonta. Ennen analysointia ilman lämpötila ja kosteusarvot tarkistettiin ja heijastuvaksi lämpötilaksi korjattiin ilman lämpötilan ja lehmän ihon arvioidun pintalämpötilan (34 °C) painotettu keskiarvo (3:1). Lämpökuvista analysointiin vapaapiirtotyökalun avulla ruununraja ja sarveissorkka (Kuva 22) erikseen ulko- ja sisäsorkasta.



Kuva 22. Sorkasta rajattiin analysointiohjelmassa vapaapiirtotyökalun avulla ruununraja ja koko sarveissorkkan alue. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.

6.2.3 Tulokset ja pohdinta

Tulosten laskennassa huomioitiin kaikki lämpökuvat, jotka oli otettu ± 10 päivää sorkkahoidosta. Analysoituja sorkkan puoliskoja oli yhteensä 1025. Koejakson aikana navetan ilman lämpötila kuvauspäivinä oli keskimäärin 11,4 °C ja se vaihteli 5,0 – 24,0 °C:n välillä (Taulukko 9).

Taulukko 9. Navetan ilman lämpötilan kuukausittainen keskiarvo, minimi ja maksimi lämpökuvantamispäivinä.

Kuukausi	Ilman lämpötilan keskiarvo (°C)	Pienin mitattu ilman lämpötila (°C)	Korkein mitattu ilman lämpötila (°C)
Joulukuu	7,0	7,0	7,0
Tammikuu	9,3	6,0	12,0
Helmikuu	9,9	6,0	12,0
Maaliskuu	9,7	7,1	12,3
Huhtikuu	9,5	5,0	14,0
Toukokuu	13,0	9,0	19,0
Kesäkuu	21,1	19,0	24,0
Keskiarvo	11,4	-	-

Ehdottomasti yleisin sorkkalöydös takajaloissa oli vertymä (Taulukko 10). Etujaloissa yleisin sorkkaluokka oli 1 eli sorkka oli joko terve tai siinä oli vain kantasyöpymä. Akuuttia (M2 tyyppin) sorkka-alueen ihotulehdistusta ei esiintynyt kokeen aikana lainkaan.

Taulukko 10. Eri sorkkalöydösten (ks. sorkkaluokat Taulukko 5) määrä ja jakautuminen eri jaloille.

Sorkka-luokka	Etujalat		Takajalat		Yhteensä
	Ulkosorkka	Sisäsorkka	Ulkosorkka	Sisäsorkka	
1	111	112	46	45	314
2	9	9	13	12	43
3	70	68	124	125	387
4	2	2	11	11	26
5	44	46	48	46	184
6	14	14	10	8	46
7	0	0	4	3	7
8	0	0	0	0	0
0	8	9	1	0	18
Yhteensä	258	260	257	250	1025

Ruununrajan ja sarveissorkan keskimääräisiä lämpötiloja on kuvattu taulukossa 11. Tilastomallissa tutkittiin sorkkaluokan, ilman lämpötilan ja jalan (etu/taka) vaikutusta sorkan ruununrajan ja sarveissorkan pintalämpötila-arvoihin. Selkeimmät vaikutukset olivat nähtävissä, kun käytettiin ruununrajan keskilämpötilaa (Taulukko 12): anturahaavaumat (sorkkaluokka 6) ja paiseet (sorkkaluokka 7) nostivat ruununrajan pintalämpötilaa tilastollisesti.

Taulukko 11. Sorkkien ruununrajan ja sarveissorkan maksimilämpötilan ja keskilämpötilan keskiarvot sekä suurimmat ja pienimmät mitatut arvot.

			Maksimi-lämpötilan	Pienin mitattu	Suurin mitattu	Keski-lämpötilan	Pienin mitattu	Suurin mitattu
			(°C) keskiarvo ±keskihajonta	maksimilämpötila (°C)	maksimilämpötila (°C)	(°C) keskiarvo ±keskihajonta	keski-lämpötila (°C)	keski-lämpötila (°C)
Ruununraja	Etujalat	Ulkosorkka	30,3±4,1	15,0	36,5	27,0±4,2	12,9	33,7
		Sisäsorkka	30,6±4,1	15,4	36,3	27,1±4,1	13,0	34,0
	Takajalat	Ulkosorkka	32,5±2,6	20,3	36,9	28,6±2,9	17,2	34,1
		Sisäsorkka	31,7±3,0	17,9	37,3	27,0±3,3	13,8	33,4
Sarveissorkka	Etujalat	Ulkosorkka	29,8±4,1	14,8	35,8	22,9±4,3	11,5	31,6
		Sisäsorkka	29,9±4,1	15,3	35,6	23,0±4,4	10,5	30,5
	Takajalat	Ulkosorkka	31,7±2,5	19,5	35,7	23,0±3,1	13,7	29,6
		Sisäsorkka	30,2±3,2	17,7	36,3	22,5±3,6	12,6	29,1

Taulukko 12. Sorkkaluokan, ilmanlämpötilan ja kuvatun jalan (etu/taka) vaikutus sorkan ruununrajan pintalämpötilan keskiarvoon.

	Mallin kerroin	Luottamusväli	Tilastollinen merkitsevyys (p)
Mallin kulmakerroin	32,05		
Sorkkaluokka 1	Referenssi	-0,97 – 0,52	
Sorkkaluokka 2	-0,23	-0,41 – 0,32	0,552
Sorkkaluokka 3	-0,04	-0,19 – 1,70	0,807
Sorkkaluokka 4	0,76	-0,36 – 0,55	0,117
Sorkkaluokka 5	0,09	0,46 – 2,03	0,691
Sorkkaluokka 6	1,24	0,39 – 3,62	0,002
Sorkkaluokka 7	2		0,015
Ilman lämpötila	-17,46	-18,52 – -16,40	<0,001
Takajalka	2,23	1,95 – 2,51	<0,001

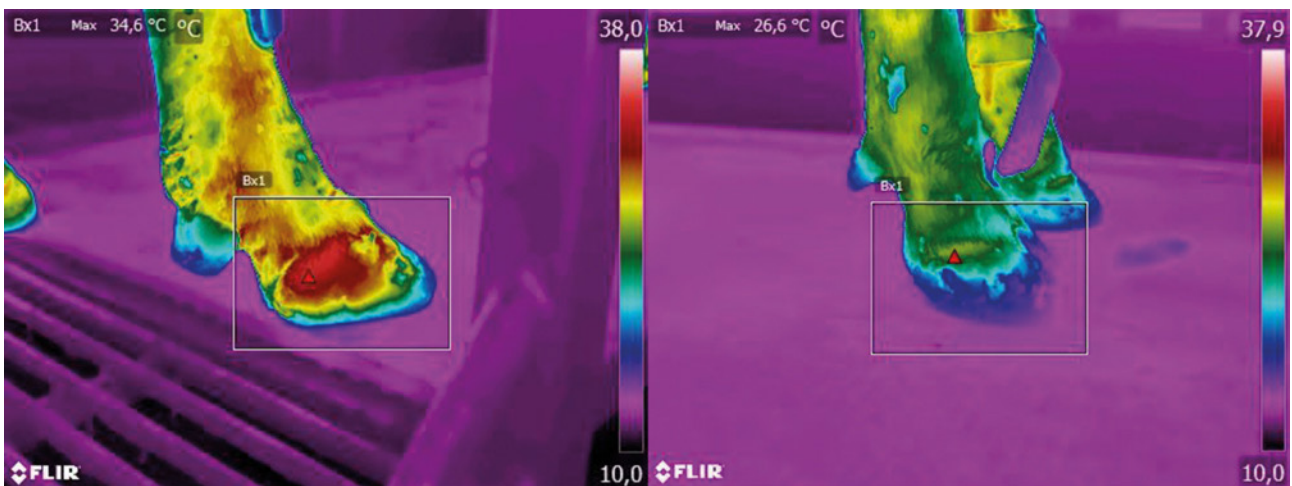
Ruununrajan maksimilämpötilassa näkyi tilastollisesti vain valkoviivan repeämien vaikutus: ne nostivat maksimilämpötilaa keskimäärin 1,34 °C (p=0,011). Numeerisesti anturahaavaumat ja paiseet nostivat myös ruununrajan maksimilämpötilaa voimakkaimmin, mutta tämä vaikutus ei ollut mallin mukaan tilastollisesti merkitsevä.

Kaikissa testatuissa malleissa ilman lämpötilalla ja kuvatulla jalalla oli merkittävä vaikutus mitattuun pintalämpötilaan. Luonnollisesti pintalämpötila muuttuu samaan suuntaan ympäristön lämpötilan kanssa, mutta raajoissa muutos – etenkin kylmässä – on vielä selkeämpi verenkierron säätelyn takia (Soroko & Davies Morel 2014). Takajalat ovat tyypillisesti lämpimämmät kuin etujalat (Alsaod ym. 2014, Wilhelm ym. 2014), mikä havaittiin myös tässä tutkimuksessa. Sekä kuvausympäristön että kuvatun jalan vaikutus pintalämpötilan mittaukseen on syytä ottaa huomioon lämpökuvia tulkitessa.

Vaikka tuloksiin perustuen ruununrajan keskilämpötilan käyttö olisi luotettavampaa, niin käytännössä tilakäytössä keskilämpötilan määrittäminen ruununrajasta on mahdotonta ilman sopivaa lämpökuvien analysointiohjelmää, jolla ruununrajan voi rajata kuvasta tarkasti. Tästä johtuen ohjeiden kehittämisessä päädyttiin käyttämään sorkan alueen (käytännössä ruununrajan) maksimilämpötilaa, joka monilla kameramalleilla saadaan lämpökuvasta automaattisesti.

Ruununrajan maksimilämpötilaa käyttäen kehitettiin ennustava malli, joka laskee, mikä terveen sorkan maksimilämpötilan pitäisi olla huomioiden ympäristön lämpötilan ja sen, onko kyseessä etu- vai takajalka. Mitatun maksimilämpötilan ja mallin ennusteen erotuksen perusteella voi päätellä, onko sorkka hoidon tarpeessa (Kuva 23):

- Mitattu maksimilämpötila poikkeaa ennusteesta $+2\text{ °C}$ tai enemmän, sorkan tarkastamista suositellaan.
- Mitattu maksimilämpötila poikkeaa ennusteesta $+0,5 - 2\text{ °C}$, tilannetta seurattava. Noin puolella tällä lämpötila-alueella olevista lehmistä todettiin anturahaavauma tai paise.
- Mitattu maksimilämpötila poikkeaa ennusteesta ylöspäin korkeintaan $+0,5\text{ °C}$ tai on alle ennusteen, sorkka on todennäköisesti terve.



Kuva 23. Molemmissa kuvissa ilman lämpötila kuvaushetkenä on ollut 15 °C . Vasemmassa kuvassa olevan takajalan maksimilämpötila on $34,6\text{ °C}$ ja ennustavan mallin antamaan arvoon verrattuna se poikkeaa $+2,59\text{ °C}$, jolloin sorkan tarkastaminen olisi siis suositeltavaa. Kuvan sorkasta löytyi valkoviivan paise. Vastaavasti oikeassa kuvassa olevan etujalan maksimilämpötila on $26,6\text{ °C}$ ja se poikkeaa ennustavaan malliin nähden $-2,21\text{ °C}$ eli se on todennäköisesti terve. Sorkkatarkastuksessa se todettiin terveeksi. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Sorkkaterveyden seuranta – tulokset

Tuloksista havaittiin, että ainakin vakavat sorkkasairaudet, kuten anturahaavaumat ja valkovii-van paiseet, nostivat sorkan pintalämpötilaa. Ilman lämpötilalla ja kuvatulla jalalla (etu/taka) on kuitenkin myös merkittävä vaikutus mitattuun lämpötilaan, mikä on syytä ottaa huomioon kuvia tulkitessa. Ruununrajan maksimilämpötilaan perustuen kehitettiin ennustava malli, jonka avulla voidaan arvioida, onko kuvattu sorkka hoidon tarpeessa. Mallin toimivuuden testaukseen eri olo-suhteissa tarvittaisiin kuitenkin vielä lisää aineistoa. Malli toimii todennäköisesti parhaiten, kun sorkkia lämpökuvannetaan samanlaisissa lämpötilaolosuhteissa, kuin missä malli on kehitetty.

6.3. Poikimisen ja poikimahalvausten seuranta lämpökuvantamisen avulla

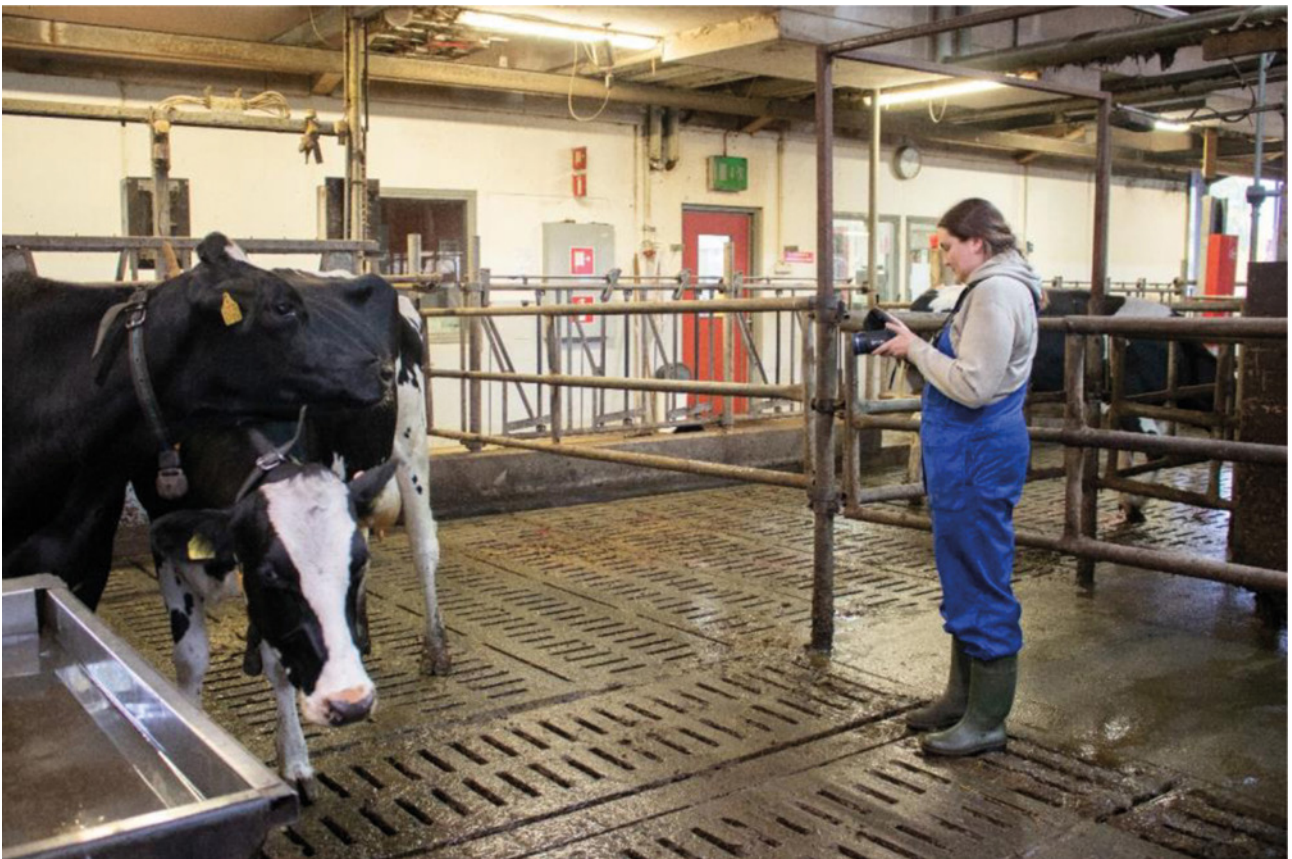
Poikimahalvaus on yksi merkittävimpiä aineenvaihduntasairauksia lypsylehmillä (Pyörälä & Tiihonen 2005). Poikimahalvaus on kalsiumaineenvaihdunnan häiriö, jonka yleinen oire on lehmän ruumiinlämmön lasku, joka on havaittavissa myös aistinvaraisesti ihon viilenemisenä. Kliininen poikimahalvaus ilmenee käytännössä lehmän halvaantumisenä. Jopa puolet useamman kerran poikineista lehmistä saattaa kuitenkin potea niin sanottua piilevää poikimahalvausta (Reinhardt ym. 2011), jossa veren kalsiumpitoisuus laskee, mutta muita kliinisiä oireita ei ole havaittavissa.

Kokeen tarkoituksena oli selvittää, voitaisiinko lämpökuvantamisen avulla havaita veren kalsiumpitoisuuden lasku ennen kliinisen poikimahalvauksen oireita. Samalla selvitettiin myös, muuttuuko lehmän pintalämpötila poikimisen lähestyessä.

6.3.1 Miten poikimahalvausta ja poikimisen lähestymistä tutkittiin?

Kokeessa seurattiin lämpökuvantamalla 24 lehmän pintalämpötilaa ennen ja jälkeen poikimisen. Kokeessa oli mukana 18 holstein- ja 6 ayrshirerotuista lehmää. Lehmien keski-poikimakerta oli 3,33 ja poikimakerta vaihteli kahden ja kuuden poikimisen välillä.

Seuranta toteutettiin kahdella lämpökameramallilla: FLIR T540:llä ja FLIR E5:llä (Taulukko 1). Lämpökuvaukset aloitettiin seitsemän vuorokautta ennen lehmän odotettua poikimista. Ennen poikimista kuvaukset tehtiin kolme kertaa vuorokaudessa: aamulla, puolen päivän aikaan ja illalla. Ennen kuvauksen aloittamista määritettiin kamerasetukseen tai kirjattiin ylös ilman lämpötila ja -kosteus navetassa olevan erillisen lämpö- ja kosteusmittarin perusteella. Heijastuvana lämpönä käytettiin ilman lämpötilaa. Emissiivisyysarvoksi asetettiin 0,95. Kuvausetäisyys kaikissa kuvauksissa oli 2 metriä (Kuva 24). Lehmät kuvattiin molemmilta sivuilta lantion alueelta ja suoraan takaapäin. Myös lehmän pää kuvattiin mahdollisuuksien mukaan molemmilta sivuilta ja edestä.



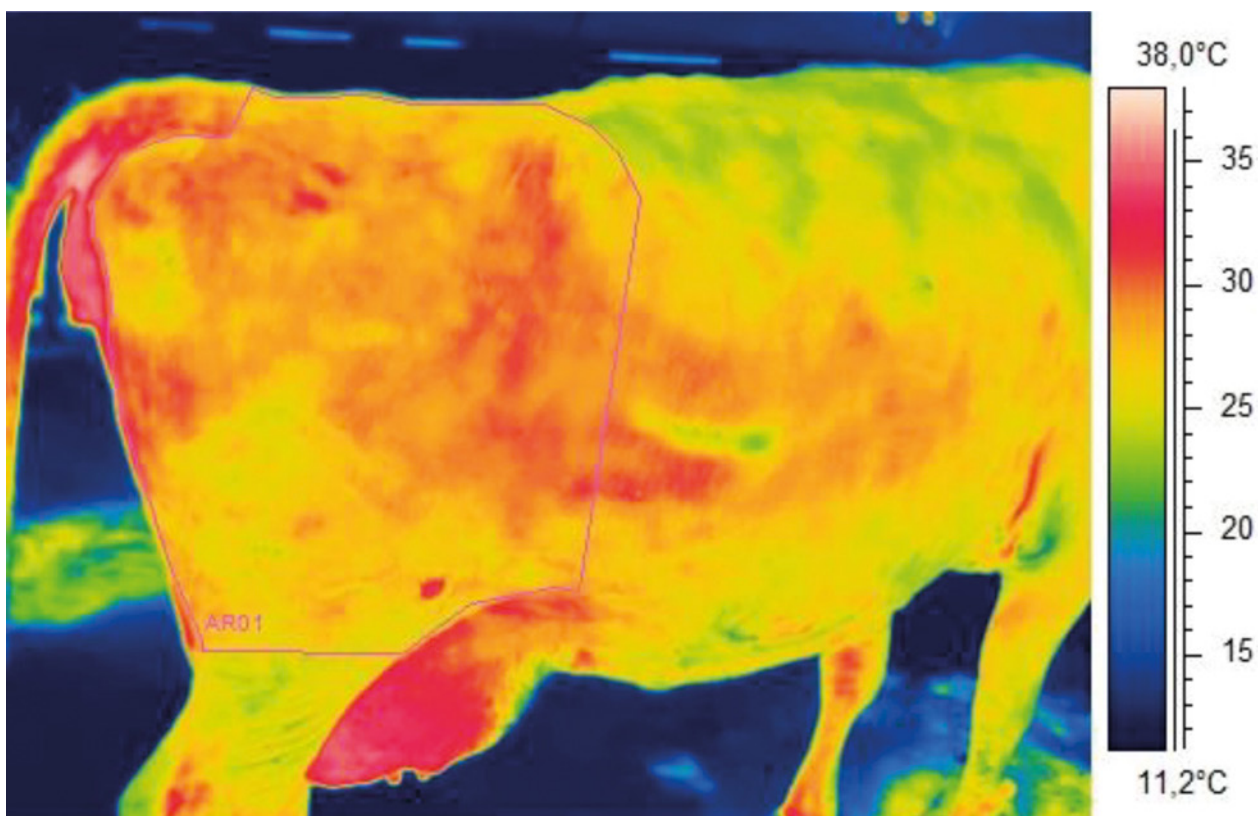
Kuva 24. Lehmät kuvattiin noin kahden metrin etäisyydeltä joko vapaana pihatossa tai poikimakarsinassa. Kuva: Inka Nykänen, Savonia.

Sopivaan vuorokauden aikaan poikineiden lehmien lämpökuvauksia jatkettiin myös poikimisen jälkeen, mutta tiheämmin: kaikki lehmät, jotka poikivat klo 5 – 14 välillä kuvattiin aina kahden tunnin välein poikimisesta eteenpäin vähintään kuuden ja enintään 12 tunnin ajan. Lisäksi kaikista poikineista lehmistä kerättiin verinäyte 12 tunnin sisällä poikimisesta veren seerumin kalsiumpitoisuuden määrittämiseksi.

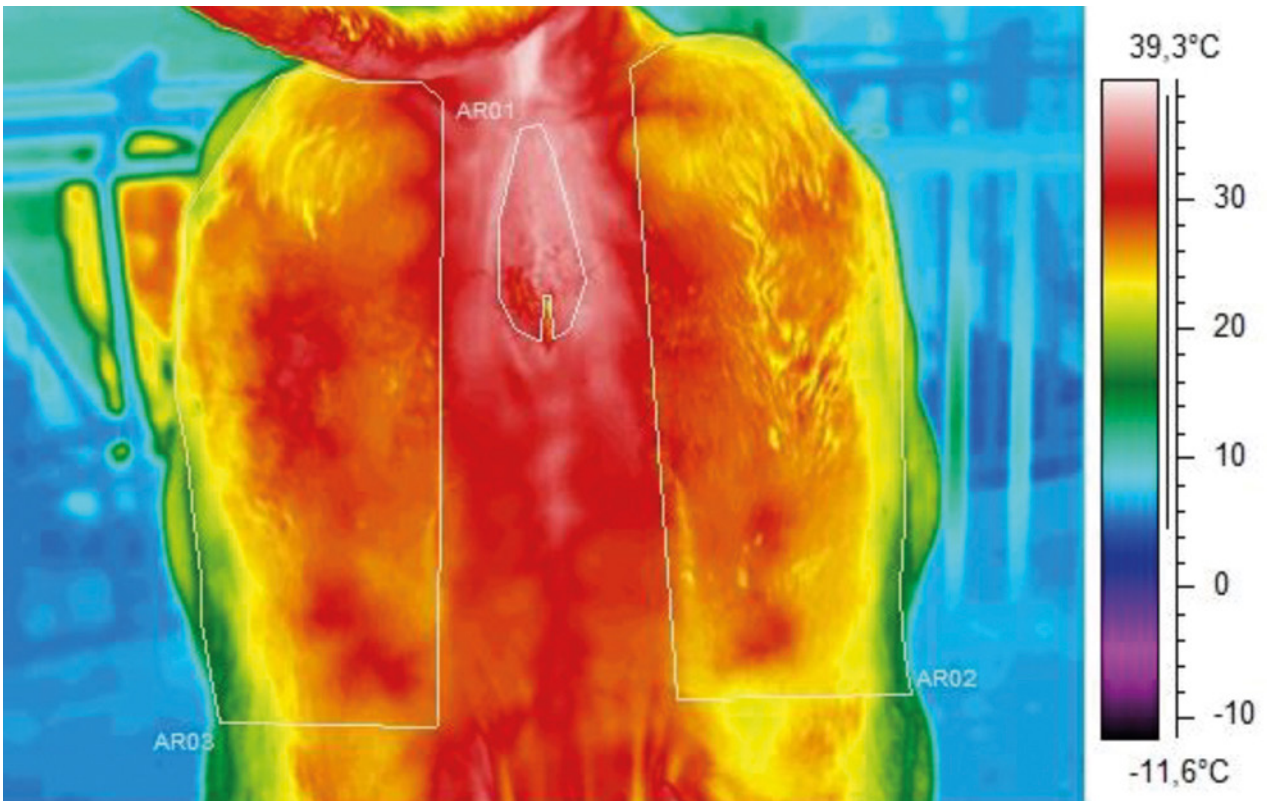
6.3.2 Lämpökuvien analysointi

Lämpökuvat analysoitiin ThermaCAM Researcher Pro 2.10 -ohjelmalla ja kaikista analysoiduista alueilta määritettiin alueen maksimi-, minimi- ja keskilämpötila sekä lämpötilan keskihajonta. Kuvien analysoinnissa huomioitiin lämpökuvat kolmen vuorokauden ajalta ennen toteutunutta poikimista ja kaikki kuvat poikimisen jälkeen. FLIR T540:llä otettuja kuvia analysoitiin 1204 kappaletta ja FLIR E5:llä otettuja 175 kappaletta.

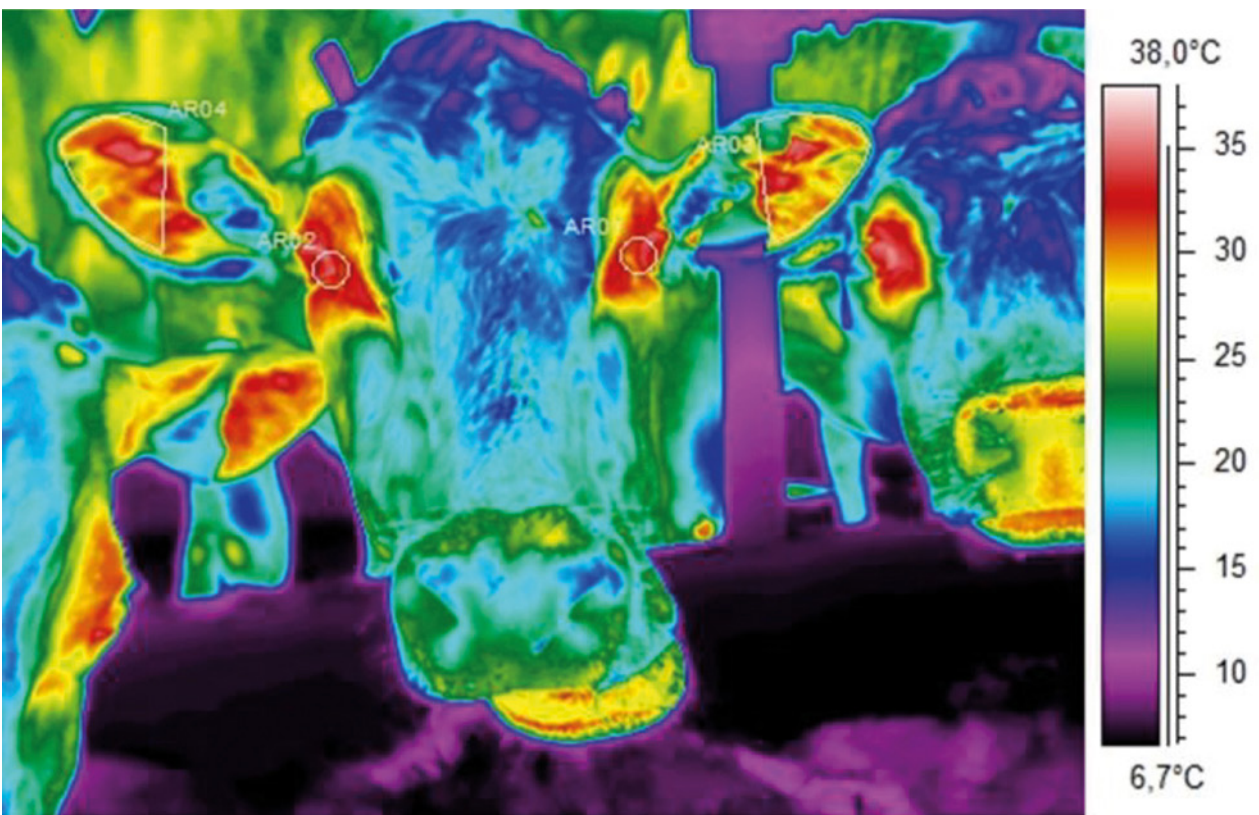
Ennen analysointia ilman lämpötila ja kosteusarvot tarkistettiin. Sivusuunnasta otetuista kuvista analysoitiin vapaapiirtotyökalun avulla lehmän takaruumiin alue (Kuva 25) ja takaapäin otetuista kuvista molemmat takareidet ja häpy sen ollessa näkyvissä (Kuva 26). Päästä analysoitiin vapaapiirtotyökalun avulla korvalehdet ja ympyrätyökalulla silmän sisänurkka (Kuva 27).



Kuva 25. Sivusuunnassa otetuista kuvista analysoitiin lehmän ruumiin takaneljännes vapaapiirtotyökalua käyttäen. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.



Kuva 26. Takaapäin otetuista kuvista analysoitiin vapaapiirtotyökalua käyttäen lantion alueelta takareidet ja häpy sen ollessa näkyvässä. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.



Kuva 27. Päästä otetuista kuvista analysoitiin korvalehdet vapaapiirtotyökalua käyttäen ja silmän sisänurkka kyynelkanavan alueelta ympyrätyökalua käyttäen. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.

6.3.3. Tulokset ja pohdinta

Kokeen aikana navetan ilman lämpötila kuvauspäivinä oli keskimäärin 7,8 °C ja se vaihteli 3,1 – 11,3 °C:n välillä (Taulukko 13).

Taulukko 13. Navetan ilman lämpötilan kuukausittainen keskiarvo, minimi ja maksimi lämpökuvantamispäivinä.

Kuukausi	Ilman lämpötilan keskiarvo (°C)	Pienin mitattu ilman lämpötila (°C)	Korkein mitattu ilman lämpötila (°C)
marras	6,8	3,7	9,8
joulu	7,1	3,1	9,1
tammi	7,5	3,7	9,8
helmi	9,7	3,3	11,3

Lehmien poikima-ajankohdista johtuen lämpökuvia saatiin otettua lopulta 20 lehmältä ennen poikimista ja 14 lehmältä poikimisen jälkeen. Kolmetoista lehmää oli sellaisia, joilta saatiin lämpökuvat sekä ennen että jälkeen poikimisen. Lopulliseen tilastotilastointiin otettiin mukaan yhteensä 18 lehmän kuvat. Kuvausajankohta pyöristettiin lähimpään kuuteen tuntiin todelliseen poikima-ajankohtaan nähden. Päästä kuvia saatiin vähiten, koska pään kuvaaminen ilman kiinni pitämistä oli vaikeaa, ja siten silmän ja korvalehden lämpötilamuutoksia ei pystytty mallintamaan lainkaan.

Kaikki kolme tai useamman kerran poikineet lehmät saivat suun kautta kalsiumlisää ennalta ehkäisevästi. Poikimisen jälkeen otetuissa verinäytteissä seerumin kalsiumpitoisuus oli keskimäärin 1,87 mmol/l. Tilastomallissa mukana olleista 18 lehmästä viidellä kalsiumpitoisuus pysyi viitearvoa 2,1 mmol/l korkeampana. Yhdentoista lehmän seerumin kalsiumpitoisuus viittasi piilevään poikimahalvaukseen (1,5 – 2,1 mmol/l). Kahden lehmän seerumin kalsium pitoisuus laski kliinisen poikimahalvauksen tasolle, alle 1,5 mmol/l; toinen näistä lehmistä halvaantui konkreettisesti ja eläinlääkäri hoiti sen antamalla kalsiumia suonensisäisesti. Yksi lehmä halvaantui eläinlääkärin hoitoa vaativasti vasta noin viikko poikimisen jälkeen ja 12 h sisällä poikimisesta sen seerumin kalsiumpitoisuus oli vain piilevän halvauksen tasolla.

Eri kehon alueiden lämpökuvantamalla mitattujen pintalämpötilojen keskimääräiset arvot on esitetty taulukossa 14. Lehmien pintalämpötila ei muuttunut millään analysoidulla kehon alueella merkittävästi ennen poikimista (Taulukko 15) ja siten poikimisajankohdan ennustaminen lämpökuvantamisen avulla ei ole tämän aineiston perusteella mahdollista. Miwa ym. (2019) puolestaan havaitsivat, että lihanaudoilla hännän alusen pintalämpötila lähti laskuun 30 tuntia ennen poikimista.

Taulukko 14. Lehmien eri kehon alueiden keskimääräinen keskilämpötila ja maksimilämpötila ennen ja jälkeen poikimisen.

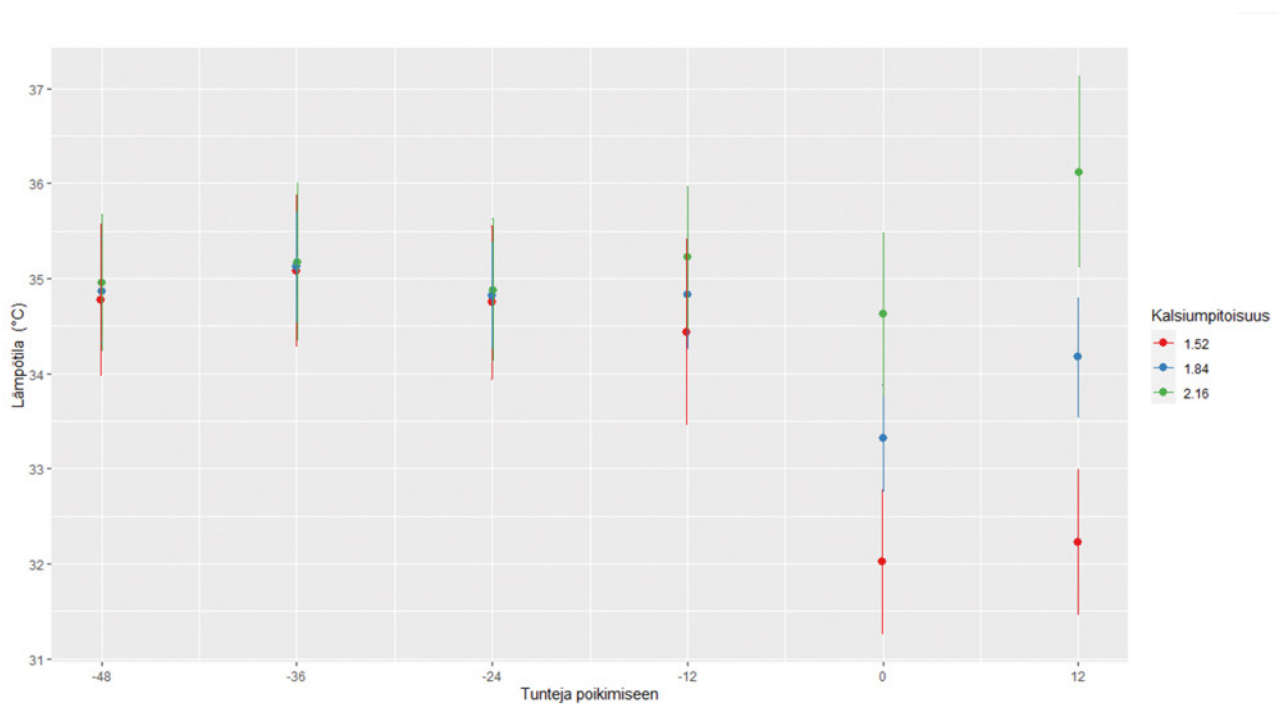
	Ennen poikimista		Poikimisen jälkeen	
	Keskilämpötilan (°C) keskiarvo ±keskihajonta	Maksimilämpötilan (°C) keskiarvo ±keskihajonta	Keskilämpötilan (°C) keskiarvo ±keskihajonta	Maksimilämpötilan (°C) keskiarvo ±keskihajonta
korvalehti	26,6±4,7	33,5±3,7	24,0±7,9	29,9±8,4
silmä	33,6±1,5	36,5±0,8	33,0±3,2	36,5±1,6
lantio	25,9±2,6	32,0±2,3	24,8±1,7	31,3±2,4
takareisi	28,0±2,4	34,9±1,2	25,5±3,3	33,2±2,6
häpy	34,5±2,1	37,1±1,1	34,3±1,3	37,2±0,7

Taulukko 15. Lantion ja takareiden alueen (takaapäin kuvattu) maksimilämpötilan yhteys poikima-ajankohtaan ja veren kalsiumpitoisuuteen ja niiden yhdysvaikutukseen.

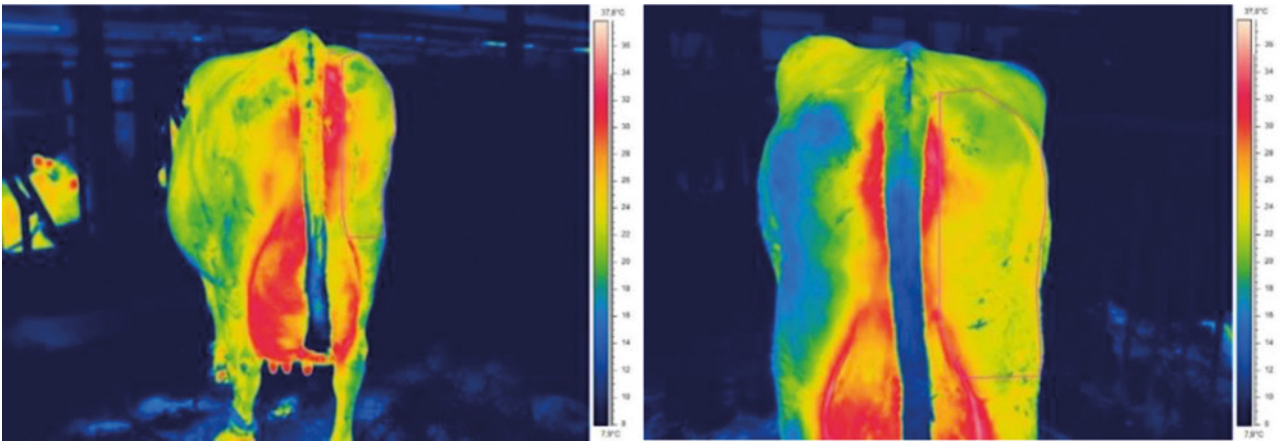
	Mallin kerroin	Luottamusväli	Tilastollinen merkitsevyys (p)
Mallin kulmakerroin	31,81	27,78 – 35,84	<0,001
Aika -12 h	-1,16	-5,83 – 3,52	0,624
Aika -6 h	-1,76	-11,52 – 8,00	0,721
Aika 0 h	-7,49	-11,87 – -3,12	0,001
Aika +6 h	-15,17	-19,55 – -10,80	<0,001
Aika +12 h	-2,03	-7,09 – 3,03	0,427
Seerumin Ca-pitoisuus (mmol/l)	0,24	-1,56 – 2,05	0,792
Ympäristön lämpötila (°C, log)	1,45	0,56 – 2,34	0,002
Aika 0 h × Ca-pitoisuus	2,79	0,34 – 5,24	0,026
Aika 6 h × Ca-pitoisuus	7,57	5,14 – 10,00	<0,001
Aika 12 h × Ca-pitoisuus	0,7	-2,09 – 3,48	0,62

Sen sijaan poikimisen jälkeen ensimmäisen kuuden tunnin aikana kaikkien lehmien pintalämpötila laski, mutta lasku oli voimakkaampaa niillä eläimillä, joiden seerumin kalsiumpitoisuus oli laskenut (Kuva 28). Selkeimmin muutos näkyi takareiden alueelta mitatussa maksimilämpötilassa (Taulukko 15). Myös ilman lämpötilalla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus mitattuun pintalämpötilaan.

Tilastomallin herkyyteen ja spesifisyyteen perustuen takareiden maksimilämpötilan raja-arvoksi määritettiin 33 °C: jos lämpötila laskee kuuden tunnin sisällä poikimisesta alle tämän, on lehmän seerumin kalsiumpitoisuus todennäköisesti laskenut alle viitearvon (Kuva 29).



Kuva 28. Lehmien takareiden alueen maksimilämpötila ei muuttunut merkittävästi poikimisen lähestyessä, mutta sen sijaan se laski kaikilla eläimillä poikimisen jälkeen. Lämpötilan lasku oli sitä voimakkaampaa, mitä matalampi seerumin kalsiumpitoisuus oli poikimisen jälkeen 12 tunnin sisällä otetussa verinäytteessä.



Kuva 29. Vasen kuva on otettu noin 12 tuntia ennen poikimista ja oikean takareiden alueen maksimilämpötila on ollut silloin 33,3 °C. Oikeanpuoleinen kuva on otettu noin kolme tuntia poikimisen jälkeen, jolloin oikean takareiden maksimilämpötila on ollut 31,4 °C. Kuvan ottohetkellä lehmän seerumin kalsiumpitoisuus on ollut 1,09 mmol/l. Kahden tunnin sisällä tästä lehmä halvaantui kliinisesti. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Poikimahalvausten ja poikima-ajankohdan seuranta – tulokset

Poikima-ajankohtaa ei pystytty ennustamaan lehmän pintalämpötilan muutoksen avulla. Sen sijaan poikimisen jälkeen lehmien pintalämpötila laski – voimakkaammin niillä eläimillä, joiden veren seerumin kalsiumpitoisuus oli alle viitearvon. Tulosten perusteella voidaan olettaa, että jos lehmän takareiden alueen maksimipintalämpötila laskee kuuden tunnin sisällä poikimisesta alle 33 °C:een, niin myös sen seerumin kalsiumpitoisuus on todennäköisesti laskenut. Tällaiselle lehmälle olisi suositeltavaa antaa suun kautta annosteltavaa kalsiumvalmistetta (Oetzel 2013).

7. Lämpökuvausohjeet – teoriasta ja tutkimustuloksista navettakäyttöön soveltuviksi lämpökuvien tulkintaohjeiksi

KuNa-hankkeen kokeista saatujen tulosten pohjalta tehtiin lämpökuvien tulkintaohjeet sorkkaterveyden ja poikimahalvausten lämpökuvaukseen. Utareterveyden osalta havaittiin, että perinteiset utaretulehduksen määrittymenetelmät toimivat lämpökuvausta paremmin. Myöskään poikima-ajan-kohtaa ei pystytty ennustamaan lehmän pintalämpötilan muutoksen perusteella. Tämän takia lämpökuvien tulkintaohjeita ei tehty utareterveyden seurantaan tai poikimisajankohdan arviointiin.

KuNassa luodut tulkintaohjeet ovat apuväline hoidon tarpeessa olevien eläinten löytämiseen, eikä ohjeita ole tarkoitettu diagnostisiksi ohjeiksi. Lisäksi ohjeita käytettäessä kannattaa muistaa, että tulkintaohjeiden taustalla oleva tutkimusaineisto on suhteellisen pieni ja kerätty yhdellä lämpökameramallilla.

Hankkeessa luotuja lämpökameroiden käyttöohjeita ja lämpökuvien tulkintaohjeita testattiin navettaolosuhteissa KuNan innovaatioryhmän yrityksissä. Lisäksi testaukseen osallistui muita yrityksiä, yhteistyökumppaneita (Älynauta-hanke, Peltoniemen maaseutuopiston navetta) ja Savonia-ammattikorkeakoulun agrologiopiskelijoita. Kuvausohjeita testattiin nautatiloilla, joissa olosuhteet eivät ole yhtä hallittavissa kuin tutkimusnavetassa. Lisäksi tilatestausten aineisto oli suhteellisen pieni, joten se soveltuu parhaiten yleisten havaintojen tekemiseen ohjeiden toimivuudesta ja kokeellisten tulosten käyttökelpoisuudesta tilatasolla. Varsinaiseen kehitettyjen mallien ja lämpötilaraja-arvojen validointiin se ei sovellu. Tilatestausten ensisijaisena tavoitteena oli kerätä palautetta ohjeiden käytettävyydestä, jotta saataisiin selville, antavatko ohjeistukset lisäarvoa nautojen terveyden seurantaan ja onko niiden avulla mahdollista havaita muutoksia terveydentilassa ennen muita sairauden merkkejä. Tilatestaustissa hyödynnettiin myös erilaisia lämpökameramalleja (Taulukko 1), jotta saatiin tietoa niiden soveltuvuudesta tilakäyttöön.

7.1 Havaitse sorkkaongelmat ajoissa – miten sorkkakuvia otetaan ja tulkitaan

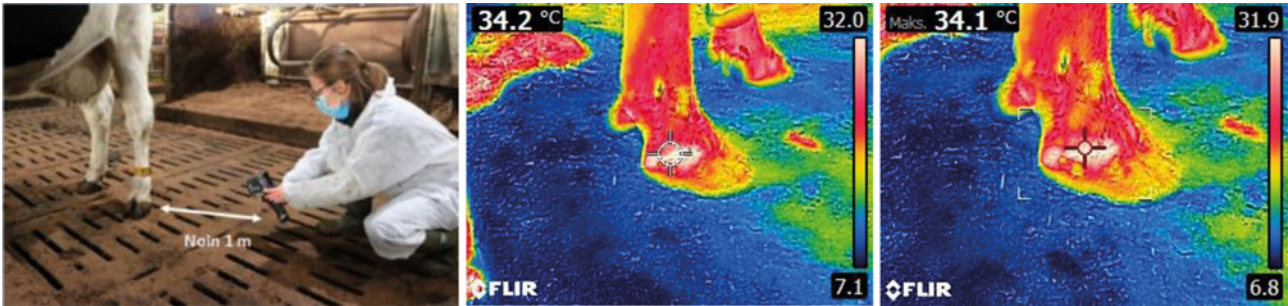
KuNa-hankkeen tutkimuksessa selvisi, että mikäli sorkan ruununrajan maksimilämpötila oli yli 2°C tilastollisesti ennustettua lämpötilaa korkeampi, saattoi se kertoa mahdollisesta sorkkasairaudesta. Maksimilämpötilaan vaikuttivat myös se, onko kyseessä etu- vai takasorkka sekä ympäristön lämpötila.

Kuvien tulkittamiseksi luotiin Sorkkalaskuri (<https://kuvaa-nautaa.github.io/sorkkat/>), joka auttaa arvioimaan, poikkeako mitattu maksimilämpö odotetusta. Sorkkalaskuri huomioi sorkkan maksimilämpötilan, ilman lämpötilan ja sen, onko kyseessä taka- vai etusorkka ja vertaa arvoja tutkimusaineiston perusteella laskettuihin raja-arvoihin. Sorkkalaskuri on siis lämpökuvien tulkinnan apuväline, joka kertoo arvion sorkkan terveydestä. Sorkkalaskuria käytettäessä on kuitenkin muistettava, että sen antamat neuvot ovat suuntaa antavia eivätkä korvaa muita eläinterveyden tarkkailumenetelmiä. Älä siis tee hoitopäätöstä tai jätä eläintä hoitamatta pelkästään lämpökuvauksen ja Sorkkalaskurin antaman arvion perusteella! Sorkkakuvien tulkintaohjeet ovat apuväline hoidon tarpeessa olevien eläinten löytämiseen, eikä ohjeita ole tarkoitettu diagnostisiksi ohjeiksi. Lämpökuvia tulkittaessa kannattaa myös muistaa, että Sorkkalaskuri on kehitetty lypsylehmillä kerätystä aineistosta, eivätkä sen tulokset ole välttämättä suoraan sovellettavissa esimerkiksi liharotuisten nautojen lämpökuvien tulkintaan.

7.1.1 Sorkkien lämpökuvaaminen

Sorkkia lämpökuvattaessa etsitään maksimilämpötilaa (korkein lämpötila) sorkkan ruununrajan alueelta eli karvapeitteen ja sarveissorkkan rajalta (Kuva 30). Luotettavien mittaustulosten saamiseksi on ruununrajan maksimilämpötilan mittausta tehtävä alla olevan ohjeen mukaisesti.

Eri lämpökameroissa maksimilämpötila mitataan eri tavoilla (Kuva 30). Esimerkiksi KuNa-hankkeessa testattavana olleista kameroista pistemittaustyökalu oli käytössä FLIR C2, FLIR E5 ja Caterpillar S60 -lämpökameroissa. FLIR One Prosta ja FLIR E5 löytyi pistemittauksen lisäksi myös aluemittaustyökalu. Pistemittaustyökalu kertoo kohdistimen alueen lämpötilan, aluemittaustyökalulla puolestaan voidaan määrittää laajemmalta alueelta automaattisesti kuumin ja/tai kylmin piste. Vinkit eri mittaus työkalujen käyttöön löytyvät kappaleesta [5.2 Kunnolliset mittaus työkalut](#).



Kuva 30. Sorkan ruununrajan maksimilämpötila mitataan noin metrin etäisyydeltä sorkasta. Kuvauskulma pitää olla mahdollisimman suoraan sivusuunnasta. Keskimmaisessa kuvassa sorkan maksimilämpötila (34,2°C, vasen ylälaite) on mitattu pistemittaustyökalulla FLIR E5 -lämpökameralla. Oikeanpuoleisessa kuvassa sorkan maksimilämpötila (34,1°C) on mitattu aluemittaustyökalulla. Varmista, että kuumin piste on sarveissorkan tai ruununrajan alueella eikä esimerkiksi sorkkavälissä tai sorkan yläpuolella olevalla ihoalueella. Kuvat: Lilli Frondelius, Luke; Kuvaa Nautaa -hanke.

Kun sopiva lämpökuvaustyökalu on valittu, mitataan sorkan ruununrajan maksimilämpötila ulkosorkasta, lehmän jokaisesta jalasta. Lämpötilan mittaus on tehtävä mahdollisimman suoraan sivusuunnasta. Koska kuvauskulma vaikuttaa kameran vastaanottamaan lämpösäteilyyn, saa se poiketa tästä korkeintaan 30° (Kuva 30). Ruununrajan maksimilämpötilaa mitattaessa on tärkeää, että lämpötila tulee juuri ruununrajan alueelta tai sarveissorkan yläosasta. Maksimilämpötilaa ei pidä mitata sorkan yläpuoliselta ihoalueelta tai esimerkiksi ihovauriosta tai sorkkavälissä. Mittaus työkalua voi olla haastavaa saada kohdistettua ruununrajan kuumimpaan kohtaan, mutta harjoittelu tekee mestarin.

Sorkasta voi ottaa myös lämpökuvan, jota voi analysoida tarkemmin erillisellä lämpökuvien analysointiin tarkoitetulla tietokoneohjelmalla (esimerkiksi FLIR Tools). Tällä tavoin lämpökuvasta voi olla kuvaustilannetta helpompaa löytää ruununrajan maksimilämpötila, mutta analysointi vaatii enemmän aikaa ja viitseliäisyyttä. Ohjelmassa voi myös vaihtaa kuvan otossa käytettyjä asetuksia jälkikäteen, jos esimerkiksi ympäristön lämpötila oli asetettu kameraan väärin. Jos otettuihin lämpökuviiin merkitään eläimen tunnistetiedot, on myös mahdollista seurata yksittäisen eläimen sorkan pintalämpötilan muuttumista esimerkiksi sorkkahoidon jälkeen.

Lämpötilaa mitattaessa kannattaa panostaa lämpökuvien tarkkuuteen, sillä luotettavan ja oikean mitaustuloksen saamiseksi lämpökuvan on oltava tarkka. Epätarkkaa lämpökuvaa ei voi jälkikäteen parantaa edes analysointiohjelmassa, joten tarkkuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tarkkuutta voi myös kokeilla parantaa tukemalla lämpökameraa kahdella kädellä kuvaustilanteessa.

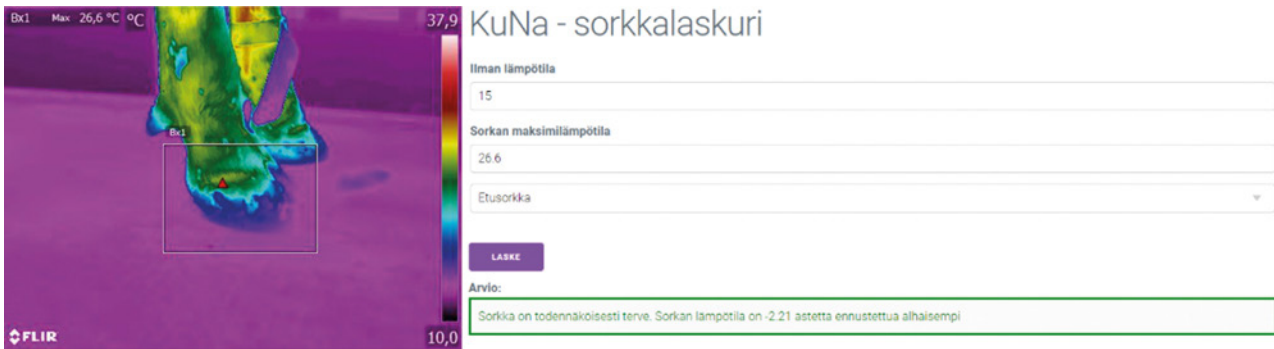
7.1.2 Miten sorkkien lämpökuvia tulkitaan?

Sorkkakuvien tulkinta perustuu tutkimusaineiston perusteella luotuun ennustavaan malliin, joka huomioi ympäristön lämpötilan, sekä onko kyseessä etu- vai takasorkka. Jos mitattu maksimilämpötila poikkeaa ennustetusta sorkan maksimilämpötilasta +2 °C tai enemmän, sorkan tarkastamista suositellaan. Käytännössä tällaisen vertailun tekeminen pelkkää lämpökuvaa katsomalla on mahdotonta. Tämän takia lämpökuvien tulkinnan helpottamiseksi luotiin Sorkkalaskuri. Alle on koottu esimerkkejä, jotka havainnollistavat Sorkkalaskurin toimintaperiaatetta.

Esimerkki 1.

Ilman lämpötilaksi mitattiin erillisellä mittarilla 15 °C. Etusorkan korkein lämpötila oli 26,6 °C (ks. lämpökuvan vasen yläkulma). Mittausalueen kuumin kohta (punainen kolmio) on ruununrajan alueella.

Sorkkalaskuri kertoo arvojen syöttämisen jälkeen, että kyseinen sorkka on todennäköisesti terve. Lisäksi laskurista nähdään, miten mitattu lämpötila suhteutuu tilastollisesti ennustettuun lämpötilaan: lämpötila on -2,21 astetta ennustettua alhaisempi.

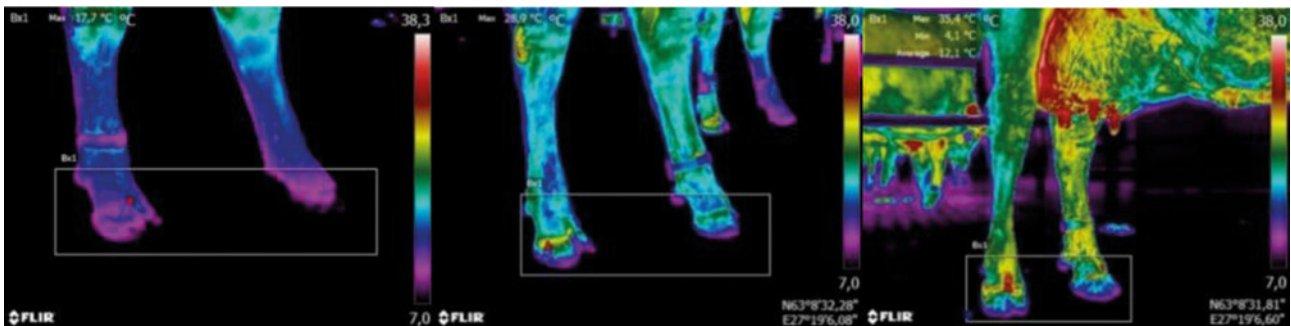


Esimerkki 2.

Ilman lämpötilaksi mitattiin erillisellä mittarilla 15° C. Takasorkkan korkein lämpötila oli 34,6 °C (ks. lämpökuvan vasen yläkulma). Sorkkalaskurin mukaan sorkka kannattaa tarkastaa, koska sen lämpötila on 2.59 °C ennustettua korkeampi.

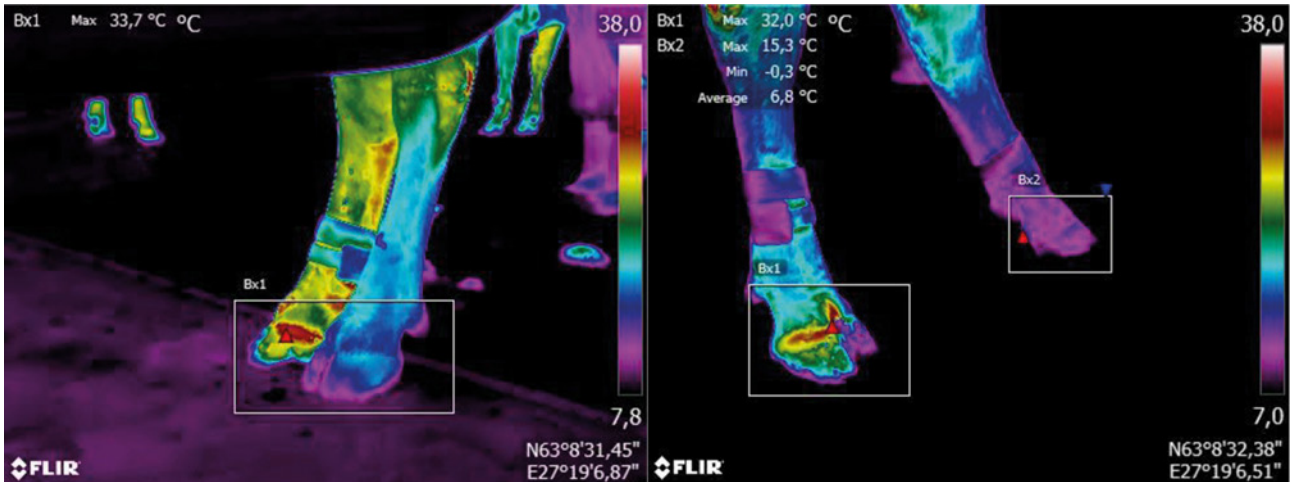


Sorkkien lämpötila on monen tekijän summa. Nautayksilöiden välillä voi olla suuria eroja sorkkien pintalämpötiloissa (Kuva 31), joten lämpötiloja kannattaa vertailla vain saman yksilön eri sorkkien välillä (Kuva 32). Muista kuitenkin, että samankin eläimen sorkat voivat olla eri lämpöisiä, vaikkei sorkissa ongelmia olisikaan (ks. Frondelius ym. 2019). Takasorkat ovat usein etusorkkia lämpimämmät, sillä nautan paino jakautuu etu- ja takajaloille epätasaisesti. Myös sorkkapuoliskojen välillä on eroja lämpötiloissa: takajaloissa ulkosorkka on todennäköisesti sisäsorkkaa lämpimämpi ja etujaloissa sisäsorkka on ulkosorkkaa lämpimämpi, sillä lehmän paino jakautuu takajaloissa enemmän ulkosorkalle ja etujaloissa sisäsorkalle. Myös esimerkiksi sorkkan puhtaus ja mahdollinen märkyys, sorkkan käsitteleminen (puhdistus tai sorkkahoito), ympäristön lämpötila tai ympäristöstä heijastuva lämpötila voivat vaikuttaa sorkkan pintalämpötilaan.



Kuva 31. Jalkojen lämpötiloissa voi olla suurta yksilöiden välistä vaihtelua. Kuvassa on kolmen eri lehmän takajalat, joista vasemmanpuoleisesta mitattu maksimilämpötila on 17,7 °C, keskimmaisessä kuvassa 28,9 °C ja oikeanpuoleisessa kuvassa 35,4 °C. Vertailun helpottamiseksi kaikissa kuvissa on sama lämpötilaskaala (ks. väripalkki jokaisen kuvan oikeassa reunassa). Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.


KuNa-hankkeessa kerätyn aineiston perusteella puolierot lämpötiloissa jalkojen välillä eivät olleet hyvä sorkkaongelmien indikaattori, joten lämpökuvien tulkintaohjeet perustuvat yksittäisen sorkan ruununrajan maksimilämpötilan mittaukseen. Tulokseen vaikutti mahdollisesti suhteellisen pieni aineisto ja sorkkasairauksien varsin suuri määrä siihen suhteutettuna. Tuloksesta huolimatta pintalämpötilojen symmetriaeroja on kuitenkin mahdollista tarkastella lämpökuvista ja etenkin hyvin selkeisiin lämpötilaeroihin kannattaa reagoida (Kuva 32). Pintalämpötilojen symmetriaerojen merkitys on todistettu tieteellisesti esimerkiksi hevosten lämpökuvantamisessa (Soroko & Davies Morel 2013).



Kuva 32. Symmetristen ruuiniinosten vertailu helpottaa lämpötilamuutosten tulkintaa. Kuvissa on kaksi eri lehmää, joilla oikea takasorkka on selvästi vasenta lämpimämpi. Oikeanpuoleisessa kuvassa oikeasta takajalasta mitattu maksimilämpötila on 32,0 °C ja vasemmasta takajalasta 15,3 °C. Huomaa kuitenkin, että näistä kuvista ei pysty suoraan tekemään perusteellista vertailua, koska kuvassa näkyy toisesta jalasta vain ulkosorkka ja toisesta sisäsorkka. Molemmista takajaloista olisi syytä ottaa oma kuvansa. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Lämpökuvien tulkinnassa kannattaa kuitenkin olla varovainen, sillä lämpökuvauksella on omat rajoituksensa. Lämpökameroiden mittaustarkkuus vaihtelee kameramalleittain (Taulukko 1), ja Sorkkalaskurin ennusteen laskenta perustuu FLIR T540 mallilla kerättyyn aineistoon. Huomioi myös kappaleessa 3.3 kerrotut asiat toistettavuudesta ja eri kameroilla otettujen kuvien vertailukelpoisuudesta. Sorkkalaskuri toimii hyvin vain, jos tilalla käytössä olevan lämpökamerayksilön antamat mittaustulokset eroavat todellisesta lämpötilasta samalla tavoin kuin aineiston keräämisessä käytetyn T540:n mittaustulokset. Muussa tapauksessa laskuri voi antaa järjestelmällisesti paljon vääriä hälytyksiä tai ei hälytä, vaikka sorkka olisikin todellisuudessa odotettua kuumempi.

Miten sorkan ruununrajan maksimilämpötila mitataan ja tulkitaan?

- Mittaa ympäristön lämpötila erillisellä lämpömittarilla.
 - Mittaa sorkan ruununrajan maksimilämpötila lämpökameralla suoraan sivultapäin. Kuvauskulma saa poiketa tästä korkeintaan 30°. Kuvausnäköalaa on noin metri.
 - Muista tarkentaa kuva!
 - Ole tarkkana, ettet mittaa maksimilämpötilaa yläpuoliselta ihoalueelta tai sorkkavälistä.
- Syötä Sorkkalaskuriin (<https://kuvaa-nautaa.github.io/sorkat/>):
 - Erillisellä lämpömittarilla mitattu ympäristön lämpötila °C
 - Lämpökameralla mitattu sorkan ruununrajan maksimilämpötila °C
 - Onko kyseessä etu- vai takajalka
- 
- Seuraa Sorkkalaskurin ohjeita. Älä tee hoitopäätöstä tai jätä eläintä hoitamatta pelkän lämpökuvauksen perusteella!
 - Halutessasi voit ottaa lämpökuvan sorkasta. Voit tarkastaa sorkan korkeimman lämpötilan jälkikäteen lämpökuvien tarkasteluun tarkoitettulla tietokoneohjelmalla.
 - Liitteestä 1 löydät navettakäyttöön soveltuvat pikaohjeet sorkkien lämpökuvaukseen.

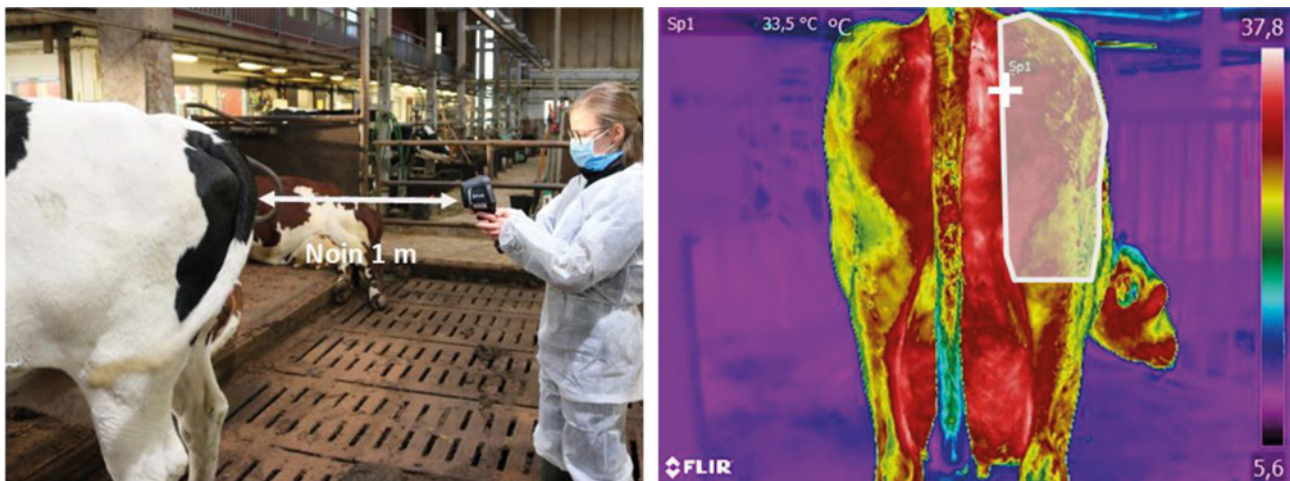
7.2 Havaitse poikimahalvaus ajoissa – lämpökuvien ottaminen ja tulkinta

KuNa-hankkeen tutkimuksissa selvisi, että jos lehmän lantion ja takareiden alueen suurten lihasten maksimipintalämpötila on alle 33 °C, on lehmä vaarassa sairastua poikimahalvaukseen. Maksimilämmön laskiessa alle raja-arvon on todennäköistä, että myös veren kalsiumpitoisuus on laskenut alle normaalin tason (piilevä poikimahalvaus). Poikimahalvauskuvien tulkintaohjeet ovat apuväline hoidon tarpeessa olevien eläinten löytämiseen, eikä ohjeita ole tarkoitettu diagnostisiksi ohjeiksi.

7.2.1 Miten poikimahalvauksen havainnointi tehdään lämpökameralla?

Poikimahalvauksen seurannassa lämpökameralla mitataan lehmän lantion ja takareiden alueen korkeinta lämpötilaa. Luotettavien mittaustulosten saamiseksi maksimilämpötilan mittaaminen on tehtävä alla olevan ohjeen mukaisesti korkeintaan kuuden tunnin sisällä poikimisesta.

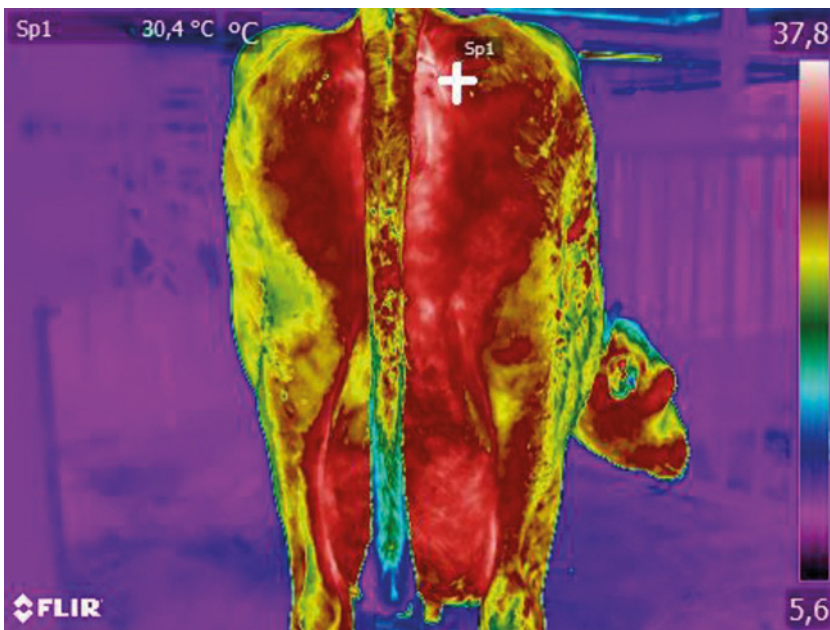
Lämpökamerasta valitaan sopiva mittaustyökalu, jonka avulla mitataan lantion ja takareiden alueen maksimilämpötila (Kuva 33). Mittauksen voi tehdä eläimen vasemmasta tai oikeasta takareidestä. Maksimilämpötilaa etsittäessä on mittaaminen tehtävä suoraan takaa päin. Kuvauskulma saa poiketa tästä korkeintaan 30°, koska vinosti otetuissa lämpökuvissa lämpötilat näkyvät todellista alhaisempina. Kuvausvälimatka on noin metri.



Kuva 33. Lehmän lantion ja takareiden alueen maksimilämpötila mitataan suoraan takaa päin noin metrin päässä eläimestä. Pintalämpötilan mittaaminen tehdään korkeintaan kuuden tunnin sisällä poikimisesta. Alue, jolta maksimilämpötila mitataan lämpökameran avulla, näkyy oikeanpuoleisessa kuvassa varjostettuna. Maksimilämpötila (33,5 °C) löytyi tässä tapauksessa valkoisen ristin kohdalta. Kuvat: Kuvaa Nautaa -hanke.

Luotettavien mittaustulosten saamiseksi lantion ja takareiden maksimilämpötilasta on mittaustilasta oltava oikea. Takapäin maksimilämpötila löytyy yleensä läheltä häpyä tai utareen takakiinnityksen alueelta, mutta ne eivät kuulu mittaustilasta ja siksi vääristävät mittaustuloksia. Maksimilämpötila on tarkoitus löytää lihaksen alueelta. Kuvassa pitää siis olla tarkkana.

Kuvassa 34 maksimilämpötila on mitattu oikealta mittaustilasta pistemittaustyökalulla (valkoinen risti kuvassa). Pistemittaustyökalu voi olla haastavaa saada osumaan lämpimimpään kohtaan. Kuvissa 33 ja 34 on sama esimerkkikuva: pistemittaustyökalu on kuitenkin osunut kuvanottohetkellä hieman erikoistaan, jonka seurauksena mittaustulos on erilainen (Kuva 33: 33,5 °C vs. Kuva 34: 30,4 °C). Maksimilämpötilan etsimiseen lämpökameran näytöltä kannattaa käyttää hieman aikaa tai ottaa varmuuden vuoksi useampia lämpökuvia.



Kuva 34. Jos mittaustyökalu osuu kuvanottohetkellä hieman lämpimimmistä kohdasta sivuun, mittaustulos voi muuttua paljonkin. Pistemittaustyökalulla mitattu lämpötila on 30,4 °C, vaikka oikea maksimilämpötila on 33,5 °C. Kuva: Kuvaa Nautaa -hanke.

Poikimahalvausten lämpökuvaukseen pätevät samat yleisohjeet kuin mitä on esitelty sorkkien lämpökuvauksen osalta (ks. [6.2 Sorkkien lämpökuvauksien](#)). Myös poikimahalvauskuvia on mahdollista analysoida jälkikäteen tarkemmin tietokoneelle asennettavalla analyysiohjelmalla. Oikean mittaustuloksen ja sen maksimilämpötilan määrittäminen voi olla helpompaa analyysiohjelmalla kuin liikkuvasta eläimestä. Myös poikimahalvausten seurantakuvien on oltava tarkkoja luotettavien mittausten tekemiseksi.

7.2.2 Miten poikimahalvauskuvia tulkitaan?

Lehmä on todennäköisesti vaarassa sairastua poikimahalvaukseen silloin, kun lantion ja takareiden alueen suurten lihasten pintalämpötilan maksimi on alle 33 °C lämpökameralla mitattuna. Maksimilämmön laskiessa alle raja-arvon on todennäköistä, että myös veren kalsiumpitoisuus on laskenut alle normaalin (piilevä poikimahalvaus). Ympäristöstä heijastuva lämpösäteily, ilman lämpötila, lika, karvapeitteen paksuus ja monet muut tekijät voivat kuitenkin vaikuttaa pintalämpötilan mittaustulokseen.

Huomioi myös [kappaleessa 3.3](#) kerrotut asiat toistettavuudesta ja eri kameroilla otettujen kuvien vertailukelpoisuudesta. Lämpökameroiden välillä on paljon yksilöllisiä eroja ja lämpökameroiden mittaustarkkuus on yleensä ± 2 °C. Hankkeessa käytetyn aineiston kerääminen on tehty yhdellä lämpökameralla. Tulkintaohje toimii hyvin vain silloin kun tilalla käytössä olevan lämpökameran antamat mittaustulokset eroavat todellisesta lämpötilasta samalla tavalla kuin aineiston keräämisessä käytetyn T540:n mittaustulokset. Muussa tapauksessa, kamerasta riippuen, lantion ja takareiden alueen lämpötila näyttää lämpökuvissa järjestelmällisesti hälyttävän matalalta tai sitten korkealta, vaikka lehmä olisikin halvaantumassa. Älä siis tee hoitopäätöstä tai jätä eläintä hoitamatta pelkän lämpökuvauksen perusteella!

Miten poikimahalvausten maksimilämpötila mitataan ja tulkitaan?

- Mittaa lantion ja takareiden alueen maksimilämpötila suoraan takaa päin 0-6 tunnin sisällä poikimisesta. Kuvauskulma saa poiketa tästä korkeintaan 30°. Kuvausetäisyys on noin metri.
- Muista tarkentaa kuva!
- Ole tarkkana mittausalueen kanssa. Maksimilämpötilaa ei saa mitata hävyn tai utareen takakiinnityksen karvattomalta/ohutkarvaiselta alueelta, vaan mittaus tehdään lihaksen alueelta.
- Jos maksimilämpötila on alle 33 °C, on lehmä vaarassa sairastua poikimahalvukseen.
- Halutessasi voit ottaa lämpökuvan lehmästä. Voit tarkastaa lantion ja takareiden korkeimman lämpötilan jälkikäteen lämpökuvien tarkasteluun tarkoitettulla tietokoneohjelmalla.
- Liitteestä 2 löydät navettakäyttöön soveltuvat pikaohjeet poikimahalvausten lämpökuvaukseen.

8. Pohdinta - Lämpökuvauksessa on potentiaalia

KuNa-hankkeen tavoitteena oli luoda lämpökuvien tulkintaohjeet viljelijöille ja muille sidosryhmille. Testaustemme perusteella utaretulehduksen havaitsemisessa perinteinen CMT-testi oli lämpökuvantamista käyttökelpoisempi. Myöskään poikimisen ajankohtaa ei lämpökuvantamisen avulla voitu ennakoita. Sen sijaan poikimahalvausten ja sorkkaterveyden seurannasta saatiin lupaavia tuloksia, joiden perusteella luotiin navettakäyttöön soveltuvat, tieteelliseen tutkimukseen perustuvat tulkintaohjeet sorkkaterveyden ja poikimahalvausten tilatason seurantaan. Tulkintaohjeita käytettäessä on muistettava, ettei niitä ole tarkoitettu poikimahalvauksien ja sorkkasairauksien diagnosointiin, vaan helpottamaan mahdollisesti hoidon tarpeessa olevien eläinten löytämistä.

8.1 Lämpökuvien tulkinnan haasteita

Vaikka nautojen pintalämpötilojen muutoksien on todettu tutkimuksissa kertovan terveydentilan muutoksista (ks. Frondelius ym. 2019), on menetelmän käytäntöön viemisessä ratkaistavana monia haasteita. Lämpökuvia tulkittaessa on muistettava, että kaikki pintalämpötilamuutokset eivät johdu sairaudesta, vaan pintalämpötila voi muuttua esimerkiksi eläimen fysiologisten reaktioiden tai ympäristöolosuhteiden muutosten seurauksena. Myös käytetty lämpökamera vaikuttaa siihen, miten tarkasti pintalämpötilaa voidaan havainnoida. Tämän lisäksi lämpökamerat ovat yksilöitä: niiden antamat mittaustulokset poikkeavat aina jonkin verran toisistaan.

Naudan elimistön rakenne ja normaalit fysiologiset reaktiot vaikuttavat pintalämpötilaan (ks. Frondelius ym. 2019). Lisäksi eläinyksilöiden ja todennäköisesti myös rotujen välillä on lämpötilavaihtelua, joka vaikeuttaa raja-arvojen määrittämistä. Sorkkien lämpökuvien tulkintaohjeet perustuvat sorkan ruununrajan maksimilämpötilan mittaukseen. Sorkkaterveyden arvioinnin helpottamiseksi luotu Sorkkalaskuri huomioi paitsi ympäristön lämpötilan myös sen, onko kyseessä etusorkat vai takasorkat. Sorkkalaskurin kehittämisessä ei kuitenkaan pystytty huomioimaan muita ruununrajan lämpötilaan mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä, kuten eläimen rotu, ikä, sukupuoli jne. Lämpökuvia tulkittaessa on muistettava, että eläimen normaalit toiminnot saattavat näkyä lämpötilamuutoksina. Esimerkiksi fyysinen aktiivisuus tai sen vähyys näkyy lämpökuvissa.

Ympäristöolosuhteet vaikuttavat kuvauskohteen pintalämpötilaan (Paloniitty ym. 2018). Ympäristön vaikutusta pintalämpötilan mittaukseen huomioidaan lämpökameran asetuksissa ja Sorkkalaskurissa. Lämpökuvien tulkinnassa on kuitenkin muistettava, että ympäristön lämpötila vaikuttaa kehon ääresosien, esimerkiksi sorkkien, pintalämpötilaan nopeasti. Lämpökuvauspaikan sekä eläimen pitopaikan olosuhteiden havainnointi myös muuten kuin lämpötilan osalta on tärkeää lämpökuvia tulkittaessa. Esimerkiksi auringonpaiste tai tuuli voivat lämmittää tai viilentää ihon pintaa ja näkyä esimerkiksi naudan reiden maksimilämpötilassa. Lämpökuvaajan on siis syytä tarkkailla eläimen itsensä lisäksi ympäristöä.

Mittaukseen käytettävällä lämpökameralla on oma vaikutuksensa mittaustuloksiin, erityisesti silloin kun mitataan absoluuttisia lämpötiloja. Jos lämpökuvien tulkintaohjeet perustuvat raja-arvoihin, kuten näissä ohjeissa, voi lämpökameran mittaustarkkuus (ks. Taulukko 1) vaikuttaa lämpökuvas-
ta etsittävään raja-arvoon. Tutkimusnavettakuvauksissa kultaisena standardina käytetyn FLIR T540-lämpökameran mittaustarkkuus on ± 2 °C ja osa tilakäyttöön testattavista lämpökameroista ylittää samaan tarkkuuteen (FLIR C2, FLIR E5) tai jää sen alle (FLIR One Pro ja Caterpillar S60). Todennäköisesti tekniikan kehittyessä markkinoille tulee entistä laadukkaampia ja helppokäyttöisempiä lämpökameroita entistä edullisemmin, joten tulevaisuudessa lämpötilamittaus voi olla tarkempaa. Sopivaa lämpökameraa valittaessa on siis syytä kiinnittää huomiota mittaustarkkuuteen ja muihin tärkeisiin ominaisuuksiin.

KuNassa kehitetyt tulkintaohjeet perustuvat yhdellä lämpökameralla kuvattuun aineistoon, joten ne toimivat hyvin vain sellaisilla kameroilla kuvattaessa, joiden mittaustulos eroaa todellisesta lämpötilasta samalla tavoin kuin aineiston keruussa käytetyn lämpökameran mittaustulokset. Lämpökameroi-

den välillä on yksilöllisiä eroja ja koska lämpökameroiden mittaustarkkuus on yleisesti ± 2 °C, kahdella eri lämpökameralla mitatut lämpötilat voivat erota toisistaan jopa 4 °C. Alhaisemman tarkkuuden kameroiden tapauksessa ero mittaustuloksessa voi olla vielä isompi. Lämpökameroiden yksilölliset erot aiheuttavat tilanteita, joissa kamerasta riippuen voi tulla säännöllisesti joko vääriä hälytyksiä tai sairastapauksia jää löytymättä.

Nautojen terveydentilan seuranta lämpökuvauksen avulla vaatii kuvaajalta aikaa ja perehtyneisyyttä lämpökuvaukseen. Lämpökuvien tulkinta on haasteellista myös esimerkiksi rakennuskuvauksissa (Palmi ym. 2018), ja haasteet koskevat menetelmää laajemminkin. Tilatestausten palautteissa esille nousi myös lämpökuvauusergonomia: sorkkia kuvatessa on lämpökuvat otettava mahdollisimman alhaalta, jolloin kuvaaja joutuu työskentelemään epäergonomisissa asennoissa. Myös työturvallisuus voi vaarantua, erityisesti vapaana olevia eläimiä kuvattaessa. Ergonomiaa ja työturvallisuutta voitaisiin parantaa esimerkiksi siten, että lämpökamera kiinnitettäisiin erillisen apuvarren päähän, jolloin sorkat saisi kuvattua kumartelematta. Vaihtoehtoisesti kuvauksen voisi tehdä lypsyasemalla, jolloin sorkat ovat kuvaajaan nähden korkeammalla.

KuNa-hankkeessa kehitettiin lämpökuvausohjeita päivittäiseen eläinten tarkkailuun. Kyseessä ei siis ole diagnostiikan apuväline, vaan lämpökameran voidaan ajatella olevan kehittynyt kuumemittari, jolla eläintenhoitaja voi tarkastaa eläimen pintalämpötilan ja käyttää saatua tietoa apuna muiden eläinten tarkkailumenetelmien rinnalla. Hoitopäätöstä tai hoitamatta jättämispäätöstä ei siis koskaan pidä tehdä pelkän lämpökuvantamisen perusteella, sillä lämpökameroilla absoluuttisten lämpötilojen mittaaminen on haastavaa. Lisäksi lämpökuvien tulkinta vaatii perehtymistä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, ettei lämpökameraa voi käyttää yhtä huolettomasti kuin digitaalista valokuvakameraa!

8.2 Lämpökuvauksen mahdollisuudet

Tieteellinen kirjallisuus osoittaa, että lämpökuvauksessa on potentiaalia nautojen terveyden seurannan apuvälineeksi (Frondeus ym. 2019). Tilatestausten yhteydessä testajilta selvitettiin, millaisia ominaisuuksia tulevaisuuden lämpökuvauslaitteistolla olisi hyvä olla. Vastauksessa toistui usein se, että lämpökuvauksen tulisi olla automaattista. KuNa-hankkeessa kehitetyt ohjeet vaativat käsityötä niin kuvien ottamisessa kuin saatujen kuvien tulkinnassakin. Hankkeessa kerätty ja analysoitu lämpökuvausaineisto kuitenkin auttaa tulevaisuuden kehitystarpeita. Automaattisia lämpökuvauslaitteistoja ja kuvien tulkinnan tekeviä algoritmeja kehitettäessä tarvitaan huolellisesti analysoituja aineistoja.

Poikimahalvausten ennakointi perustuu lantion ja takareiden suurten lihasten maksimilämpötilan mittaukseen. Vaikka koeaineisto oli pieni, se antoi viitteitä siitä, että poikimahalvausta on mahdollista havainnoida lämpökuvauksen avulla. Lämpökuvaukseen voidaan hyödyntää myös sorkkaterveyden seurannassa. Yksittäisten lehmien pintalämpötiloissa on kuitenkin huomattavaa vaihtelua, joten jatkok tutkimuksissa olisi kiinnostavaa selvittää sorkkien ja poikimahalvausten osalta, voisiko eläin toimia omana verrokkinaan. Esimerkiksi kiimanseurantajärjestelmissä laitteisto mittaa ensin naudan yksilöllisen aktiivisuustason ja sen jälkeen peilaa muutoksia näin määritettyyn aktiivisuuden perustasoon. Tätä toimintaperiaatetta voisi mahdollisesti soveltaa myös lämpökuvien automaattiseen tulkintaan. Kameroiden välisestä vaihtelusta ja mittaustarkkuudesta johtuvat ongelmat jäävät pois, jos eläin toimii itse omana verrokkinaan ja lämpökuvat otetaan käyttäen aina samaa kameraa.

Navettaolosuhteisiin suunniteltujen lämpökuvausohjeistusten luomisessa pyrittiin huomiomaan niiden helppokäyttöisyys. Mittauskohteiksi valittiin sellaisia arvoja, joiden tulkinta olisi mahdollista suoraa lämpökameran ruudulta. Analysointiohjelman käyttö mahdollistaisi kokonaan toisenlaisen lähestymistavan: silloin myös tilakäyttöön soveltuvien lämpökameroiden ottamista kuvista voisi mitata eläimen eri kohtien välisiä lämpötilaeroja. Eri kameroilla otetut lämpökuvat ovat vertailukelpoisempia silloin, kun vertaillaan kuvan sisällä näkyviä lämpötilaeroja absoluuttisten lämpötilojen sijaan (ks. [kappale 3.3](#)). Yksi mahdollinen keino parantaa tulkinnan luotettavuutta, on kehittää kuvan sisäisten lämpötilaerojen vertailuun perustuva tulkintaohje. Se toimisi varmemmin huolimatta käytössä olevasta lämpökamerasta. Analysointiohjelman käytöstä on hyötyä myös näitä ohjeita soveltaessa.

Liikkuvan eläimen kuvaaminen ja maksimilämpötilan löytäminen kuvausalueelta voi olla navetassa haastavaa. Maksimilämpötilan voi halutessaan etsiä analysointiohjelman avulla, jolloin huonoillakin mittausytökaluilla varustellulla kameralla saa maksimilämpötilan varmemmin selville.

8.3 Yhteenveto

KuNa-hankkeen tavoitteena oli selvittää, onko lämpökuvauksesta apua nautojen terveyden ja hyvinvoinnin seurannassa. Tekemiemme testausten perusteella kehitimme tieteelliseen tutkimukseen perustuvat ohjeet nautojen lämpökuvaukseen sekä sorkkien ja poikimahalvausten lämpökuvien tulkintaan. Kehitystyö osoitti, että uuden menetelmän, esimerkiksi lämpökuvauksen, käytäntöön vieminen ja soveltaminen tuotannon ohjauksen työkaluksi vaatii pitkäjänteistä työskentelyä ja käytännön ongelmien ratkaisua, vaikka tutkimustuloksia olisikin runsaasti tarjolla.

Lämpökuvauksesta on hyötyä eläinten terveyden ja hyvinvoinnin seurannassa, jos se paljastaa terveysongelman ennen muita näkyviä merkkejä tai aikaisempaa vaivattomammin. Hankkeen tulokset osoittavat, että sorkkaterveyttä ja poikimahalvauksia voidaan havainnoida lämpökuvantamisen avulla, mutta lisätutkimuksille on tarvetta, sillä lypsylehmistä kerätty tutkimusaineisto on kohtuullisen pieni ja kerätty yhdellä lämpökameramallilla. Esimerkiksi lievästi ontuvien eläinten tunnistamiseen karjassa kannattaisi panostaa, sillä tutkimusten mukaan suomalaisista lypsylehmistä ontuu keskimäärin 20–30 % (Sarjokari ym. 2012, Frondelius 2017). Ongelmien varhainen havaitseminen mahdollistaa aikaisessa vaiheessa tapahtuvan hoidon ja parantaa paranemisennustetta. KuNa-hankkeessa luotiin pohjaa lämpökuvauksensovellusten jatkokehitykselle: sorkkasairauksien ja poikimahalvausten lisäksi muitakin terveysmuutoksia kannattaa tutkia.

Johtopäätökset

- Lämpökuvauksessa on potentiaalia. Tieteellinen kirjallisuus ja KuNa-hankkeessa tehty selvitystyö osoittavat, että lämpökuvantamisesta voi olla apua sorkkaongelmien ja poikimahalvausten havaitsemisessa. Lisäselvityksiä kuitenkin tarvitaan ennen menetelmän laajamittaista käyttöön-ottoa.
- Lämpökameraa ei voi käyttää yhtä huolettomasti kuin digitaalista valokuvakameraa. Perehdy lämpökuvauksen periaateisiin ja lämpökameran toimintaan ennen lämpökuvauksista luotettavien mittaustulosten saamiseksi. KuNassa kootut lämpökuvauksensohjeet ovat sovellettavissa myös muille lämpökuvauksikohteille.
- Älä ylitulkitse. Lämpökuvien tulkinta vaatii ymmärrystä niin kuvauskohteen fysiologiasta kuin kuvausympäristön vaikutuksestakin. Lämpökuvauksella voi kuitenkin toimia nautojen terveyden seurannan apuvälineenä.
- Lämpökamera mittaa ja visualisoi pintalämpötiloja. Maatiloilta löytyy lukuisia kohteita, joista lämpökuvauksella voi tuottaa lisätietoa.

9. Lähteet

- Alsaad, M., Syring, C., Dietrich, J., Doherr, M.G., Gujan, T. & Steiner, A. 2014. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. *The Veterinary Journal* 199: 281–285.
- Curran, A., Klein, M., Hepokoski, M., & Packard, C. 2015. Improving the accuracy of infrared measurements of skin temperature. *Extreme Physiology & Medicine*, 4 (Suppl 1): A140.
- Egger-Danner, C., Nielsen, P., Fiedler, A., Müller, K., Fjeldaas, T., Döpfer, D., Daniel, V., Bergsten, C., Cramer, G., Christen, A.-M., Stock, K, F., Thomas, G., Holzhauser, M., Steiner, A., Clarke, J., Capion, N., Charfeddine, N., Pryce, E., Oakes, E., Burgstaller, J., Heringstad, B., Ødegård, C. & Kofler, J. 2020. ICAR claw health atlas. Toinen painos. ICAR Technical Series. Saatavissa internetistä: https://www.icar.org/ICAR_Claw_Health_Atlas.pdf
- FLIR Systems. 2012. The ultimate infrared handbook for R&D professionals. USA: FLIR Systems, Inc. 31 s.
- Frondelius, L. 2017. Itäsuomalaisten lypsykarjojen hyvinvointi Welfare Quality® -arvioinnissa. Teoksessa: Luentokokonaisuus 2017, Eläinlääkäripäivät, 13-15 December, 2017/Fennovet Oy, Tampere. p. 240-245.
- Frondelius, 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 p. Saatavissa internetistä: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/543903>
- Harrap, M.J.M., Hempel de Ibarra, N., Whitney, H.M. & Rands, S.A., 2018. Reporting of thermography parameters in biology: a systematic review of thermal imaging literature. *Royal Society Open Science* 5: 181281.
- Higginson Cutler, J.H., Rushen, J., de Passillé, A.M., Gibbons, J., Orsel, K., Pajor, E., Barkema, H.W., Solano, L., Pellerin, D., Haley, D. & Vasseur, E. 2017. Producer estimates of prevalence and perceived importance of lameness in dairy herds with tiestalls, freestalls, and automated milking systems. *Journal of Dairy Science* 100: 9871–9880.
- Hovinen, M., Siivonen, J., Taponen, S., Hänninen, L., Pastell, M., Aisla, A.M. & Pyörälä, S. 2008. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera. *Journal of Dairy Science* 91: 4592–4598.
- Howell, K., Dudek, K., & Soroko, M. 2020. Thermal camera performance and image analysis repeatability in equine thermography. *Infrared Physics & Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103447>
- Huxley, J.N., 2013. Impact of lameness and claw lesions in cows on health and production. *Livestock Science* 156: 64 – 70.
- Malmivirta, T., Hamberg, J., Lagerspetz E., Li X., Peltonen E., Flores, H. and Nurmi, P. 2019. Hot or Not? Robust and Accurate Continuous Thermal Imaging on FLIR cameras. Article in conference proceedings, IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. pp. 1–9, doi: 10.1109/PERCOM.2019.8767423.
- Marshall, R.T., Edmondson, J.E. & Steevens, B. 1993. Using the California Mastitis Test. MU Extension. Viitattu 24.3.2021. Saatavissa internetistä: <https://extension.missouri.edu/publications/g3653>

- McManus, C., Tanure, C.B., Peripolli, V., Seixas, L., Fischer, V., Gabbi, A.M., Menegassi, S.R.O., Stumpf, M.T., Kolling, G.J., Dias, E. & Costa, J.B.G. Jr. 2016. Infrared thermography in animal production: an overview. *Computers and Electronics in Agriculture* 123: 10 - 16.
- Miwa, M., Matsuyama, S., Nakamura, S., Noda, K. & Sakatani, M. 2019. Parturition change in ventral tail base surface temperature in beef cattle: comparison with vaginal temperature and behavior indices, and effect of ambient temperature. *Journal of Reproduction and Development* 65: 515 – 525.
- Modest, M.F. 2003. Radiative Heat Transfer. Amsterdam, Alankomaat: eBook Academic Press. Toisen painos. 721 s.
- Paloniitty, S., Paloniitty, J. & Haimilahti, J. 2018. Lämpökuvaus rakentamisessa. 2. painos. Vaasa: Rakennustieto, Graphics. 140 s. ISBN 978-952-267-107-3.
- Oetzel, G.R. 2013. Oral calcium supplementation in peripartum dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 29: 447 – 455.
- Okada, K., Takemura, K. & Sato, S. 2013. Investigation of various essential factors for optimum infrared thermography. *Journal of Veterinary Medical Science* 75: 1349 - 1353.
- Pyörälä, S. & Taponen, S. 2009. Coagulase-negative staphylococci-emerging mastitis pathogens. *Veterinary Microbiology* 134: 3–8.
- Pyörälä, S. & Tiihonen, T. 2005. Kalsiumaineenvaihdunnan häiriöt. Nautojen sairaudet 2005. Saatavissa internetistä: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/544/01_kalsiumaineenvaihdunnan_hairiot.pdf?sequence=19&isAllowed=y
- Reinhardt, T.A., Lippolis, J.D., McCluskey, B.J., Goff, J.P. & Horst, R.L. 2011. Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *The Veterinary Journal* 188: 122 – 124.
- Rekant, S.I., Lyons, M.A., Pacheco, J.M., Arzt, J. & Rodriguez, L.L. 2016. Veterinary applications of infrared thermography. *American Journal for Veterinary Research* 77: 98 - 106.
- Sarjokari, K., Kaustell, K.O., Hurme, T., Kivinen, T., Peltoniemi, O.A.T., Saloniemi, H., & Rajala-Schultz, P.J. 2013. Prevalence and risk factors for lameness in insulated free stall barns in Finland. *Livestock Science* 156: 44 – 52.
- Schlageter-Tello, A., Bokkers, E.A.M., Groot Koerkamp, P.W.G., Van Hertem, T., Viazzi, S., Romanini, C.E.B., Halachmi, I., Bahr, C., Berckmans, D. & Lokhorst, K. 2014. Manual and automated locomotion scoring system in dairy cows: A review. *Preventive Veterinary Medicine* 116: 12–25.
- Soroko, M. & Davies Morel, M.C.G. 2013. Equine Thermography in Practice. Oxfordshire, Iso-Britannia: CAB International. 99 s. ISBN 978-1-78064-787-6.
- Tattersall, G.J. 2016. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 202: 76 - 98.
- Westermann, S., Buchner, H.H.F., Schramel, J.P., Tichy, A. & Stanek, C. 2013. Effects of infrared camera angle and distance on measurement and reproducibility of thermographically determined temperatures of the distal aspects of the forelimbs in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 242: 388 - 395.
- Wilhelm, K., Wilhelm, J. & Füll, M. 2014. Use of thermography to monitor sole haemorrhages and temperature distribution over the claws of dairy cattle. *The Veterinary Record* 176: 146–152.
- Zhang, K., Jiao, L., Zhao, X. & Dong, D. 2016. An instantaneous approach for determining the infrared emissivity of swine surface and the influencing factors. *Journal of Thermal Biology* 57: 78 - 83.

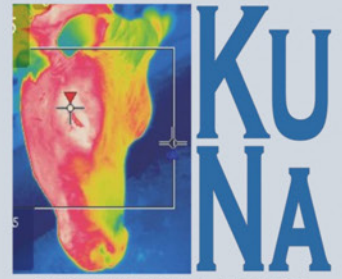
10. Liitteet

Liite 1. Navettakäyttöön soveltuvat pikaohjeet sorkkien lämpökuvaukseen

Liite 2. Navettakäyttöön soveltuvat pikaohjeet poikimahalvausten lämpökuvaukseen

LÄMPÖKUVAUS

SORKKATERVEYDEN HAVAINNOINNISSA



KUVAA NAUTAA -HANKE

MIKSI KUVATA?

Suomalaisista lypsylehmistä ontuu 20 - 30 %. Lievästi ontuvien nautojen havaitseminen karjasta on haastavaa, mutta vakavat sorkkasairaudet nostavat sorkan ruununrajan lämpötilaa.

MITEN?

1.

Aseta lämpökameran asetukset kohdalleen.
Mittaa ympäristön lämpötila.

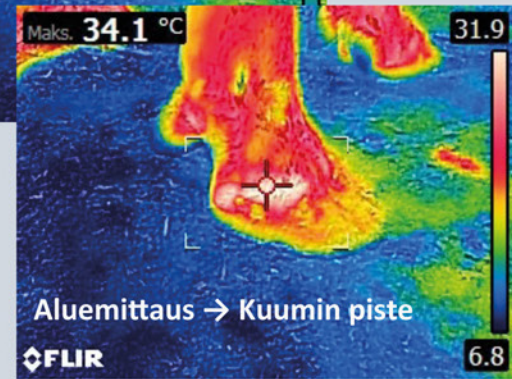
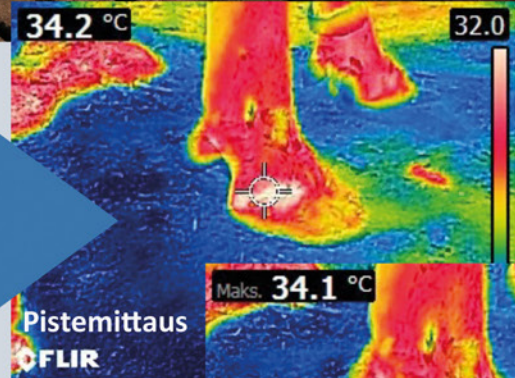


2.

Kuvaa korkeintaan 30° kulmassa,
noin 1 metrin päästä eläimestä.

3.

Mittaa sorkan ruununrajan
maksimilämpötila.



NÄIN TULKITSET

Syötä maksimilämpötila ja ympäristön lämpötila Sorkkalaskuriin. Seuraa Sorkkalaskurin ohjeita.

Älä kuitenkaan tee hoitopäätöstä tai jätä lehmää hoitamatta pelkästään lämpökuvauksen perusteella!

LISÄTIETOA:



TIETOKORTIT:
Nautojen lämpökuvaus
<https://kuna.savonia.fi/tietoa/julkaisut>



SORKKALASKURI:
<https://kuvaa-nautaa.github.io/sorkat>



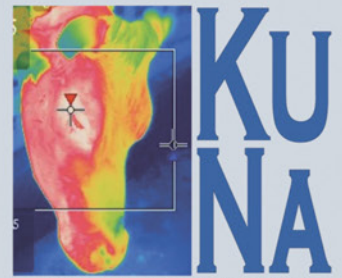
@kuvaanautaa



kuna.savonia.fi

LÄMPÖKUVAUS

POIKIMAHALVAUSTEN HAVAINNOINNISSA



KUVA NAUTAA -HANKE

MIKSI KUVATA?

Poikimahalvauksessa lehmän pintalämpötila alenee. Lämpökuvauus on yksi keino havaita lämpötilan aleneminen varhaisessa vaiheessa. Poikimahalvauksen varhainen havaitseminen mahdollista aikaisessa vaiheessa tapahtuvan hoidon.

MILLOIN?

0-6 h sisällä poikimisesta.

MITEN?

1.

Säädä lämpökameran asetukset kohdalleen. Mittaa ympäristön lämpötila.

2.

Kuvaa suoraan takaapäin, korkeintaan 30° kulmassa ja noin 1 metrin päästä eläimestä.

3.

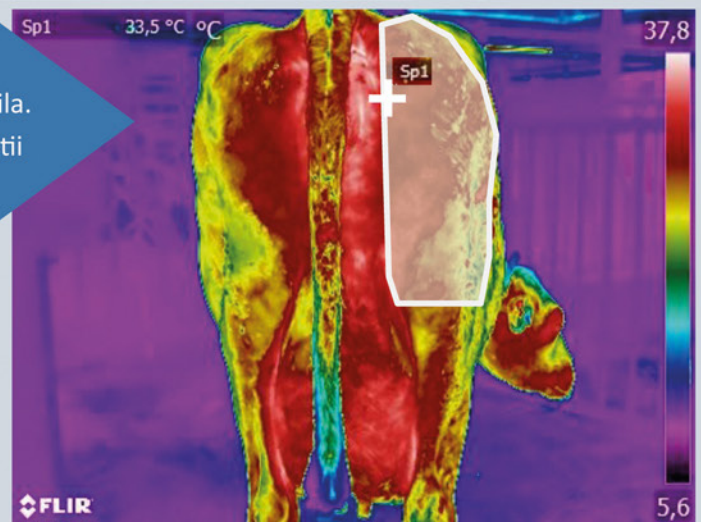
Mittaa piste- tai aluetyökälulla varjostetun alueen maksimilämpötila. Maksimilämpötilan löytäminen vaatii tarkkuutta.



NÄIN TULKITSET

Lehmä on todennäköisesti sairastumassa poikimahalvaukseen, jos kyseisen alueen maksimilämpötila on alle 33 °C.

Älä kuitenkaan tee hoitopäätöstä tai jätä lehmää hoitamatta pelkästään lämpökuvauksen perusteella!



LISÄTIETOA:



TIETOKORTIT:
Nautojen lämpökuvauus:
<https://kuna.savonia.fi/tietoa/julkaisut>



VIDEO:
Lämpökameran asetukset ja kuvausvinkkejä:
<https://www.youtube.com/watch?v=LFO0BRORzho>



@kuvaanautaa



kuna.savonia.fi

KUVAA NAUTAA

- LÄMPÖKUVANTAMISEN HYÖDYNTÄMINEN
SORKKIEN JA POIKIMAHALVAUSTEN SEURANNASSA

Tieteellisten tutkimusten perusteella lämpökuvauksessa on potentiaalia nautojen terveyden seurannan apuvälineeksi. Lämpökuvauksen mahdollisuudet kiinnostavat myös viljelijöitä, sillä karjatoon kasvaessa nautojen hyvinvoinnin seurantaan tarvitaan apuvälineitä.

Lämpökamera mittaa ja visualisoi kohteen pintalämpötilaa, mutta lämpökuvien tulkinta on osoittautunut vaikeaksi. Lämpökameraa ei myöskään voi käyttää yhtä huolettomasti kuin valokuvakameraa.

Tämä Kuvaa Nautaa -hankkeen tulosraportti johdattaa sinut niin nautojen lämpökuvantamisen kuin lämpökuvien ei-diagnostisen tulkinnan saloihinkin.

Lisäksi saat tietoa maatilakäyttöön sopivan lämpökameran valinnan tueksi, sillä nautojen lämpökuvantaminen asettaa käytettävälle lämpökameralle omat vaatimuksensa.

