



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
LUONNONVARA- JA YMPÄRISTÖALA

TIETOKORTIT LÄMPÖKUVAAMISEN TUEKSI

TEKIJÄ: Eero Puustinen

Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Agrologin tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Eero Puustinen	
Työn nimi Tietokortit lämpökuvaamisen tueksi	
Päiväys	27.5.2019
Sivumäärä/Liitteet	33/6
Ohjaaja(t) Miika Kahelin	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuvaa Nautaa -hanke/Salla Ruuska	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Lämpökameran toiminta perustuu lämpösäteilyn vastaanottamiseen. Kuvauskohteen pinnalta lähtee luonnostaan lämpösäteilyä, joka voidaan mitata lämpökameralla. Lämpökameran ilmaisimella muuttuu lämpösäteilyn voimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta muodostuu laitteen näytölle reaaliaikainen lämpökuva. Lämpökameralla mitataan kuvattavan kohteen pintalämpötilajakaumia.</p> <p>Lämpökamerakuvaus on noninvasiivinen tapa tutkia kohdetta. Menetelmä ei aiheuta eläimelle kipua, eikä eläimeen tarvitse koskea, joten se pysyy rauhallisena. Lämpökamera pystyy erottamaan jopa alle yhden asteen lämpötilaeron, joten lämpökuvauksella huomataan pienet muutokset pintalämpötiloissa. Eläimen lämpökuvasta etsitään yleensä tulehduksia, muutoksia lihaksissa tai hermojärjestelmässä. Lämpökuvan perusteella voidaan arvioida vamman laajuutta, hoidon tarvetta tai sen tehoamista.</p> <p>Kortelainen ja Koskela (2018) kuvaavat opinnäytetyössään, että lämpökamerakuvausta on mahdollista käyttää nautojen hyvinvoinnin määrittämisessä. Lämpökameraa pidetään yleisesti liian monimutkaisena työvälineenä, mutta halukkuutta kouluttautumiseen on. Lämpökuvan luotettavaan mittaustulokseen vaikuttavat niin ympäristöolosuhteet kuin lämpökuvaajan toiminta. Menetelmän yleistymisen vaatii, että esimerkiksi tilatasolla otetut lämpökuvat ovat luotettavia. Tarvitaan siis ohjeet lämpökuvaamisen tueksi.</p> <p>Opinnäytetyössä laadittiin kuusi tietokorttia, jotka käsittelevät lämpökuvauksen käytännön toteuttamista, eläimen lämpökuvaamista sekä lämpökameroiden ominaisuuksia. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda ohjeet, joiden avulla parannetaan esimerkiksi tilatasolla toteutetun lämpökuvauksen luotettavuutta. Tietokorttien avulla luotiin yhtenäinen aineisto, joka on löydettävissä yhdestä paikasta ja kaikkien saatavilla. Opinnäytetyön raportissa tutustuttiin lämpökuvaamiseen lähdeaineiston avulla ja kuvattiin työn toteutuksen vaiheet.</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Kuvaa Nautaa -hanke. Hankkeen tavoitteena on luoda ohjeistus nautojen lämpökamerakuvaamiseen. Tietokortit ovat esillä hankkeen kotisivuilla ja niitä voidaan hyödyntää koulutusmateriaalina. Tietokortit ja opinnäytetyön raportti julkaistiin myös opinnäytetyön blogissa.</p>	
Avainsanat lämpösäteily, lämpökuvaaminen, lämpökamera, lämpökuva, tietokortti, lämpökuvausohje	

Field of Study Natural Resources and the Environment			
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and rural Industries			
Author(s) Eero Puustinen			
Title of Thesis Instructions for thermal imaging			
Date	27.5.2019	Pages/Appendices	33/6
Supervisor(s) Miika Kahelin			
Client Organisation /Partners Kuvaa Nautaa –hanke/Salla Ruuska			
<p>Abstract</p> <p>The function of a thermal camera is based on receiving thermal radiation. Thermal radiation emits from the surface of the subject naturally. This radiation can be measured with a thermal camera. The detector of the thermal camera transforms the power of thermal radiation to temperature data. This data is used to form a real-time thermal image on the display of the device. The thermal camera is used to measure the surface temperatures of the objects.</p> <p>Thermal imaging is a non-invasive method to examine the subject. Method does not cause pain to the animal, no need to touch the animal, so the animal remains calm. The thermal camera is capable of distinguishing a temperature difference even less than one degree, so small changes in surface temperatures can be detected by thermal imaging. The thermal image is usually used for searching for infections, changes in muscles or nervous system. The thermal image can be used to determine the area of injury, the need of treatment or its effects.</p> <p>Kortelainen and Koskela (2018) describe in their thesis, that thermal imaging can be used as a tool to determine cattle welfare. A thermal camera is considered as too complicated device, but there is willingness to train. Environmental conditions and the action of a thermal photographer influence the reliability of the thermal image measurement. The images need to be reliable on the farm basis, before this method becomes more common. There is a need for instructions for thermal imaging.</p> <p>Six different data bases were formed at this thesis. These data bases contain information about practical implementation of thermal imaging, the thermal imaging of animal and the properties of thermal cameras. The aim of this thesis was to form instructions that improve the reliability of farm stage thermal imaging. The data bases work as uniform material, which is available for everyone in the same place. The report of thesis contained information about thermal imaging and described the steps of process.</p> <p>The client of this thesis was Kuvaa Nautaa -project. The aim of the project is to create instructions for cattle thermal imaging. The data bases can be found from project website and they can be used as training material. The data bases and the report were also published in a blog that was made for the thesis.</p>			
<p>Keywords thermal radiation, thermal imaging, thermal camera, thermal image, data base, instruction for thermal imaging</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	LÄMPÖKUVAUKSEN PERIAATE	7
2.1	Lämpösäteily	7
2.2	Emissiivisyys	8
2.3	Leslien kuutio	9
2.4	Ympäristön vaikutukset lämpökuvaukseen	10
2.5	Lämpötilan määrittäminen	11
3	LÄMPÖKAMERAN TEKNIikka	12
3.1	Lämpökameran optiikka	12
3.2	Ilmaisimet	12
3.3	Lämpökuvan muodostuminen	13
4	LÄMPÖKAMERAN OMINAISUUDET	14
4.1	Lämpökameran valinta	14
4.2	Muita valinnassa huomioitavia tekijöitä	14
4.3	Lisäominaisuudet	15
4.4	Lämpökuvien jatkokäsittely	16
5	LÄMPÖKAMERA TUTKIMUSVÄLINEENÄ	17
5.1	Eläimen lämpökuvaaminen	17
5.2	Eläinten tutkimuksissa käytetty laitteisto	18
6	TYÖN TOTEUTUS	19
6.1	Yhteistyö hankkeen kanssa	19
6.2	Palautteen keruu tietokorteista	20
7	TIETOKORTTIEN LAADINTA	21
7.1	Tietokorttien rakenne	22
7.2	Tietokorttien tekstit ja kuvat	23
7.3	Tietokorttien aiheet	24
7.3.1	Eläimen lämpökuvaaminen	25
7.3.2	Emissiivisyys	25
7.3.3	Lämpökameran ominaisuudet	26
7.3.4	Lämpökuvauksen toteutus	26
7.3.5	Lämpökuvauksen olosuhteet	27

7.3.6 Lämpökuvauksen jälkeen.....	27
8 POHDINTA.....	28
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	30
LIITE 1: ELÄIMEN LÄMPÖKUVAAMINEN	34
LIITE 2: EMISSIIVISYYS.....	35
LIITE 3: LÄMPÖKAMERAN OMINAISUUDET	36
LIITE 4: LÄMPÖKUVAUKSEN TOTEUTUS.....	37
LIITE 5: LÄMPÖKUVAUKSEN OLOSUHTEET	38
LIITE 6: LÄMPÖKUVAUKSEN JÄLKEEN	39

1 JOHDANTO

Saaliseläimenä nauta usein pyrkii piilottamaan kipunsa ja se voi ärsyntyä hoitajan kosketuksesta (Hokkanen 2016). Lämpökamerakuvaus on noninvasiivinen tapa tutkia kohdetta. Se ei aiheuta eläimelle kipua, eikä eläimeen tarvitse koskea, joten se pysyy rauhallisena. Lämpökuvauksella huomataan pienetkin muutokset pintalämpötiloissa, jotka voivat kertoa lihaksien, verisuonien, luuston tai hermojärjestelmän toiminnan muutoksista. Menetelmällä voidaan havaita alkavia vammoja jo ennen kuin ne vaikuttavat eläimen käyttäytymiseen. Lämpökamera pystyy erottamaan jopa alle yhden asteen lämpötilaeron, joten sen herkkyys on kymmenkertainen ihmisen käteen verrattuna. (Veterinary Thermal Imaging s.a.)

Mirka Kortelainen ja Elina Koskela (2018) esittelivät opinnäytetyössään nautojen lämpökamerakuvausten mahdollisuuksia ja tekivät kyselytutkimuksen sidosryhmille. Kortelainen ja Koskela kuvaavat opinnäytetyössään, kuinka lämpökamerakuvausta on mahdollista käyttää nautojen hyvinvoinnin määrittämiseen. He kuitenkin mainitsevat, että lämpökameraa pidetään yleisesti liian monimutkaisena työvälineenä mutta halukkuutta kouluttautumiseen on. Lisäksi kokemuksia lämpökameran käyttämisestä tavanomaisissa olosuhteissa on varsin vähän. Lämpökuvan luotettavaan mittaustulokseen vaikuttavat niin ympäristöolosuhteet kuin lämpökuvaajan toiminta. Menetelmän yleistyminen tilatasolla vaatii, että siellä otetut lämpökuvat ovat luotettavia. Tarvitaan siis ohjeet lämpökuvaamisen tueksi.

Opinnäytetyöni tarkoituksena on tutustua lämpökuvaamiseen lähdeaineistojen avulla. Opinnäytetyöstä laaditaan kirjallinen raportti, jonka teoriaosa toimii pohjustuksena lämpökuvaamiselle. Tämän opinnäytetyön aiheena on tuottaa lähdeaineistojen pohjalta tietokortteja lämpökuvaamisen tueksi. Tietokortit käsittelevät lämpökuvauksen käytännön toteuttamista, eläimen lämpökuvaamista sekä lämpökameroiden ominaisuuksia. Suomenkielinen internetaineisto on vähäistä ja hajallaan, mikä voi vaikuttaa aiheen kiinnostavuuteen tilatasolla. Tietokorttien avulla luodaan yhtenäinen aineisto, joka on kaikkien saatavilla yhdestä paikasta. Tietokortit voi tulostaa ja ne kulkevat vaivatta lämpökuvaajan mukana. Opinnäytetyöni tavoitteena on luoda ohjeet, joiden avulla parannetaan esimerkiksi tilatasolla toteutetun lämpökuvauksen luotettavuutta.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Kuvaa Nautaa -hanke, ja työn aihe on laadittu yhdessä hankkeen kanssa. Hankkeen projektipäällikkönä toimii Savonia-ammattikorkeakoulun lehtori Salla Ruuska. Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, sillä kiinnostus etenkin nautojen lämpökamerakuvaamiseen on kasvanut. Kyseessä on toiminnallinen opinnäytetyö, koska työssä ohjeistetaan alaan liittyvää toimintaa.

2 LÄMPÖKUVAUKSEN PERIAATE

Lämpökameran toiminta perustuu lämpösäteilyn vastaanottamiseen. Kuvauskohteen pinnasta lähtee luonnostaan lämpösäteilyä, joka voidaan mitata lämpökameralla. Lämpösäteilyn voimakkuus muuttuu lämpökameran ilmaisimen avulla lämpötilatiedoksi, josta muodostuu laitteen näytölle reaaliaikainen lämpökuva. Lämpökameralla siis mitataan kuvattavan kohteen pintalämpötilajakaumia. (Infradex s.a.) Täydellinen mustakappale, eli täydellinen säteilijä, ei heijasta ollenkaan ympäristönsä säteilyä. Todellisuudessa tällaisia kappaleita ei ole olemassa. Täydellisen säteilijän tiedostamisella on ollut kuitenkin valtava merkitys sille, että infrapunasäteilyä on alettu verrata kappaleen todelliseen lämpötilaan. (Flir Systems s.a.) Säteilevän kappaleen pintamateriaali vaikuttaa suuresti siihen, mikä osa lähetetystä säteilystä on kappaleen itsensä lähettämää eli emittoimaa (Infradex s.a.).

2.1 Lämpösäteily

Lämpösäteily on infrapunasäteilyä, jota lähettää jokainen sellainen kappale, jonka lämpötila ylittää absoluuttisen nollapisteen (Infradex s.a.). Säteilyn voimakkuus riippuu kappaleen pintalämpötilasta ja kappaleen emissiokertoimesta (Paloniitty, Paloniitty ja Haimilahti 2015, 16). Infrapuna on sähkömagneettisen säteilyn tyyppi, samoin kuin radioaallot, ultravioletti säteily, röntgensäteily sekä mikroaallot. Ihmisen silmä ei pysty havaitsemaan infrapunasäteilyä, mutta ihminen tuntee sen lämpönä ihollaan. (Lucas 2015.)

Infrapuna voidaan jakaa kolmeen eri aaltoalueeseen: lähi-infrapunaan, keskiaaltoalueeseen sekä pitkäaaltoalueeseen. Jokaisella aallonpituusalueella lämpösäteily käyttäytyy hieman eri tavalla. (Infradex s.a.). Säteilyn käyttäytymiseen kappaleen ja lämpökameran välillä vaikuttaa myös ilmakehä, joka vaimentaa säteilyä. Ilmakehän kaasut imevät säteilyä itseensä ja ilmakehän hiukkaset aiheuttavat säteilyyn hajontaa. Sumu, pilvet, ja sateet voivat estää ihmistä näkemästä etäällä olevia asioita. Sama periaate pätee myös säteilyyn, mutta vaimennuksen voimakkuus riippuu hyvin paljon säteilyn aallonpituudesta. (Flir Systems s.a.)

Lähi-infrapun aallonpituuksilla kohteen lähettämä lämpösäteily suodattuu melkein olemattomiin ilmakehän vaikutuksesta, joten se ei sovellu lämpökuvaukseen (Infradex s.a.). Lämpökuvaaminen mahdollistetaan kuvaamalla niin sanottujen ilmakehän ikkunoiden läpi, joita löytyy keskiaalto- ja pitkäaaltoalueilta (Flir Systems s.a.). Yleisimmin lämpökameroissa käytetään pitkäaaltokaistaa (Infradex s.a.). Keskiaaltoalueella tarvitaan erittäin herkkiä ilmaisimia, ja aaltoaluetta hyödynnetäänkin korkealaatuisissa tutkimuksissa ja sotilaallisissa käyttötarkoituksissa. Lämpökameran ohjelmisto on rakennettu korjaamaan ilmakehän aiheuttamaa vaimennusta. (Flir Systems s.a.) Lämpökamerat myös kalibroidaan mittaamaan lämpötilat oikein aallonpituuskaistasta huolimatta (Infradex s.a.).

2.2 Emissiivisyys

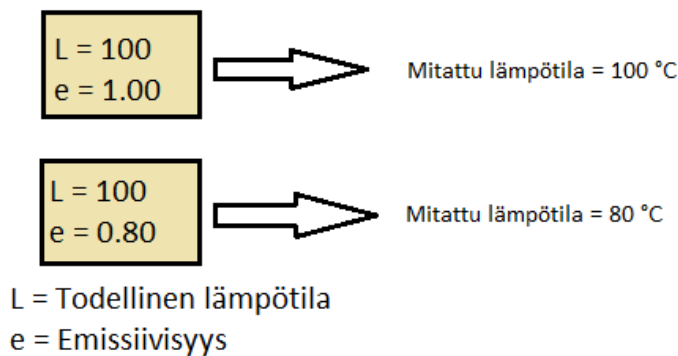
Kun kuvataan erilaisten kappaleiden säteilyominaisuuksia, niitä verrataan yleensä täydelliseen mustaan kappaleeseen. Samassa lämpötilassa olevan mustan kappaleen ja normaalin kappaleen emittoimaa energianmäärää verrataan toisiinsa. Lukujen välinen suhde kuvaa normaalin kappaleen emissiivisyyden. Emissiivisyys kuvataan numeroarvolla nollan ja ykkösen välillä ja emissiivisyyden symbolina käytetään kreikan pientä epsilon-kirjainta (ϵ). Mitä parempi kappaleen säteilyominaisuus on, sitä korkeampi on myös sen emissiivisyys. (Flir Systems s.a.) Emissiokertoimen ollessa lähellä yhtä (1), heijastuksen osuus on pienempi ja lämpökamera vastaanottaa enemmän kohteen omaa lämpösäteilyä (Paloniitty ym. 2015, 17). Jos emissiivisyyden arvo on esimerkiksi 0,40 se kertoo siitä, että materiaali säteilee vain 40 prosenttia siitä energiasta, mitä se pystyisi säteilemään. (Optotherm s.a.b.) Suurin osa materiaalin pinnasta lähtevästä lämpösäteilystä voi olla ympärillä olevien lämmönlähteiden ja pintojen heijastuksia (Paloniitty ym. 2015, 16-17).

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) kuvataan erilaisten materiaalien tyypillisiä emissiivisyyksiä pitkäaaltoalueella. Taulukosta käy ilmi pintamateriaalin vaikutus emissiivisyyteen, kun verrataan kiillotettua ja ruostunutta terästä keskenään. Ihmisen iho on melkein täydellinen säteilijä: emissiivisyys on lähes yksi. Emissiivisyyttä on melkein mahdotonta määrittää aivan tarkasti, sillä siihen vaikuttavat pinnan rakenne, väri, kuvauskulma ja mittaushetken lämpötila (ThermoWorks s.a.).

TAULUKKO 1. Tyypilliset emissiivisyydet pitkäaaltoalueella (mukaillen Paloniitty ym. 2015, 136-137.)

Materiaali	Emissiivisyys
Ihmisen iho	0,95-0,97
Kiillotettu teräs	0,27
Ruostunut teräs	0,61
Kirkas kromi	0,16
Sileä alumiini	0,05
Betoni	0,91
Lasi (ikkuna)	0,83
Puu yleinen	0,90
Hiottu puu	0,80
Kattohuopa	0,92
Kumi	0,88
Pleksilasi	0,90
Tiili tai laasti	0,93
Kipsilevy	0,90-0,92

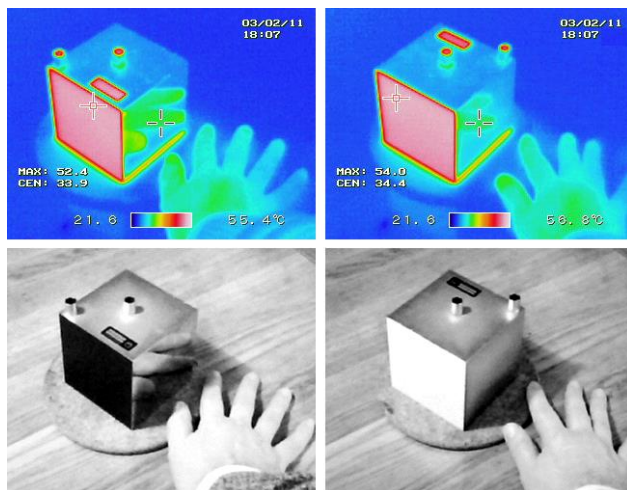
Kappaleen emissiivisyys vaikuttaa siihen, miten paljon energiaa se emittoi, joten emissiivisyys vaikuttaa myös lämpökameran toimintaan. Lämpökamerat eivät pysty automaattisesti tunnistamaan kuvattavan kohteen emissiivisyyttä, jotta lämpökamera mittaisi sen oikean lämpötilan. Kaksi samanlaista kappaletta voivat olla samassa lämpötilassa, mutta toiselle annetaan korkea emissiivisyys ja toiselle matala. Samasta lämpötilasta huolimatta se kappale, jolla on pienempi emissiivisyys säteilee vähemmän lämpöä. Tämän seurauksena lämpökamera mittaa tälle kappaleelle matalamman lämpötilan (kuvio 1). Kohteen näennäinen lämpötila voi siis olla huomattavasti erilainen sen oikeasta lämpötilasta. Oikea lämpötila voidaan mitata ainoastaan silloin, kun kohteen emissiivisyys tiedetään ja tieto syötetään lämpökameraan. (Optotherm s.a.a.)



KUVIO 1. Emissiivisyyden vaikutus mittaustulokseen (mukaillen Optotherm s.a.a.)

2.3 Leslien kuutio

Yksi perinteisistä menetelmistä eri materiaalien säteilyominaisuuksien kuvaamiseksi on Leslien kuutio. Leslien kuutio on esimerkiksi metallista valmistettu kuutio, jonka neljä sivua on käsitelty eri tavalla. Yleensä yksi sivu on maalattu mustaksi ja yksi valkeaksi. Kolmas sivu on kiillotettu kirkkaaksi ja neljäs on kiilloton eli himmeä. Leslien kuutio täytetään kiehuvalle vedelle, jolloin voidaan olettaa, että kuution kaikki sivut ovat samassa lämpötilassa. (Ferguson 2010.) Lämpösäteilyltään nämä sivut ovat kuitenkin erilaisia, sillä pintojen käsittelyn myötä niiden emissioerot ovat erilaisia. Alla olevassa kuvassa (kuva 1) on kaksi lämpökameralla ja kaksi tavallisella kameralla otettua kuvaa Leslien kuutiosta. Musta ja valkoinen pinta ovat voimakkaita lämpösäteilyjä, sillä ne näkyvät lämpökuvassa punaisena. Kiillotettu ja himmeä pinta lähettävät huonosti omaa lämpösäteilyään ja heijastavat pääasiassa vain vieressä olevan käden lämpöä. Tumman ja valkean pinnan emissioerot ovat siis lähellä arvoa yksi, kun taas kiillotettu ja himmeä lähempänä nollaa. Samasta lämpötilasta huolimatta kiiltävämmät pinnat vaikuttavat lämpösäteilyn puolesta viileiltä. (Tapanila 2018.)

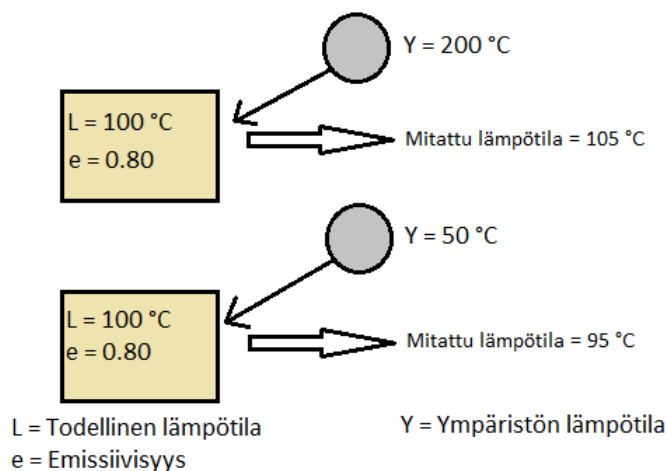


KUVA 1. Leslien kuutio (Kuiper 2011.)

2.4 Ympäristön vaikutukset lämpökuvaukseen

Kappaleet, joilla on korkea heijastuskyvy heijastavat helposti ympäristöstä tulevaa säteilyä lämpökameran linssiin. Esimerkiksi hiottu alumiini heijastaa jopa 90 prosenttia sen pinnalle tulevasta energiasta. Kuvattavan kohteen läheisyydessä olevien materiaalien lämpötilat voivat aiheuttaa mittaustulokseen muutoksia. Mikäli kuvauskohde heijastaa huomattavasti korkeampaa tai matalampaa lämpötilaa ympäristöstä, niin se voi vaikuttaa lämpökameran mittaustulokseen (kuvio 2). (Optotherm s.a.a.) Lämpökuvauksessa on otettava aina huomioon esimerkiksi auringonpaiste ja vältettävä kuvaamasta pitkään auringossa olleita kohteita (Paloniitty ym. 2015, 74). Auringon lämmittävä vaikutus näkyy lämpökuvassa vielä pitkään sen jälkeen, kun altistuminen auringon valolle on loppunut. Ulkokuvauksessa on muistettava myös tuulen ja sateen vaikutukset lämpökuvaan. Ilmavirta viilentää materiaalin pintaa, joten se vääristää mittaustulosta. Sateen kasteleman pinnan lämpötila on myös todellista lämpötilaa alhaisempi ja vaikutus kestää kosteuden haihtumisen ajan. (Flir 2011.) Ulkona suoritettavassa lämpökuvauksessa on erityisesti huomioitava kylmän taivaan aiheuttama taustasäteily (Paloniitty ym. 2015, 29).

Lämpötilan mittaamisen optimoimiseksi kuvattava pinta voidaan esimerkiksi suojata ympäristön heijastuksilta. Taustan tulisi olla yhtenäinen ja matalammassa lämpötilassa kuin kuvattava materiaali. Lisäksi lämpökuvaaminen tulisi aina suorittaa mahdollisimman kohtisuoraan ja yli 30 asteen kulmia tulee välttää (Optotherm s.a.a). Liian vino kuvauskulma laskee myös sellaisen kappaleen emissiivisyyttä, jolla on korkea emissiokerroin. Samalla se vaikuttaa mitattuun pintalämpötilaan. (Paloniitty ym. 2015, 18.)



KUVIO 2. Heijastuvan lämpösäteilyn vaikutus mittaustulokseen (mukaillen Optotherm s.a.a.)

2.5 Lämpötilan määrittäminen

Lämpökameran linssiin osuva säteily tulee siis kolmesta eri lähteestä. Lämpökameran linssi vastaanottaa kuvattavan kohteen lämpösäteilyn ja ympäristön säteilyn, mikä on heijastunut kohteen pinnalle. Molemmat osatekijät vaimentuvat, kun ne kulkevat ilmakehän läpi. Tästä syystä lämpökameran linssiin tulee myös ilmakehän lähettämää säteilyä (kuvio 3). Todellisen lämpötilan mittaamiseen lämpökameran ohjelmisto tarvitsee tiedot kohteen emissiivisyydestä, ilmakehän vaimennuksesta ja lämpötilasta sekä ympäröivien kohteiden lämpötiloista. Olosuhteista riippuen nämä asiat voidaan mitata, olettaa tai etsiä taulukoista. (Flir Systems s.a.)

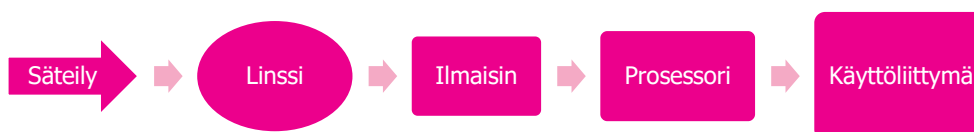


KUVIO 3. Lämpösäteilyn lähteet (mukaillen Paloniitty ym. 2015, 16).

Näiden lisäksi on kiinnitettävä huomiota kuvausetaisyteen. Lämpökamera mittaa kuvapisteen kokonais säteilyä, joten mitä kauempaa jotain kohdetta kuvataan, sitä suurempaa aluetta yksi kuvapiste edustaa. Mitattavan alueen koon kasvaessa jäävät yksittäiset ympäristöään kylmemmät tai lämpimämmät kohdat havaitsematta. Oleellisesti mittaustulokseen vaikuttavat kuvattavan kohteen emissioeroin sekä taustan lämpötilat. Taustan lämpötilan eli heijastuvan lämpötilan tunteminen korostuu, kun kohteen emissiivisyys on matala. Taustan lämpötilan vaikutusta voidaan minimoida vaihtamalla kuvaussuuntaa. (Paloniitty ym. 2015, 18, 30, 74.)

3 LÄMPÖKAMERAN TEKNIikka

Lämpökameran rakenne on samantapainen, kuin normaalissa digitaalisessa kamerassa. Alla olevassa kuviossa (kuvio 4) olen mallintanut lämpökameran toimintaperiaatetta. Tärkeimmät komponentit ovat infrapunasäteilyn kohdistava linssi, säteilyn vastaanottava ilmaisim sekä tarvittava ohjelmisto lämpökuvan muodostamiseen reaaliajassa. Tavallisen kameran optiikka ja ilmaisim eivät sovellu lämpökamerakuvaukseen. Kameran linssi ei läpäise infrapuna-aaltoja tarpeeksi hyvin ja ilmaisim ei ole niille tarpeeksi herkkä. Lämpökameran ilmaisimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, jotka ovat jäädytetyt ja jäädyttämättömät. (Flir Systems s.a.)



KUVIO 4. Lämpökameran toiminta yksinkertaistettuna (mukaillen Fluke s.a.a.)

3.1 Lämpökameran optiikka

Infrapunan käyttäytyminen on samanlaista kuin näkyvällä valolla liittyen heijastukseen, taittumiseen ja läpäisemiseen. Tästä syystä lämpökameroiden optiikassa on yhtäläisyyksiä tavallisen kameran optiikkaan. Näkyvän valon optiikassa käytettävä lasi ei kuitenkaan sovellu lämpökamerakuvaukseen. (Flir Systems s.a.) Lämpökameran optisen kanavan täytyy luontaisesti läpäistä ja taittaa siihen kohdistuva säteily, johon tavallinen lasi ei pysty (Infradex s.a.). Lämpökameran linssit valmistetaan yleensä piistä (Si) ja germaniumista (Ge). Linssit valmistetaan näistä aineista, koska niillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet; ne ovat kestäviä, eivät sido kosteutta ja linssit voidaan valmistaa nykykäsillä sorveilla. Hyvin valmistettu lämpökameran linssi pystyy läpäisemään lähelle sata prosenttia saapuvasta säteilystä. (Flir Systems s.a.)

3.2 Ilmaisimet

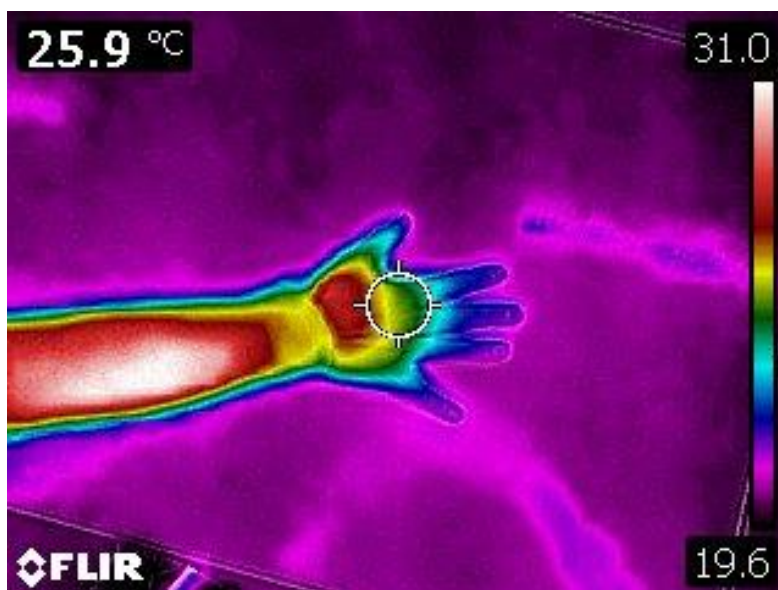
Nyky aikaista jäädytettyä ilmaisinta kutsutaan myös kvantti-ilmaisimeksi (Flir Systems s.a.). Jäädytetyllä ilmaisimella päästään tarkempaan herkkyyteen lämpökuvauksessa, mutta samalla lämpökameran hinta nousee huomattavasti (Optotherm s.a.c.). Jäädytettävän ilmaisimen toimintalämpötila on noin miinus 200 celsiusastetta ja jäädytykseen tarvitaan heliumkiertopumppu (Infradex s.a.). Jäädytetyt ilmaisimet kuluttavat paljon virtaa, joten laitteen akunkesto lyhenee. Laitteet ovat myös kooltaan isompia ja painavampia. (Palmerwahl 2007.) Jäädytetyllä ilmaisimella varustettu lämpökamera ei ole kovin käytännöllinen ja sen tiheämpi kunnossapito on kallista (Optotherm s.a.c.).

Yleisimmin lämpökameroissa käytetään jäädyttämätöntä ilmaisinta (Flir Systems s.a.). Ilmaisimen materiaalina käytetään samanlaista materiaalia, kuin sähkövastusten valmistamisessa. Jäädyttämätöntä ilmaisinta kutsutaan myös mikrobolometri-ilmaisimeksi. Mikrobolometri muodostuu rinnakkain

ja päällekkäin olevista lukuisista ilmaisimista. (Paloniitty ym. 2015, 13–14.) Nämä ilmaisimet ovat herkkiä infrapunasäteilylle. Lämpösäteilyn osuessa mikrobolometrin yksittäiseen ilmaimeen, sen lämpötila nousee ja sähköinen resistanssi muuttuu. Resistanssin muuttuminen mitataan ja prosessoidaan lämpötila-arvoiksi, jotka voidaan esittää graafisesti lämpökuvassa. (Optotherm s.a.c.) Nämä ilmaisimet toimivat pidemmällä aaltoalueella kuin jäädytetyt, joten ne mittaavat paremmin epävakaisissa olosuhteissa. Laitteen käyttö voidaan aloittaa heti käynnistyksen jälkeen ja virrankulutus on pienempi. Jäähdyttämätön ilmaisimien alentaa huomattavasti laitteen hintaa. Näillä ilmaisimilla lämpökameran fyysistä kokoa on saatu pienemmäksi, joten sen käyttömahdollisuudet ovat laajat. (Palmerwahl 2007.)

3.3 Lämpökuvan muodostuminen

Lämpökamera muuntaa infrapunasäteilyn tiedot digitaaliseksi kuvaksi, jossa näkyy kuvattavan kohteen pinnan lämpötilajakaumat. Lämpökameran prosessori vastaanottaa jokaisesta ilmaisimen anturista tulevan signaalin ja muodostaa kappaleesta värikartan. Jokainen lämpöarvo tuodaan esille eri värillä. Väritaulukko tallentuu lämpökameran sisäiseen muistiin ja lämpökameran näytölle muodostuu kuvattavan kohteen lämpökuva. (Fluke s.a.a.) Alla olevassa kuvassa (kuva 2) on noin metrin päästä otettu lämpökuva ihmisen kädestä. Kuvan oikeassa laidassa olevasta väriasteikosta voidaan tulkita eri värien lämpötilat. Tumman violetit sävyt edustavat matalimpia lämpötiloja, kun taas valkoinen sävy edustaa korkeinta lämpötilaa. Lämpökamerassa suositellaan käytettäväksi mahdollisimman laajaa väripalettia, jolloin lämpökuvan tulkitseminen on selkeämpää. On kuitenkin huomioitava, että väreillä ei ole tekemistä mittauksen kanssa, sillä ne vain ilmentävät lämpötilaeroja. Tiettyä lämpöastetta kuvaava väri vaihtelee määritetyn lämpöasteikon mukaan. (Paloniitty ym. 2015, 74, 92.)



KUVA 2. Lämpökuva ihmisen kädestä (Puustinen 2018-11-09.)

4 LÄMPÖKAMERAN OMINAISUUDET

Lämpökameroita on ollut Suomen markkinoilla jo 1960-luvulta alkaen. Tuolloin lämpökamerat olivat isokokoisia ja raskaita, mutta 1990-luvulta lähtien lämpökameroiden tekniikka on edistynyt nopeasti. Lämpökameroiden kehityksen hyviä puolia ovat niiden teknisten ominaisuuksien parantuminen sekä samalla laitteiden hinnan putoaminen. Lämpökameroiden hintakilpailu on tuonut markkinoille laitteita myös sellaisilta toimijoilta, joilla ei ole riittävää ammattitaitoa alalta. (Paloniitty ym. 2015, 12–13.) Maailman johtava lämpökameroiden laitevalmistaja on Flir Systems (Flir Systems 2018). Nykyään lämpökamera kuuluu jopa älypuhelimien vakiovarusteeksi, sillä laitevalmistaja CAT on valmistanut älypuhelimien Flir Systemsin lämpökameralla varustettuna (Vähäkainu 2016). Opinnäytetyöni prosessissa pääsin käyttämään Flir Systemsin valmistamia lämpökameroita sekä CATin älypuhelinlaiteita.

4.1 Lämpökameran valinta

Markkinoilta on saatavana paljon erilaisia lämpökameroita, joten omaan käyttöön soveltuvan lämpökameran valinta voi olla vaikeaa. Valmistajat julkaisevat uusia laitemalleja ja entisten valmistaminen lakkautetaan. Valmistajien luettelemat laitteen tekniset tiedot ja ominaisuudet ovat aloittelevalla lämpökuvajaajalle hankalia ymmärtää. Yksittäinen lämpökamera ei sovellu ihanteellisesti kaikkiin tilanteisiin, joissa lämpökuvasta voidaan hyödyntää. Valintaa eri lämpökameroiden väliltä voidaan rajata, kun kameran käyttöaste ja -tarkoitus on mietitty tarkkaan. (Warner 2014.)

Rakennusten lämpökuvauksessa suositellaan käytettäväksi lämpökameraa, mikä on mittaava, tasapainotettu ja kuvantava. Mittaavalla lämpökameralla tarkoitetaan sitä, että lämpökamera ilmoittaa käyttäjälle kappaleen pintalämpötilat. Kuvantavalla lämpökameralla nähdään heti kuvattavan kohteen digitaalinen lämpökuvakuva lämpökameran näytöllä. Tasapainotetun lämpökameran merkitys on se, että lämpökameran rungon lämpötilavaihtelut eivät vaikuta mittaustulokseen. Tasapainotus on huomioitava, kun siirrytään ulkoa sisälle tai toisinpäin. Tasapainottumisen kesto riippuu lämpökameran tyypistä, mutta varminta on odottaa ainakin 15 minuuttia olosuhteiden muutoksen jälkeen. Lisäksi kiinteistökuvaukseen suositellaan lämpökameroita, jotka toimivat pitkäaaltoalueella. Matalissa lämpötiloissa pitkäaaltoalueella on käytettävissä enemmän energiaa kuin keskiaaltoalueella, eli lämpökuvauksella on tarkempaa. (Paloniitty ym. 2015, 19.) Näillä ominaisuuksilla varustettu lämpökamera sopii myös nautojen lämpökuvaukseen. Naudasta on saatava lämpökuvakuva laitteen näytölle pintalämpötilojen kanssa, jotta kuvia voidaan tulkita. Navetalla lämpökameraa voidaan säilyttää lämpimässä toimistossa ja siirtyä kuvaamaan viileään navettaan, joten lämpökameran tulisi olla tasapainotettu.

4.2 Muita valinnassa huomioitavia tekijöitä

Lämpökameralla otetun lämpökuvan laatuun ja lämpötilatarkkuuteen vaikuttaa ilmaisimen resoluutio. Resoluutiolla tarkoitetaan matriisi-ilmaisimessa olevien mittapisteiden määrää. Heikkolaatuisissa ilmaisimissa resoluutio on luokkaa 80x60, jolloin mittapisteitä on 4 800 kappaletta. Parhaissa lämpökameroissa resoluutio voi olla 1024x762, eli mittapisteitä on 786 432 kappaletta. Paremmalla resoluutiolla varustetulla lämpökameralla havaitaan pienetkin poikkeamat lämpökuvissa. (Paloniitty ym.

2015, 19–20.) Ilmaisimien resoluutiot voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan niiden laadun perusteella, matalana resoluutiona pidetään 160x120 mittapisteen ilmaisinta, keskitasoisena resoluutiona pidetään 320x240 mittapisteen ilmaisinta ja korkealaatuisena yli 640x480 mittapisteen ilmaisinta (Electrophysics 2011). Rakennusten kuvaajille ei suositella alle 320x240 resoluution ilmaisinta. Tällä resoluutiolla on varustettu myös useimmat digitaaliset kamerat. Tarvittavan resoluution rajaamisella voidaan huomattavasti helpottaa lämpökameran valintaa. On hyvä muistaa, että ilmaisimen resoluutio on eri asia, kuin lämpökameran näytön resoluutio. Valmistajat voivat piilotella huonoa ilmaisimen resoluutiota korostamalla näytön kokoa tai sen resoluutiota. (Warner 2014.)

Yhdessä resoluution kanssa lämpökameran tarkkuuteen vaikuttaa myös sen erotteluerkkyys eli NETD (*Noise Equivalent Temperature Difference*). Erotteluerkkyys ilmoittaa matriisi-ilmaisimen kyvyn mitata pieniä lämpötilaeroja. Laadukkaana lämpökameran erotteluerkkyys on 0,15-0,02 celsiusastetta. (Paloniitty ym. 2015, 4.) Riittävänä erotteluerkkyytinä pidetään 100 millikelviniä (mK) eli 0,10 celsiusastetta. Erinomaisena erotteluerkkyytinä pidetään 50 mK:ta eli 0,05:ttä celsiusastetta. Lämpökameran ostajan kannattaa myös huomioida laitteen lämpötila-alue, eli minimi- ja maksimilämpötila, jotka lämpökamera pystyy mittaamaan. (Warner 2014.)

Todella tärkeä ominaisuus lämpökamerassa on mahdollisuus tehdä muutoksia sen asetuksiin kuvauksen aikana. Hyvän resoluutio ja erotteluerkkyys eivät takaa tarkkaa mittaustulosta, jos lämpökameran asetuksia ei voida muokata olosuhteisiin sopiviksi. (Warner 2014.) Lämpökameran asetuksista voidaan säätää kuvattavan kohteen emissioerroin, taustan lämpötila eli heijastuva lämpötila, kuvausetäisyys, ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus (Paloniitty ym. 2015, 30). Kaikki nämä yhdessä vaikuttavat lämpökuvauksen tarkkuuteen. Halvemmissa laitteissa tehdasetuksia ei ole mahdollista muuttaa kuvauksen aikana. (Warner 2014.)

4.3 Lisäominaisuudet

Lämpökameroita on saatavana kiinteällä tarkennuksella, automaattisella tarkennuksella, sekä manuaalisella tarkennuksella. Kokeneet lämpökuvaajat suosittelivat hankkimaan lämpökameran, jossa on manuaalinen tarkennus. Silloin käyttäjä itse kontrolloi lämpökuvan tarkennusta, ja voidaan päästä parempaan tarkkuuteen lämpötilan mittaamisessa kuin muilla tarkennuksilla. (Warner 2014.) Manuaalinen tarkentaminen vaatii paljon opettelua, joten varsinkin aloittelevalle lämpökuvaajalle se voi olla hidas käyttää (Fluke s.a.b.). Automaattinen tarkennus on hyvä, mutta voi osoittautua hitaaksi ja epätarkaksi, jos kuvakentässä on paljon eri kappaleita eri etäisyyksillä. Kiinteä tarkennus on asetettu tiettyyn arvoon tehtaalla ja on usein epätarkka lähietäisyyksillä. (Warner 2014.) Kiinteällä tarkennuksella voidaan kuvata nopeasti ja kuvausetäisyyttä tulisi olla vähintään puoli metriä, jolloin tarkennukseen voi luottaa. Onnistunut tarkennus on todella tärkeää lämpökuvauksen toteuttamisessa. Sumea lämpökuvaa edustaa huonosti kuvattavan kohteen todellista tilaa, ja sitä on hankala tulkita. Epätarkassa lämpökuvassa mitattu lämpötila voi erota todellisesta lämpötilasta jopa 20 astetta. (Fluke s.a.b.)

Toinen tärkeä lisäominaisuus lämpökamerassa on mahdollisuus ottaa tavallinen valokuva lämpökuvan yhteydessä. Tämä mahdollistaa kuvausmuodon, jossa tavallista valokuvaa ja lämpökuvaa voidaan sekoittaa toisiinsa. Yhdistelmäkuvalle myös heikon resoluution lämpökuvaa saadaan tarkemmaksi, kun taustalla oleva tavallinen kuva korostaa yksityiskohtia. Molemmat kuvat tallentuvat lämpökameran muistiin, joten niitä voidaan tarkastella myös erillään. (Warner 2014.)

4.4 Lämpökuvien jatkokäsittely

Lämpökuvien jatkokäsittelyä ja tulkintaa varten tarvitaan kuvienkäsittelyohjelma. Lämpökameran valmistajasta riippuen kuvienkäsittelyohjelma on ilmainen tai sen saa haltuunsa lisämaksulla. Ohjelmiin kannattaa tutustua etukäteen, sillä ne eivät välttämättä tue kaikkien lämpökameravalmistajien laitteita. (Warner 2014.)

Esimerkiksi laitevalmistaja Flir tarjoaa ilmaisen kuvienkäsittelyohjelman, jolla voi tuoda lämpökuvat lämpökamerasta tietokoneelle ja käsitellä niitä. Ohjelmasta löytyy kuvakirjasto, joten käyttäjä pystyy lajittelemaan lämpökuvat haluamallaan tavalla eri kansioihin. Ohjelmalla pystyy jatkokäsittämään lämpökuvia, eli niiden lämpötila-asteikkoa, väripalettia tai kuvamuotoa voi vaihtaa. Myös mittaustyökaluja voi lisätä tai poistaa. Ohjelman avulla on mahdollista vaikuttaa lämpökuvan tarkkuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Yksittäisen lämpökuvan tiedoissa näkyy kohteen emissiivisyys, kuvaushetken ilman lämpötila, ilman kosteus, heijastuva lämpötila sekä kuvausetäisyys. Mikäli kuvaaja on kuvaushetkellä ollut epävarma jostakin parametrasta, hän pystyy muuttamaan niitä jälkikäteen ohjelman kautta. Valmiista lämpökuvista käyttäjä voi luoda mieleisiään raportteja ja lähettää niitä eteenpäin asiakkaalle tai asiantuntijalle. Ohjelma myös mahdollistaa laitevalmistajan lämpökameroiden ohjelmistopäivitykset. (Flir 2016.)

5 LÄMPÖKAMERA TUTKIMUSVÄLINEENÄ

Lämpökamerakuvauksen suosio ainetta rikkomattomana tutkimusvälineenä on kasvanut. Käyttökoh- teita löytyy kiinteistöjen ja sähköasennusten valvonnasta. Lämpökuvaus soveltuu myös teollisuuden apuvälineeksi. Rakennuksista voidaan lämpökuvaustutkimusten perusteella tehdä havaintoja eriste- vioista, ilmavuodoista sekä kosteusvaurioista. Näin ollen lämpökuvausta voidaan hyödyntää jo uuden rakennuksen rakennusvaiheessa tai vanhan kiinteistön remontin suunnittelussa. Sähköasennusten lämpökuvauksella paikannetaan heikkoja liitoksia ja ylikuormituksia, jotka voivat aiheuttaa toiminta- häiriöitä tai jopa tulipaloja. Teollisuuden mekaanista kunnossapitoa voidaan valvoa lämpökameralla. Lämpökameralla seurataan laakereiden kuntoa tai paikannetaan putkistotukoksia. (CleMac s.a.) Mai- nituista aihepiireistä löytyy paljon lisätietoa erilaisista tutkimuksista ja opinnäytetöistä.

Lämpökuvausta käytetään apuvälineenä myös eläinlääketieteessä. Eläimen lämpökuvasta nähdään ihon pintalämpötilat ja havaitaan muutoksia eläimen verenkierrossa. Lämpökuvauksella voidaan ha- vaita alkavia vammoja jo ennen kuin ne ovat silminnähdessä havaittavissa eläimen käyttäytymisestä tai muista merkeistä. Eläimen lämpökuvista etsitään yleensä tulehduksia, muutoksia lihaksissa tai hermojärjestelmässä. Lämpökuvan perusteella arvioidaan vamman laajuutta, hoidon tarvetta tai sen tehoamista. Terveellä eläimellä ihon lämpökuvio jakautuu symmetrisesti, joten muutoksien havaitse- minen perustuu vertailuun yksilön samojen ruumiinosien välillä. (Veterinary Thermal Imaging s.a.)

Erilaisten tutkimusten perusteella lämpökamerakuvausta on käytetty osana nautojen terveyden seu- rantaa. Kokeissa on selvitetty, että soveltuuko lämpökamera esimerkiksi utaretulehduksen, sorkka- sairauden, hengitystiesairauden, stressin, kiiman tai jopa tiineyden havaitsemiseen. Kortelainen ja Koskela (2018) toteavat opinnäytetyössään, että tuotantoeläimiä tulisi lämpökuvata enemmän tilata- solla, jossa erilaiset sairaudet ilmenevät luontaisesti. Lämpökuvauksen siirtyminen tilatasolle vaatii ohjeistuksen, jotta siellä otetut lämpökuvat olisivat luotettavia. Ulkoiset tekijät ja lämpökuvaajan toi- minta voivat aiheuttaa mittaustulokseen virheitä, jotka voidaan välttää ohjeiden avulla.

5.1 Eläimen lämpökuvaaminen

Lämpökuvauksen kohteena olevan eläimen tulisi olla sopeutunut kuvausympäristön olosuhteisiin en- nen tutkimista. Tämä on otettava huomioon, jos eläintä lämpökuvataan eri tilassa, kuin se tavalli- sesti oleskelee. Sopeutumisen keston tulisi olla joitakin minutteja tai enemmän, jos tilojen välillä on huomattava lämpötilaero. Kuvausetäisyys koko eläintä kuvattaessa tulisi pitää noin 1–1,2 metrissä. (Racewicz 2018.) Yksityiskohtaisemmilla alueilla, kuten silmät, kädet tai räpylät käytetään lyhyem- pää etäisyyttä, esimerkiksi 0,5-1 metriä (Vainionpää 2014). Naudoilla lyhyempää kuvausetäisyyttä voidaan tämän perusteella mielestäni käyttää esimerkiksi sorkissa ja utareissa. Eläimillä käytetty emissioeroin on eri tutkimuksissa vaihdellut 0,95:n ja 1:n välillä (Vainionpää 2014).

Eläin ei saa olla suorassa auringonpaisteessa tai tuulessa eikä eläimeen saa koskea käsin ennen läm- pökuvaamista. Auringonpaiste tai tuuli vääristävät mittaustuloksia ja kosketukset näkyvät lämpöku-

vassa lämpöjälkinä. Eläimen tulee olla kuiva ja puhdas, koska muutoin lämpökuvaaja mittaa esimerkiksi veden tai lian lämpötilaa. (Suojoki-Klötzig 2014.) Lämpökuvausta tulisi suorittaa lyhytkarvaiselle eläimelle, koska paksumpi karvapeite vaikeuttaa tulkintaa. Karvojen leikkaaminen voi nostaa alueen lämpötilaa, joten lämpökuvaaminen tulee suorittaa myöhemmin. Myös erilaiset salvat voivat lisätä lämmön säteilyä ihosta, mikä vääristää mittaustulosta. Eläimen fyysinen aktiivisuus luo lämmöntuottoa alueellisesti, mutta sen vaikutus eläimen ruumiinlämpöön riippuu aktiivisuuden kestosta. Lämpökuvaajan tulisikin tuntea kuvattavan eläimen normaali ruumiinlämpö sekä anatomia, kuten verisuonten sijainti ja tutkittavan alueen hermotus. (Hilsberg-Merz 2016.)

5.2 Eläinten tutkimuksissa käytetty laitteisto

Eläinten lämpökuvaamiseen soveltuvalla laitteistolla ei löydy suoraa ohjetta. Pieneläinten tutkimuksissa on usein käytetty 320x240 resoluution lämpökameraa. Hevosien ja nautojen tutkimuksissa käytetty resoluutio on ollut 80x60, 320x240 ja 640x480 mittapistettä. (Vainionpää 2014.) Ruotsalaisessa tutkimuksessa lämpökameraa käytettiin nautojen utaretulehdusten tutkimisessa. Tässä kokeessa käytettiin lämpökameraa, jonka resoluutio oli 320x240 ja erotteluherkkyys 50 mK eli 0,05 celsiusastetta. (Eineren 2016.) Helsingin yliopiston navetassa Viikissä on myös toteutettu tutkimus, jossa utaretulehdusta pyrittiin havaitsemaan lämpökameralla. Tässä tutkimuksessa käytettiin ominaisuuksiltaan heikompaa lämpökameraa, sillä lämpökameran resoluutio oli 160x120 ja erotteluherkkyys 0,09 celsiusastetta. (Pirinen 2008.)

6 TYÖN TOTEUTUS

Toiminnallinen opinnäytetyö toimii vaihtoehtona tutkimukselliselle opinnäytetyölle ammattikorkeakouluissa. Toiminnallisessa opinnäytetyössä tekijä tavoittelee omaan alaansa liittyvän toiminnan ohjeistamista, opastamista tai toiminnan järjestämistä. Toteutustapa vaihtelee kohderyhmän mukaan ja voi olla esimerkiksi kirja, opas, cd-rom, kotisivut tai tilaan järjestetty tapahtuma. Ammattikorkeakoulun toiminnallisessa opinnäytetyössä yhdistyvät käytännön toteutus ja siitä raportointi tutkimusviestinnän keinoin. Toiminnallisessa opinnäytetyössä ei esitetä tutkimuskysymyksiä, eikä varsinaista tutkimusongelmaa. Työ kaipaa kuitenkin teoreettista tietoperustaa, joka toimii pohjana aiheen tarkastelulle. (Airaksinen ja Vilkkä 2003, 9, 30, 42.)

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä lämpökuvaamiseen lähdeaineistojen avulla. Opinnäytetyöstä laadittiin kirjallinen raportti, jonka teoriaosa toimii pohjustuksena lämpökuvaamiselle. Tämän opinnäytetyön aiheena oli tuottaa lähdeaineistojen pohjalta tiivistetyt ohjeet lämpökuvaamisen tueksi. Tietokortit käsittelivät lämpökuvauksen käytännön toteuttamista, eläimen lämpökuvaamista sekä lämpökameroiden ominaisuuksia. Ohjeet luotiin erilliseksi osaksi opinnäytetyön raporttia sähköisinä liitteinä eli tietokortteina. Suomenkielinen internetaineisto on vähäistä ja hajallaan, mikä voi vaikuttaa aiheen kiinnostavuuteen. Tietokorttien avulla luotiin tiivistetty aineisto, joka on kaikkien saatavilla yhdestä paikasta. Tietokortit voi tulostaa ja ne kulkevat vaivatta lämpökuvaajan mukana. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda ohjeet, joiden avulla parannetaan esimerkiksi tilatasolla toteutetun lämpökuvauksen luotettavuutta.

Tietokortit julkaistiin Kuvaa Nautaa -hankkeen kotisivuilla sekä opinnäytetyön blogissa. Blogissa julkaistiin myös opinnäytetyön raportti. Hankkeen kotisivut löytyvät esimerkiksi tietokorteissa olevan linkin kautta. Blogin kiinteä osoite on: <https://blogi.savonia.fi/eeronont/>

6.1 Yhteistyö hankkeen kanssa

Työ toteutettiin yhteistyössä Kuvaa Nautaa -hankkeen kanssa. Hankkeen työryhmään kuuluu Maa-seudun innovaatioryhmä (EIP-ryhmä), joka koostuu Savonia-ammattikorkeakoulun lisäksi Luonnonvarakeskuksesta (Luke) ja kuudesta maatalousyrityksestä. Maaningan Luonnonvarakeskuksen tutkimusnavetassa toteutettiin nautojen lämpökuvauksia talven 2019 aikana. Oma osallistumiseni näihin lämpökuvauspäiviin oli olennainen osa opinnäytetyön lopputuloksen kannalta.

Kohtasimme ensimmäisen kerran lämpökuvauksen merkeissä Maaningan luonnonvarakeskuksella tammikuun 2019 alussa. Keskustelimme hankkeen toimijoiden kanssa ohjeistuksen rakenteesta ja sovimme, mitä tulee olla tehtynä seuraavaa tapaamista varten. Pääsimme myös itse lämpökuvauksen pariin ja vietimme iltapäivän tutkimusnavetassa tutustuen lämpökuvaukseen. Oli tärkeää kuulla useamman henkilön mielipiteet ohjeiden rakenteesta heti työn teon alussa, koska silloin sain tukea omille ajatuksilleni ja tietokorttien sisällölle. Toinen kohtaaminen ajoittui helmikuun alkuun, jolloin keskityimme tarkastelemaan hankkeen omia ohjeistuksia, sekä laatimiani luonnoksia tietokorteista.

Aihealue oli opinnäytetyön prosessin aikana jo tullut itselleni hyvin tutuksi, joten kirjoittajana ymmärsin tietokorttien sisällön täysin. Muiden lukemana tietokorttien sisältö avautuu eri tavalla ja voi jäädä osittain epäselväksi, varsinkin jos aihepiiri ei ole entuudestaan niin tuttu. Sain hyvää palautetta tietokorttien ulkoasusta ja sisällöstä sekä ehdotuksia, miten niitä voisi vielä täydentää.

Helmikuun puolessa välissä tapasimme EIP-ryhmään kuuluvat tilalliset Maaningan Luonnonvarakeskuksella. Päivän ohjelman tarkoituksena oli perehdyttää tilalliset hankkeen lämpökameroiden käyttöön ja luovuttaa lämpökamerat tilallisille. Aamupäivän vietimme kokoustilassa, jossa hankkeen projektipäällikkö ja muut toimijat perehdyttivät tilallisia lämpökuvaukseen esityksien avulla. Iltapäivän vietimme tutkimusnavetassa, jossa tilallisten annettiin vapaasti kokeilla lämpökameroita ja kuvata nautoja. Tilallisten keskuudessa heräsi paljon kysymyksiä ja keskustelua lämpökuvauksen toteuttamisesta. Tämä vahvisti näkemystäni siitä, että lämpökuvaamisen tueksi tarvitaan ohjeita. Päivän aikana laadin muistiinpanoja esille nousseista asioista, joilla pystyin täydentämään tietokorttejani. Tietokortit eivät olleet vielä tarpeeksi valmiita, jotta olisin luovuttanut niitä tilallisille tarkasteltaviksi. Sovimme toimeksiantajan kanssa, että teen tietokortit valmiiksi helmikuun loppuun mennessä, minkä jälkeen ne lähetetään tiloille.

6.2 Palautteen keruu tietokorteista

Maaliskuun alussa kaikki tietokortit olivat valmiita, joten ne lähetettiin saateviestin kanssa työryhmän tilallisille tarkasteltaviksi. Työryhmässä on yhteensä kuusi tilaa, joten päätin lähettää tietokortit heille PDF-muodossa sähköpostitse. Saateviestissä esiteltiin opinnäytetyön aihe ja tarkoitus. Tilallisilta pyydettiin vapaamuotoisia kommentteja tietokorttien rakenteesta ja erityisesti asiasisällöstä. Valmiiksi luotua vastauspohjaa en nähnyt tarpeelliseksi, koska vastaajien joukko oli niin pieni. Viestissä ilmoitettiin, että tietokortteja muokataan vastauksien perusteella, jotta ne soveltuvat entistä paremmin kohderyhmälle. Vastaukset käsiteltiin anonymisti, eikä tietoja käytetty muuhun tarkoitukseen. Vastausaikaa annettiin kaksi viikkoa sähköpostin lähettämisestä.

Ensimmäisen viikon jälkeen oli yksi vastaaja, joten pyysin toimeksiantajaa välittämään tilallisille muistutusviestin heidän Facebook-ryhmänsä kautta. Tämä ei kuitenkaan aktivoinut muita vastaamaan, joten vastaajien määrä jäi yhteen. Tämän vastauksen perusteella tietokortit olivat päteviä, eikä sisältöön keksitty parannuksia. Maaliskuun kolmannella viikolla lähetin vielä yhden muistutuksen sähköpostin kautta, mutta vastaajia ei saatu enempää. Alhainen vastaajamäärä oli ikävää tietokorttien kannalta, sillä halusin niihin täysin ulkopuolista palautetta, verrattuna esimerkiksi ystäviin. Toimeksiantaja, ohjaava opettaja sekä opponetti antoivat runsaasti palautetta, joten uskon, että tietokortit sisältävät oleelliset asiat.

Vastausajan ensimmäinen viikko ajoittui hiihtoloman aikaan, mikä on voinut vaikuttaa vastaajien aktiivisuuteen. Uskoin, että vastauksia saataisiin sen jälkeen, kun toimeksiantaja välitti muistutuksen. Vastausaikaa oli yhteensä kolme viikkoa, joten mielestäni sitä oli riittävästi. Tilallisten arki on saattanut olla niin kiireistä, etteivät he kerenneet tai muistaneet vastata sähköpostiini.

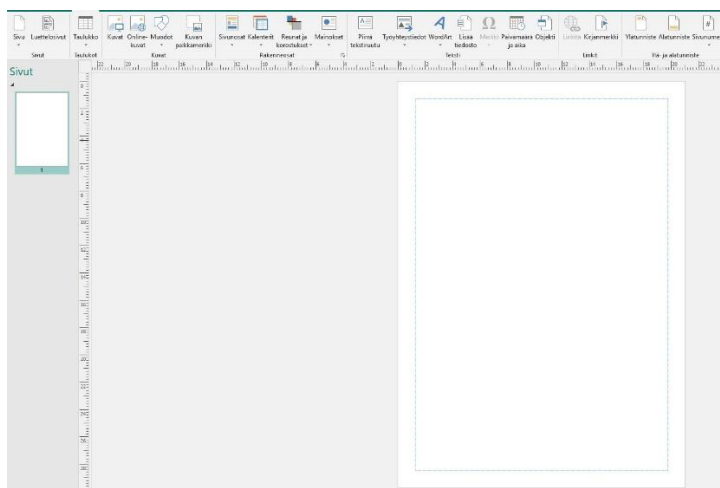
7 TIETOKORTTIEN LAADINTA

Tietokortti on tiivis, yleensä 1-2 sivun mittainen julkaisu, jossa esimerkiksi esitellään uusi käytäntö tai tehdyn tutkimuksen tuloksia. Tietokortissa on ominaista käyttää lyhyitä virkkeitä, eli siihen kerätään tärkein sisältö jostakin aihepiiristä. Tekstiä tuetaan havainnollistavilla kuvilla tai kuvioilla. Alla olevassa kuvassa on esimerkki tietokortista (kuva 3). Tietokorttiin on kerätty oleellinen tieto siitä, mikä on eMerkki, miten se kiinnitetään ja millä välineellä. Tämän ja muidenkin tietokorttien pohjalta aloin suunnitella omia versioitani.



KUVA 3. Esimerkki tietokortista (HkScan Agri s.a.)

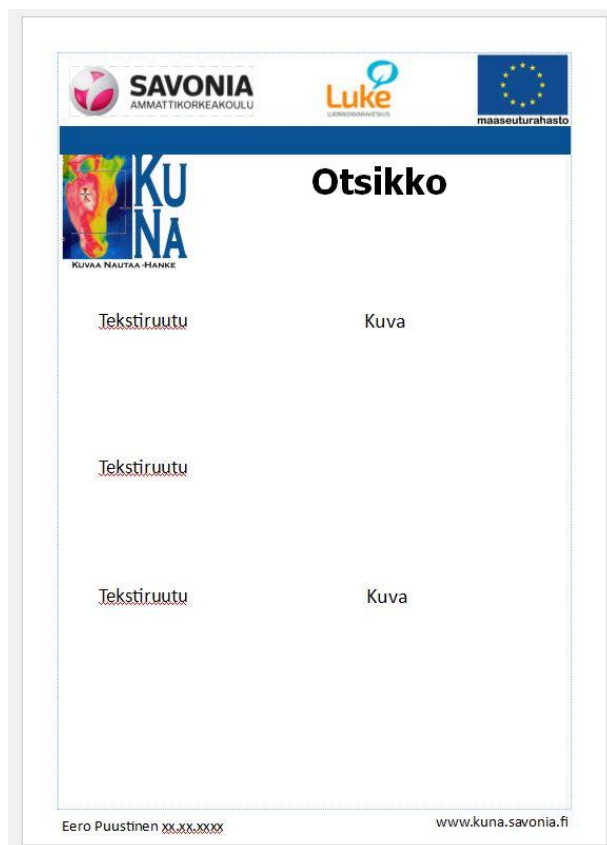
Aluksi suunnittelin, että laatisin tietokortit käyttäen Microsoftin Powerpoint-ohjelmaa. Työsuunnitelmaseminaarin jälkeen minulle ehdotettiin myös toista Microsoftin ohjelmaa, Publisheria. Publisher on monipuolinen työkalu ja tarkoitettu nimenomaan erilaisten materiaalien luontiin. Tutustuin Publisheriin opastusvideoiden avulla, joita löytyi esimerkiksi YouTube-palvelusta. Tutustumisen jälkeen päädyin valitsemaan Publisherin tietokorttien laadintaan (kuva 4). Ohjelmalla pystyi vapaammin muokkaamaan kortin rakennetta kuin Powerpointilla, esimerkiksi tekstiruutujen ja kuvien sijoittelu onnistui Publisherilla paremmin. Valitsin pohjaksi pystysuuntaisen A4-kokoisen tiedoston, sillä mielestäni sisällön suunnitteleminen siihen oli loogista.



KUVA 4. Publisherin aloitusnäky (Puustinen 2019-01-17a.)

7.1 Tietokorttien rakenne

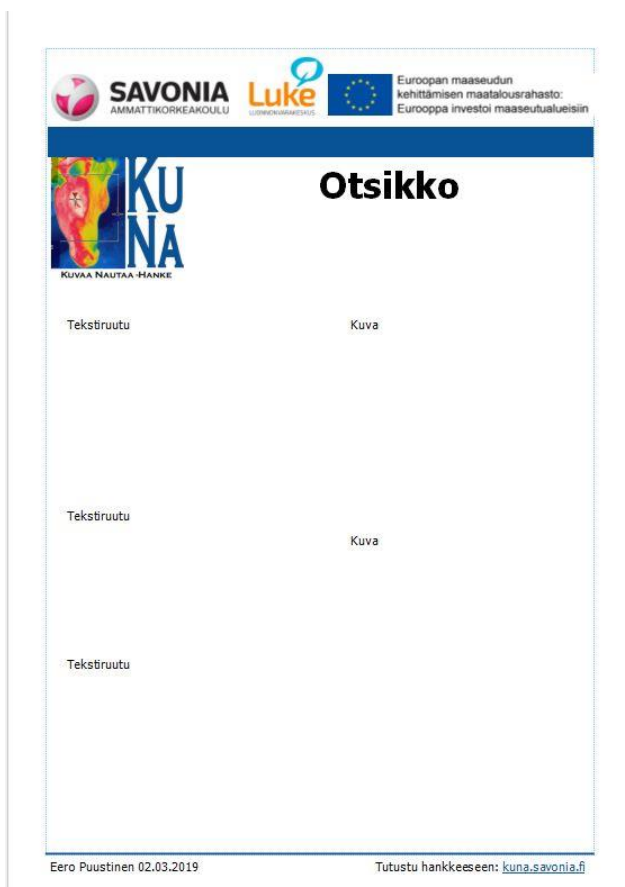
Opeteltuani Publisherin käyttöä aloin laatia ensimmäistä versiota tietokorttien pohjasta (kuva 5). Löysin Repusta Savonian valmiin julistepohjan, mutta se oli tarkoitettu muokattavaksi Powerpointilla. Käytin julistepohjaa kuitenkin mallina suunnitellessani omia tietokortteja. Päätin valita tietokorttiin valkoisen pohjan, jotta se on mahdollisimman tulostusystävällinen. Jokaiseen tietokorttiin tuli mukana olevien tahojen tunnukset, eli tässä tapauksessa Kuvaa Nautaa, Savonia, Luonnonvarakeskus ja Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto. Kuvaa Nautaa -hankkeen tunnuksen asetin otsikon viereen, koska muutoin kaikki tunnukset eivät olisi mahtuneet yläriville. Otsikon vieressä se myös samalla korostaa opinnäytetyön toimeksiantajaa. Alareunaan tuli tietokortin laatijan nimi ja valmiin tietokortin päivämäärä. Alapalkista löytyy myös linkki Kuvaa Nautaa -hankkeen kotisivulle, josta halukkaat voivat etsiä lisätietoja aiheesta. Tietokortissa otsikko korostettiin isommalla ja lihavoidulla tekstillä. Tekstiruutujen ja kuvien määrä sekä paikat vaihtelivat asiasisällön mukaan. Tietokortteja varten loin oman kansion pilvipalveluun ja jaoin linkin toimeksiantajalle, ohjaajalle sekä opponentille. Linkin suojasin niin, että tietokorttien kansioon pääsi vain tietyillä tunnuksilla.



KUVA 5. Ensimmäinen luonnos tietokortin pohjasta (Puustinen 2019-01-17b.)

Näytin pohjan ensimmäistä luonnosta toimeksiantajalle, työryhmän jäsenille sekä ohjaavalle opettajalle ja sain siitä hyvää palautetta. Käyttämäni Maaseuturahaston tunnus täytyi kuitenkin vaihtaa sopivampaan. Samalla kaikki yläriivin tunnukset tuli järjestellä uudelleen, koska niiden koot muuttuivat. Tietokortin alaosaan lisäsin ohuen sinisen viivan, joka erottaa alatunnuksen tietokortin sisällöstä. Tekstien fontiksi valitsin Tahoman, jota käytetään myös opinnäytetyön raportissa. Sopivan fonttikoon ja rivivälin valitsin tulostamalla testiversioita tekstin kanssa, jotta pystyin vertailemaan

niiden luettavuutta. Lopulliseksi fonttikooksi valitsin 12 ja riviväliksi 1,19. Tällä fontilla sain tietokorttien tekstiruudut sopimaan hyvin tietokortin rakenteeseen ja tekstiä oli mielestäni helppo lukea. Tietokorteissa käytetty pohja muuttui vain vähän ensimmäisen luonnoksen jälkeen (kuva 6).



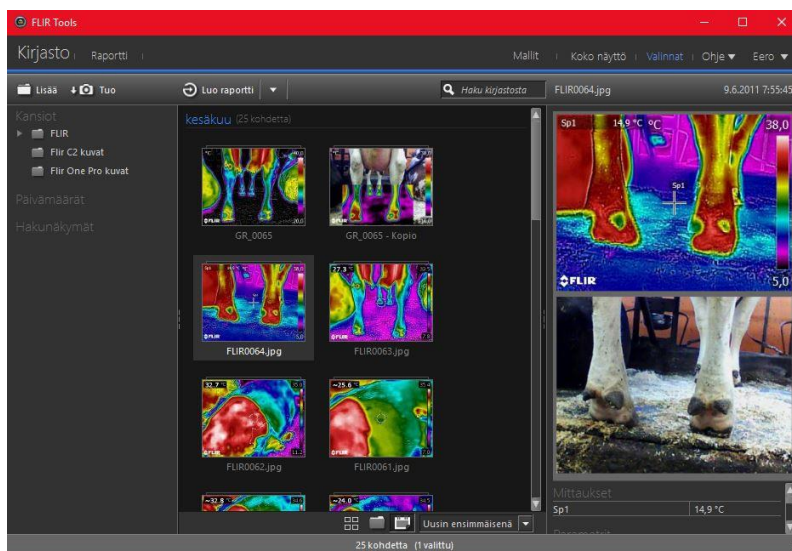
KUVA 6. Tietokortin valmis pohja (Puustinen 2019-02-03)

7.2 Tietokorttien tekstit ja kuvat

Tietokorteissa olevat tekstit pohjautuvat opinnäytetyön raportin lähdeaineistoon. Työsuunnitelmaseminaarin jälkeen sain uusia ideoita tietokorttien sisältöihin, joten jouduin vielä täydentämään teoriaosaa paljon. Opinnäytetyön teoriaosa on kattava kirjallisuuskatsaus lämpökuvauksen perusteisiin, sen eri vaiheisiin ja laitteistoon. Tietokorteissa nämä asiat tuli esittää lyhyemmässä ja helpommin ymmärrettävässä muodossa. Tiivistämisestä huolimatta tietokortteihin tuli enemmän luettavaa tekstiä, kuin tietokortit yleensä sisältävät. Halusin kuitenkin, että tietokortit eivät ole pelkästään käsky- muotoisia ohjeita. Ohjeiden lisäksi tietokortit opettavat lukijalle myös tehtävän toimenpiteen taustalla olevan teorian tiedon. Teksteissä viitataan tietokorteissa oleviin kuviin tai kuvioihin, sekä avataan niiden sisältöä. Tietokortteja valmistui yhteensä kuusi kappaletta ja ne ovat aihealueesta riippuen joko yksi- tai kaksipuoleisia.

Tietokorteissa olevat lämpökuvat ja digitaalikuvat olen ottanut itse vanhempieni parsinavetassa. Luonnonvarakeskuksella järjestetyissä lämpökuvauksissa en saanut otettua sellaisia kuvia, kuin halusin. Pyysin toimeksiantajalta hankkeen lämpökameroita lainaan kolmena viikonloppuna, joiden ai-

kana otin mahdollisimman paljon erilaisia lämpökuvia. Käytössäni olivat Flir C2- ja Flir One Pro-lämpökamerat. Ottamani lämpökuvat siirsin tietokoneelle ja samalla latsin Flir Tools -ohjelman niiden käsittelyä varten (kuva 7). Ohjelmasta oli paljon hyötyä, koska sen kautta sain muokattua lämpökuvia monipuolisemmin, kuin pelkästään lämpökameroiden asetuksilla. Samasta lämpökuvasta sai tallennettua useamman kopion eri asetuksilla, joten sain tietokortteihin havainnollistavia vertailukuvia. Digitaalikuvat otin omalla älypuhelimellani. Kuvien käsittelyssä käytin apuna myös tietokoneelta löytyvää Paint 3D -sovellusta, jolla rajasin kuvia tai lisäsin niihin objekteja.

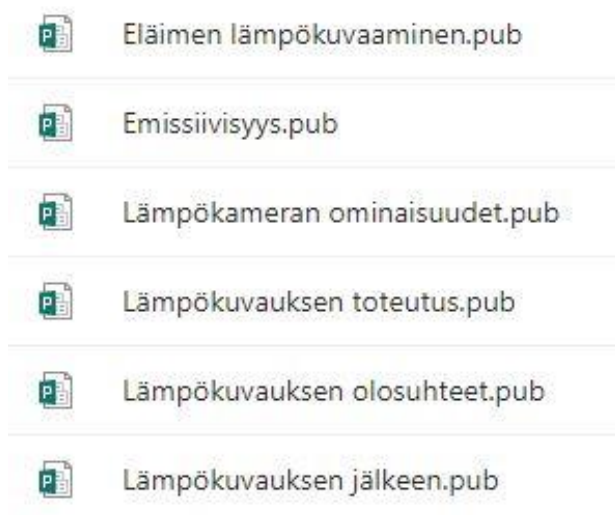


KUVA 7. Kuvakaappaus Flir Tools -ohjelmasta (Puustinen 2019-03-13a.)

7.3 Tietokorttien aiheet

Työsuunnitelmaseminaarissa keskustelimme tietokorttien aiheista. Alkuperäinen suunnitelma oli, että laadin laitekohtaiset ohjeet hankkeen lämpökameroille niiden toiminnoista ja niillä kuvaamisesta. Tähän muotoon tehtynä tietokortit olisivat palvelleet kuitenkin vain työryhmän tilallisia tai muita, jotka sattuisivat valitsemaan kyseiset laitteet käyttöönsä. Tällaiset ohjeet olisivat myös voineet pian vanhentua mahdollisen laitepäivityksen jälkeen.

Laitekohtaisten ohjeiden sijaan päädyin jakamaan lämpökuvauksen neljään eri osa-alueeseen ja laatimaan niistä omat tietokortit. Näiden lisäksi laadin eläimen lämpökuvaamista sekä lämpökameran ominaisuuksia koskevat tietokortit (kuva 8). Tietokorttien otsikoiden perusteella lukija voi valita häntä kiinnostavan aiheen. Tietokortit käsittelevät omia osa-alueitaan, mutta niiden tarkoituksena on palvella yhtä kokonaisuutta, eli luotettavaa lämpökuvaa. Tähän muotoon tehtynä tietokortit tavoittavat suuremman ryhmän ja opinnäytetyö sai enemmän merkitystä.



KUVA 8. Tietokorttien aiheet (Puustinen 2019-03-13b.)

7.3.1 Eläimen lämpökuvaaminen

Tässä tietokortissa käsitellään eläimen lämpökuvaamisen perusteita (liite 1). Tämän tietokortin laatiminen vei minulta eniten aikaa, sillä lähteiden löytäminen oli haastavaa. Lähteissä oli myös paljon eroavaisuuksia keskenään. Lähdeaineistoina käytin erilaisia tutkimuksia ja julkaisuja eläinten lämpökuvaamisesta. Lähteitä vertailemalla pyrin luomaan niiden sisällöistä yhtenäisen ohjeen koskien eläimen käsittelyä sekä kuvaustapaa. Tietokortti toimii muistilistana asioista, jotka kannattaa ottaa huomioon eläimen lämpökuvaamisessa.

Tietokortin ensimmäisessä kappaleessa kerrotaan, miten kuvausympäristö tai hoitaja voivat vaikuttaa eläimestä otettuun lämpökuvaan. Halusin esittää nämä asiat tietokortissa, sillä esimerkiksi aurin gon vaikutus lämpökuvaan on ilmeinen ja aiheuttaa väärän mittaustuloksen. Seuraavat kappaleet käsittelevät lämpökuvauksen kohteena olevaa eläintä. Pitkäkarvaisuus ja likaisuus aiheuttavat lämpökuvaan poikkeamia, joten halusin tuoda nämä esille tietokortissa. Tekstejä tuetaan kahdella lämpökuvalla, joihin lisäsin nuolia osoittamaan tarkoittamaani asiaa. Kääntöpuolella on lyhyt selostus siitä, mitä eläimen lämpökuvasta voi nähdä. Halusin esittää tietokortissa tavan, jolla lämpötilamuutoksia kannattaa eläimestä etsiä. Tätä lausetta korostin lihavoidulla tekstillä, koska se on oleellinen asia eläimen lämpökuvaamisessa. Kappaleen alla on muistutus siitä, että eläimen oma lämpösäteily on huomioitava heijastuvassa lämpötilassa, kun kuvataan sorkkia tai utaretta. Lihavoidulla ja alleviivatulla tekstillä jaoin sisältöä kappaleisiin, jotta rakenne on selkeämpi.

7.3.2 Emissiivisyys

Emissiivisyyden huomiointi lämpökuvaamisessa on ehdottoman tärkeää, joten päädyin tekemään siitä oman tietokortin (liite 2). Emissiivisyys on aihealueena laaja, joten myös tietokortti sisältää paljon teoriatietoa. Löysin aihealueesta muutaman hyvän lähteen, joten aineistoa oli riittävästi. Tämän tietokortin tekemisessä haastavinta oli ensin itse ymmärtää, mitä emissiivisyys tarkoittaa. Tämän jälkeen tieto tuli siirtää tietokorttiin siinä muodossa, että myös muut ymmärtäisivät sen. Tietokortissa kuvataan emissiivisyyttä prosenttiesimerkillä, koska se avaa hyvin emissiivisyyden vaikutuksen

lämpökuvaamiseen. Lämpökuvaajan on itse määritettävä emissiivisyys, joten tämä luonnollisesti kerrotaan myös tietokortissa. Tekstiä korostin alleviivauksella, jotta se herättää lukijan huomion.

Halusin käyttää tietokortissa myös raportissa esiintynyttä esimerkkiä Leslien kuutiosta, koska se on erinomainen keino kuvata eri pintojen heijastusominaisuuksia. Ennen kuvan käyttämistä tarkistin sen lähteestä, että minulla on oikeus käyttää sitä työssä. Tietokortin kääntöpuolelle loin taulukon, jossa on esimerkkejä eri materiaalien emissiokertoimista. Taulukosta käy ilmi, miten pintamateriaali vaikuttaa materiaalin säteilyominaisuuksiin. Taulukon voi tulostaa kulkemaan mukana lämpökameran kanssa eikä arvoja tarvitse olettaa tai etsiä internetistä.

7.3.3 Lämpökameran ominaisuudet

Tämä tietokortti esittelee lyhyesti lämpökameran toimintaperiaatteen ja lämpökameroiden päätyypit (liite 3). Päätyypit esitellään, jotta lukija ymmärtää niiden eroavaisuudet ja miten se vaikuttaa lämpökameran käyttökohteisiin. Lämpökameran monipuolinen hyödyntäminen vaatii, että laite on tasapainotettu. Näillä tiedoilla lukija voi jo alustavasti arvioida millaista laitetta hänen tulisi etsiä. Ensimmäisen sivun loppuosa ja kääntöpuoli käsittelevät tarkemmin lämpökameroiden ominaisuuksia ja mitä ne käytännössä tarkoittavat. Tietokortissa olevat ominaisuudet olen valinnut sillä perusteella, miten usein ne toistuivat aihealueen lähteissä. Lähteiden pohjalta lisäsin tietokorttiin esimerkit riittävästä ilmaisimen resoluutiosta ja erotteluherkkydestä. Naudasta otetuissa lämpökuvissa tuon esille, miten ilmaisimen resoluutio vaikuttaa lämpökuvan laatuun ja tarkkuuteen.

Yleensä vain korkeamman hintaluokan lämpökameroissa on mahdollista säätää kaikkia parametreja. Tietokortissa korostetaan ne parametrit, joilla voidaan oleellisesti vaikuttaa mittaustulokseen. Sorresta otetuissa lämpökuvissa halusin tuoda esille, että digitaalikamera on suositeltava lisävaruste lämpökameraan. Varsinkin jos lämpökameran ilmaisimen resoluutio on matala.

7.3.4 Lämpökuvauksen toteutus

Luotettava ja tulkittava lämpökuva edellyttää, että lämpökuvaaja toimii oikein. Tässä tietokortissa käsitellään kuvaustekniikkaan ja lämpökuvan ilmeeseen vaikuttavat asiat (liite 4). Tämä tietokortti oli helppo suunnitella ja onnistui mielestäni parhaiten. Ensimmäisellä sivulla korostetaan sitä, miten lämpökuvaaja voi toiminnallaan vaikuttaa lämpökuvan mittaustulokseen. Kuvausetäisyyden ja kuvauskulman vaikutukset avataan perusteellisesti, jotta lukija ymmärtää niiden tärkeyden. Tietokortissa viitataan emissiivisyyteen ja kehoitetaan lukemaan aihealueen tietokortti. Sivun loppuosassa on suositeltavia toimenpiteitä, joilla lämpökuvan tulkittavuus paranee huomattavasti. Tietokortin lämpökuvissa verrataan vapaata ja rajattua lämpötila-asteikkoa. Rajatun lämpötila-asteikon käyttäminen selkeyttää lämpökuvaa todella paljon. Myös lämpökuvassa käytetyllä väripaletilla on suuri vaikutus siihen, miten lämpötilaerot korostuvat lämpökuvassa. Tietokortissa annetaan esimerkki hyvästä väripaletista, jota käytetään myös tietokortin lämpökuvissa. Yleinen harhaluulo on, että punainen väri lämpökuvassa tarkoittaa korkeaa lämpötilaa. Tiettyä lämpöastetta kuvaava väri kuitenkin vaihtuu määritetyn lämpöasteikon mukaan, joten tämän asian korostin lihavoidulla tekstillä.

Kääntöpuolella esitellään kaksi yleisintä mittaustyökalua, joilla lämpökuvaaja voi etsiä haluamiaan lämpötiloja. Molempien mittaustyökalujen käyttöä havainnollistetaan lämpökuvien avulla. Aluemitauksen käytössä muistutetaan siitä, että rajatun alueen sisälle ei päädy ympäristön lämpötiloja. Kuten digitaalisissa valokuvissa, myös lämpökuvissa hyvä tarkennus on tärkeää. Tarkennusta koskevassa kappaleessa mainitaan, että epätarkan lämpökuvassa voi olla jopa 20 asteen mittausrvirhe. Epäonnistunutta tarkennusta ei myöskään voi korjata jälkeinpäin. Näillä tiedoilla halusin lukijan ymmärtävän, että tarkennukseen tulee todella kiinnittää huomiota. Sivun alaosassa olevaan laatikkoon keräsin muistilistan tietokortin pääkohdista.

7.3.5 Lämpökuvauksen olosuhteet

Luotettavan lämpökuvan edellytyksenä on, että ympäristötekijät eivät vaikuta lämpökuvan mittaus-tulokseen. Tämä tietokortti esittelee mittaustulokseen vaikuttavat olosuhteet eli ne parametrit, mitkä on muutettava lämpökameran asetuksiin (liite 5). Lähteitä tämän tietokortin sisältöön löytyi hyvin, joten se valmistui nopeasti. Ensimmäisessä kappaleessa on teoriaa siitä, miten ympäristö vaikuttaa lämpökuvaamiseen. Halusin selkeyttää asiaa lisäämällä tietokorttiin myös raportissa esiintyneen kuvion lämpösäteilyn lähteistä. Heijastuvan lämpösäteilyn tarkka määrittäminen on todella vaikeaa, mutta esitän tietokortissa tavan sen määrittämiseen. Tietokortissa myös mainitaan keinoja, joilla heijastuvan lämpösäteilyn vaikutusta voi minimoida. Alaosan lihavoidulla tekstillä muistutetaan siitä, että kuvauspaikan vaihtuessa olosuhteet tulee aina tarkistaa.

Kääntöpuolelle lisäsin ison kuva, jonka tarkoituksena on antaa esimerkkejä heijastuvan lämpösäteilyn lähteistä tuotantorakennuksessa. Kuvatekstissä muistutetaan, että heijastuvaa lämpösäteilyä aiheuttaa myös vieressä olevat muut eläimet. Kuvan alla mainitaan auringon vaikutuksesta lämpökuvaan, jotta vältytään virhearvioilta tavallista korkeampien lämpötilojen suhteen. Viimeisessä kappaleessa toin ilmi asiat, jotka täytyy auringon lisäksi huomioida ulkokuvauksessa. Tuuli ja sade vaikuttavat kohteen pintalämpötilaan. Ulkokuvauksen suurin haaste on kylmän taivaan aiheuttama taustasäteily ja tätä korostetaan tietokortissa.

7.3.6 Lämpökuvauksen jälkeen

Tämän tietokortin piti olla osa lämpökuvauksen toteutusta, mutta sisältöä tuli niin paljon, että laadin aiheesta oman tietokortin (liite 6). Halusin tehdä tietokortin muistuttamaan lukijaa siitä, että lämpökuvan käsittely onnistuu myös kuvauksen jälkeen. Käytin tietokortissa esimerkkinä ilmaista kuvienkäsittelyohjelmaa, jonka tarjoaa laitevalmistaja Flir. Myös kuvakaappaukset ovat samasta ohjelmasta. Mikäli kuvaaja unohtaa säätää lämpökameran asetukset kuvaushetkellä, ne voidaan myöhemmin korjata ohjelman avulla. Myös lämpökuvan ilmeeseen voidaan vaikuttaa jälkikäteen ja tämä mainitaan tietokortissa. Ohjelmasta otetuilla kuvakaappauksilla halusin tuon esille sen ominaisuuksia ja samalla tietokortista tuli mielenkiintoisempi.

8 POHDINTA

Opinnäytetyöni kannalta työryhmän tilallisten palaute tietokortteihin olisi ollut todella tärkeää. He edustivat tuotokseni kohderyhmää. Palautteen perusteella olisin saanut vastauksia minua vaivanneisiin kysymyksiin, sisältävätkö tietokortit lämpökuvaamisen kannalta oleellisia asioita, ovatko ne selkeitä sekä ovatko tietokortit hyödyllisiä? En tiedä, miksi palautekyselyyni ei vastattu aktiivisesti. Tilalliset ovat mukana hankkeessa ja kiinnostuneita lämpökamerakuvauksesta, joten oletin, että he olisivat olleet aktiivisia vastaamaan. Jälkeenpäin ajateltuna tietokortit olisi pitänyt esitellä tilallisille jo silloin, kun tapasimme Luonnovarakeskuksella. Tilaisuuden aikana olisin voinut saada paremmin palautetta niihin. En kuitenkaan halunnut esitellä vielä keskeneräisiä tuotoksia.

Vastaavia suomenkielisiä tiivistettyjä ohjeita ei ollut saatavilla ennen opinnäytetyötäni. Nyt tiedot ovat kaikkien nähtävillä hankkeen kotisivuilta tai opinnäytetyön blogista. Tästä syystä olen tyytyväinen tekemiini tietokortteihin. Kuvaa Nautaa -hankkeen tavoitteena on luoda ohjeistus nautojen lämpökamerakuvaukseen. Uskon, että työstäni on hyötyä toimeksiantajalle ja tekemäni työ on askel eteenpäin ohjeiden kannalta. Työni on suunnattu käsittelemään nautojen lämpökuvausta, mutta ohjeet soveltuvat myös muuhun käyttöön maatilaympäristössä. Muita käyttökohteita voisivat olla omien kiinteistöjen tai navetan sähköasennusten lämpökuvaaminen. Lämpökameralla voisi tutkia myös, havaitaanko sillä esimerkiksi varastoidun säilörehun lämpeneminen.

Lämpökuvauksen yleistyminen ja eri kuvaajien ottamien lämpökuvien vertailu edellyttää, että lämpökuvaus tehdään tietyn ohjeen mukaan, jota kaikki noudattavat. Työtäni voidaan kehittää luomalla entistä tarkemmat ohjeet eläimen lämpökuvan tulkintaan. On hankala arvioida, voidaanko tulkintaan luoda yhtenäistä ohjetta, sillä yksilöiden välillä voi olla suuria eroja pintalämpötiloissa. Lämpökameralla harvemmin saadaan kohteen pinnalta täysin absoluuttista lämpötilaa. Tulokinnassa kannattaisi keskittyä siihen, mistä kohdista lämpötilaeroja kannattaa lähteä etsimään. Lisäksi voitaisiin selvittää tarkemmat vaatimukset eläinten lämpökuvaamisessa käytettävälle laitteistolle. Työryhmän tilalliset saivat neljä erilaista lämpökameraa kokeiluun, joten heidän palautteensa tulee olemaan hankkeelle tärkeää. Uskon, että myös halvemman hintaluokan lämpökameroita voidaan käyttää nautojen tutkimiseen tilatasolla, missä tarkat lämpötilat eivät ole niin tärkeitä. Nykyään edullisimmat lämpökamerat vastaavat hinnaltaan hyvää älypuhelinta, joten hinnan ei pitäisi olla esteenä laitteen hankkimiselle.

Tietokorttien laatiminen oli käytännössä sitä, että siirsin kirjallisuuskatsauksessa olevaa sisältöä tietokortteihin. Raportissa olevaa tietoa varten olen kuitenkin tehnyt paljon työtä ja käynyt läpi niin kotimaisia kuin ulkomaisia lähteitä. Pääosassa olivat ulkomaiset lähteet, sillä suomenkielistä aineistoa oli niukasti saatavilla. Aineistojen suomentamisessa käytin apuna Savonian tarjoamaa sanakirjaa, joten uskon, että kääntövirheitä ei ole. Pyrin myös arvioimaan lähteiden luotettavuutta vertailemalla niiden sisältöjä keskenään ja etsimällä niistä yhtäläisyyksiä. Yritin mahdollisuuksien mukaan käyttää mahdollisimman tuoreita lähteitä, mutta jokaisesta aihealueesta niitä ei löytynyt tai julkaisuvuotta ei ollut merkitty. Olen myös käyttänyt toissijaisia lähteitä, sillä alkuperäisen lähteen käyttäminen olisi edellyttänyt maksua. Niiden maksamisesta oltaisiin varmasti voitu sopia toimeksiantajan kanssa.

Toissijaisien lähteiden käytössä on varottava plagiointia ja olen parhaani mukaan soveltanut asiiasältöä omaan aiheeseeni sopivaksi. Lähteiden joukossa on myös yrityksiä, mutta en näe tätä ongelmana, koska lähteet käsittelevät lämpösäteilyä. Lämpösäteilyn periaate pysyy samana lähteestä huolimatta.

Eläinten hoito tulisi aina tehdä eläimen edun mukaisesti, eli vältetään turhaa stressiä tai tarpeetonta kivun aiheuttamista. Lämpökuvaus mahdollistaa eläimen tutkimisen ilman kontaktia ja lämpökuva voi toimia diagnoosin tekemisen tukena. Ajoissa aloitetulla hoidolla voitaisiin nopeuttaa eläimen paranemista ja mahdollisesti vähentää tarvetta lääkittää eläintä. Eläinten hyvinvointi on tärkeää niin tuottajalle, kuin myös kuluttajille. Mielestäni lämpökuvauksella voidaan edistää eettistä eläintenhoitoa ja menetelmää tulisi myös mainostaa enemmän eri toimijoille. Suosittelisin lämpökuvausta etenkin parsinavetoihin. Parteen kytketyn naudän oireita voi olla vaikeampi havaita silmin kuin esimerkiksi pihatossa vapaana liikkuvan naudän. Uskoisin, että opinnäytetyöni kiinnostaa myös muita, kuin pelkästään alan toimijoita.

Haastavinta opinnäytetyön tekemisessä oli aluksi tutustua itselleni täysin uuteen asiaan. Tämän jälkeen asiat tuli tiivistää tietokortteihin niin, että ne ovat ymmärrettäviä, mutta samalla niiden sisältö ei saisi paisua liikaa. Myös luotettavien lähteiden löytäminen tuntui välillä haastavalta. Opinnäytetyön prosessin aikana en hyödyntänyt ohjausta niin paljon kuin ehkä olisi pitänyt. Itsenäinen työskentely on minulle ominaista, ja minulla oli selkeä ajatus siitä, miten opinnäytetyön tulee edetä, jotta se valmistuisi ajallaan.

Opinnäytetyön prosessin jälkeen voin sanoa hallitsevani täysin uuden osa-alueen, joka oli minulle entuudestaan tuntematon. Lämpökuvaus on kiinnostava aihealue ja olisi mielenkiintoista hyödyntää sitä omassa työssäni tulevaisuudessa. Opinnäytetyön tekeminen kehitti tiedonhankinta taitojani ja kykyäni aikatauluttaa omat tekemiseni. Koen myös atk-taitojeni kehittyneen prosessin aikana.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- AIRAKSINEN, Tiina ja VILKKA, Hanna 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- CLEMAC s.a. Mahdollisuudet ja käyttökohteet [verkkojulkaisu]. CleMac. [Viitattu 2018-11-23.] Saatavissa: <https://www.clemac.fi/mahdollisuudet-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6kohteet>
- EINEREN, Ellinor 2016. Managing mastitis with thermal imaging [verkkojulkaisu]. Agricom. [Viitattu 2019-02-26.] Saatavissa: <https://www.vision-systems.com/articles/print/volume-21/issue-6/features/managing-mastitis-with-thermal-imaging.html>
- ELECTROPHYSICS 2011. Understanding infrared camera thermal image quality [verkkodokumentti]. Electrophysics. [Viitattu 2019-02-26.] Saatavissa: https://blog.lk-shop.com/wp-content/uploads/2015/06/WP-Understanding_IR.pdf
- FERGUSON, D.B 2010. Leslie's cube [verkkojulkaisu]. Techknow Wiki. [Viitattu 2019-01-29.] Saatavissa: https://www.techknow.org.uk/wiki/index.php?title=Leslie%27s_Cube
- FLIR 2011. Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications [verkkodokumentti]. Flir Systems Ab. [Viitattu 2019-02-04.] Saatavissa: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_EN.pdf
- FLIR 2016. Flir tools user guide [verkkodokumentti]. Infrared training center. [Viitattu 2019-01-31.] Saatavissa: <http://support.flir.com/answers/A1568/FLIR%20Tools%20User%20Guide%20v2.1.1.pdf>
- FLIR SYSTEMS 2018. Flir Company history [verkkosivu]. Flir Systems, Inc. [Viitattu 2018-11-05.] Saatavissa: <https://www.flir.com/about/company-history/>
- FLIR SYSTEMS s.a. IR Thermography Cameras – How it works [verkkodokumentti]. Techni-tool. [Viitattu 2018-10-17.] Saatavissa: http://www.techni-tool.com/site/ARTICLE_LIBRARY/FLIR-IR-Thermography_How-It-Works.pdf
- FLUKE s.a.a. How infrared cameras work [verkkojulkaisu]. Fluke corporation. [Viitattu 2018-10-25.] Saatavissa: <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/measurement-basics/thermography/how-infrared-cameras-work>
- FLUKE s.a.b. How to choose a thermal imager focus system [verkkojulkaisu]. Fluke corporation. [Viitattu 2019-02-28.] Saatavissa: <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/test-tools-basics/infrared-cameras/how-to-choose-a-thermal-imager-focus-system>
- HILSBURG-MERZ, Sabine 2016. Infrared Thermography in zoo and wild animals [verkkojulkaisu]. Veteriankey. [Viitattu 2019-01-22.] Saatavissa: <https://veteriankey.com/infrared-thermography-in-zoo-and-wild-animals/>
- HKSCAN AGRI s.a. eMerkki-opas [digikuva]. Hkscan Finland Oy. [Viitattu 2018-07-12]. Saatavissa: <https://www.hkscanagri.fi/assets/Tiedotteiden-liitteet/eMerkkiOpassuomi2804.pdf>
- HOKKANEN, Ann-Helena 2016. Muista hoitaa naudan kipua [verkkojulkaisu]. Faba. [Viitattu 2018-10-09.] Saatavissa: <http://www.nauta.fi/hyvinvoiva-nauta/muista-hoitaa-naudan-kipua>
- INFRADEX s.a. Lämpösäteily ja infrapuna [verkkojulkaisu]. Infradex Oy. [Viitattu 2018-10-12.] Saatavissa: <https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>
- LUCAS, Jim 2015. What Is Infrared [verkkojulkaisu]. Purch. [Viitattu 2018-10-12.] Saatavissa: <https://www.livescience.com/50260-infrared-radiation.html>

KAJAANIN AMMATTIKORKEAKOULU s.a. Opinnäytetyön eettiset suositukset [verkkajulkaisu]. KAMK. [Viitattu 2018-11-12.] Saatavissa:

<https://www.kamk.fi/fi/opari/Opinnaytetyopakki/Opinnaytetyoprosessi/SoTeLi/Opinnaytetyoprosessi/Eettiset-suositukset?contentid=fefdc47f-072f-4074-9f36-0ac442a155a7&refreshTree=0#Opinnaytetoiden%20eettisyys%20ja%20lupakaytantö>

KORTELAINEN, Mirka ja KOSKELA, Elina 2018. Nautojen lämpökamerakuvaus. Kirjallisuuskatsaus lämpökamerakuvausten mahdollisuuksista ja kyselytutkimus sidosryhmille. Iisalmi: Savonia-ammattikorkeakoulu, agrologin koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2018-10-17.] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201805168384>

KUIPER, Pieter 2011. Leslie's cube [digikuva]. Sijainti:

https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Pieter_Kuiper/Physics_photos#/media/File:LesliesCube.png

OPETUSHALLITUS s.a. SWOT-analyysi [verkkajulkaisu]. Opetushallitus. [Viitattu 2018-11-12.] Saatavissa: https://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/laadunhallinnan_tuki/wbl-toi/menetelmia_ja_tyovalineita/swot-analyysi

OPTOTHERM s.a.a. Effects of emissivity [verkkajulkaisu]. Optotherm Inc. [Viitattu 2018-10-25.] Saatavissa: <https://www.optotherm.com/emiss-effects.htm>

OPTOTHERM s.a.b. Emissivity Values [verkkajulkaisu]. Optotherm Inc. [Viitattu 2018-10-25.] Saatavissa: <https://www.optotherm.com/emiss-table.htm>

OPTOTHERM s.a.c Microbolometers [verkkajulkaisu]. Optotherm Inc. [Viitattu 2018-10-25.] Saatavissa: <https://www.optotherm.com/microbolometers.htm>

PALMERWAHL 2007. The evolution of thermal imaging cameras [verkkodokumentti]. Palmerwahl. [Viitattu 2018-10-29.] Saatavissa: <http://instrumentation.com/PDFS/EvolutionThermalImagingCameras.pdf>

PALONIITTY, Sauli, PALONIITTY, Juho ja HAIMILAHTI, Jouni 2015. Lämpökuvaus rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto.

PIRINEN, Anu 2008. Utaretulehduksen havaitseminen lämpökameran avulla. Helsingin yliopisto. Eläinlääketieteellinen tiedekunta. Eläinlääketieteen lisensiaatin tutkielma. [Viitattu 2019-02-26.] Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/8239/lisensiaatin_tutkielma_Pirinen_An_u_2008.pdf

PUUSTINEN, Eero 2018-11-09. Lämpökuva ihmisen kädestä [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-17a. Publisherin aloitusnäkömää [kuvakaappaus]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-17b. Ensimmäinen luonnos tietokortin pohjasta [kuvakaappaus]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-03-02. Tietokortin valmis pohja [kuvakaappaus]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-03-13a. Kuvakaappaus Flir Tools -ohjelmasta [kuvakaappaus]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat

PUUSTINEN, Eero 2019-03-13b. Tietokorttien aiheet [kuvakaappaus]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat

RACEWICZ, Przemyslaw 2018. The use of thermal imaging measurements in dairy cow herds [verkkodokumentti]. Scientific Annals of Polish Society of Animal Production. [Viitattu 2019-01-24.] Saatavissa: <http://rn.ptz.icm.edu.pl/wp-content/uploads/2018/07/IV-Racewicz-ang.pdf>

- SUOJOKI-KLÖTZIG, Annika 2014. Hans Arendse eläinten lämpökuvien asiantuntija Trotecin haastateltavana [verkkajulkaisu]. Trotec. [Viitattu 2019-01-22.] Saatavissa: <https://www.trotec-blog.com/su/ajankohtaista/hans-arendse-elainten-lampokuvien-asiantuntija-trotecin-haastateltavana/>
- TAPANILA, Risto 2018. Lämpökameran hyödyntäminen vesistöjen tutkimuksessa. Oulun yliopisto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. [Viitattu 2019-01-29.] Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201805101697.pdf>
- THERMOWORKS s.a. Accuracy of emissivity values [verkkajulkaisu]. Thermoworks. [Viitattu 2018-10-29.] Saatavissa: https://www.thermoworks.com/emissivity_table
- TURUN YLIOPISTO s.a. Eettisyys, mitä se on? [verkkajulkaisu]. Turun yliopisto. [Viitattu 2018-11-12.] Saatavissa: <https://www.utu.fi/fi/yksikot/tse/tietoa/arvot/eettisyys/Sivut/home.aspx>
- VAINIONPÄÄ, Mari 2014. Thermographic imaging in cats and dogs usability as a clinical method. Helsingin yliopisto. Eläinlääketieteellinen tiedekunta. Väitöskirja. [Viitattu 2019-02-27.] Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/20441286.pdf>
- VETERINARY THERMAL IMAGING s.a. Veterinary Thermal Imaging as a Diagnostic tool [verkkajulkaisu]. Veterinary Thermal Imaging Limited. [Viitattu 2018-10-17.] Saatavissa: <http://www.veterinary-thermal-imaging.com/thermography/as-a-diagnostic-tool>
- VÄHÄKAINU, M 2016. CAT S60 on maailman ensimmäinen lämpökameralla valmistettu älypuhelin [verkkajulkaisu]. Puhelinvertailu. [Viitattu 2018-11-05.] Saatavissa: <https://www.puhelinvertailu.com/uutiset/2016/02/19/cat-s60-on-maailman-ensimmainen-lampokameralla-varustettu-alypuhelin>
- WARNER, Bill 2014. Which thermal imaging camera should I choose for building inspection? [verkkajulkaisu]. Irinfo. [Viitattu 2018-11-05.] Saatavissa: <https://www.irinfo.org/04-01-2014-warner/>

Tietokorttien lähteet ja tuotetut aineistot

Tunnukset

- LUONNONVARAKESKUS 2015. Luke verkkologo suomeksi [digikuva]. Saatavissa: https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2015/02/Luke_FI_virall_WEB.jpg
- MAASEUTURAHASTO 2016. Lippu maaseuturahasto ISO [digikuva]. Saatavissa: <https://maaseutu.kuvat.fi/kuvat/Logot,+lomakepohjat+ja+markkinointikuvat/EU-yleiset/Verkkokäyttöön/Lippu+ja+lause+suomi.jpg>
- SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU s.a. Savonia värillinen [digikuva]. Saatavissa: http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/_tutustu-savoniaan/viestintapalvelut/SAVONIA_logo_rgb.jpg
- KUVAA NAUTAA 2018. Hankkeen Facebook-sivut [digikuva]. Saatavissa: <https://www.facebook.com/kuvaanautaa/photos/a.168257633836663/169471553715271/?type=1&theater>

Eläimen lämpökuvaaminen

- PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuva likaisesta naudasta [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.
- PUUSTINEN, Eero 2019-01-20. Lämpökuva utareesta [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.
- FRONDELIUS, Lilli 2019. Lämpökuva takajalkojen sorkista [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

Emissiivisyys

KUIPER, Pieter 2011. Leslie's cube [digikuva]. Sijainti:

https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Pieter_Kuiper/Physics_photos#/media/File:LesliesCube.png

Lämpökameran ominaisuudet

PUUSTINEN, Eero 2019-02-15. Mittaava lämpökamera [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvaa 80x60 resoluutiolla [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvaa 160x120 resoluutiolla [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvaa naudan sorkista [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvan ja digitaalikuva sekoitus naudan sorkista [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

Lämpökuvauksen jälkeen

PUUSTINEN, Eero 2019-02-04. Kuvakaappaukset Flir Tools -ohjelmasta [näyttökuvaa]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Esimerkki kuvamuodon vaihtamisesta [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

Lämpökuvauksen olosuhteet

PUUSTINEN, Eero 2019-01-09. Lämpö- ja ilmankosteusmittari [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-20. Esimerkki heijastuvasta lämpösäteilystä [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

Lämpökuvauksen toteutus

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvaa ilman rajattua asteikkoa [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvaa rajatulla asteikolla [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvaa pistemittauksella [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.

PUUSTINEN, Eero 2019-01-13. Lämpökuvaa aluemittauksella [digikuva]. Sijainti: Iisalmi: Eero Puustisen sähköiset kokoelmat.


LIITE 1: ELÄIMEN LÄMPÖKUVAAMINEN



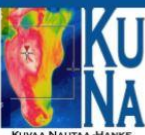
SAVONIA
AMMATTIKORKEAKOULU



Luke
LUONNONSUUNNITELMA



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Eläimen lämpökuvaaminen

KUVAA NAUTAA -HANKE

Ennen lämpökuvaamista:

Tutkittavan eläimen tulee olla sopeutunut kuvausympäristöön ennen sen kuvaamista. Tämä on huomioitava, kun eläintä lämpökuvataan eri tilassa, jossa se tavallisesti oleskelee. Sopeutumisen kesto on joitain minuutteja tai enemmän, jos tilojen välillä on huomattava lämpötilaero. Muista, että eläin ei saa olla suorassa auringonpaisteessa tai tuulessa, eikä eläimeen saa koskea käsin juuri ennen lämpökuvausta. Auringonpaiste tai tuuli vääristävät mitaustulosta ja kosketukset näkyvät lämpökuvassa lämpöjäkinä.

Eläimen valmistelu:

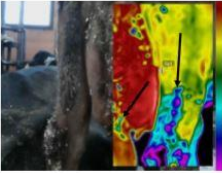
Kuvattavan eläimen tulisi olla kuiva ja puhdas, koska muuten lämpökuvaaaja mittaa esimerkiksi veden tai lian lämpötilaa.

Paksu karvapeite vaikeuttaa lämpökuvan tulkin-
taa, joten kuvattavan alueen tulisi olla lyhytkar-
vainen. Huomioi, että karvojen leikkaaminen voi
hetkellisesti vaikuttaa alueen lämpötilaan!

Huomioi lämpökuvassa:

Yläpuolen kuvasta ilmenee, miten naudassa ole-
va lika vääristää lämpökuvaa (utare ja oikea ta-
kajalka). Puhdas osa utareta näkyy tasaisen pu-
naisena ja takajalka kellertävänä. Likaisuus ei
ole este lämpökuvaukselle, mutta lämpöpoik-
keamat on muistettava kuvan tulkinnessa!

Alemmassa kuvassa utareen paksu karvapeite
eristää hyvin lämpöä, joten mitaustulos ei vas-
taa utareen pinnan lämpötilää.




Kuvat: Puustinen 2019

Eero Puustinen 25.04.2019


Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi



SAVONIA
AMMATTIKORKEAKOULU



Luke
LUONNONSUUNNITELMA



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Eläimen lämpökuvaaminen

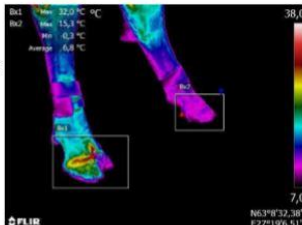
KUVAA NAUTAA -HANKE

Mitä lämpökuvasta etsitään?

Eläimen lämpökuvasta nähdään ihon pintalämpötilat, joten siitä voidaan havaita muutoksia eläimen verenkierrossa. Lämpökuvista etsitään yleensä tulehduksia tai muutoksia lihaksissa. Lämpökuvasta arvioidaan vamman laajuutta, hoidon tarvetta tai sen tehoamista. Muita sovel-
lusalueita voisivat olla esimerkiksi stressin, kiiman tai tiineyden havaitseminen.

**Terveellä eläimellä ihon lämpötila jakautuu symmetrisesti kehon eri osissa. Kiinnitä siis huomiota epä-
saiseen lämpöjakaumaan esimerkiksi takajalkojen sorkkien väliin!**

Kuvassa näkyy toisesta jalasta ulkosorkka ja toisesta sisäsorkka. Paremmen vertailun vuoksi kannattaisi molemmista jaloista ottaa omat kuvansa.



Kuva: Lilli Frondehus/Luke 2019

Muista!

Utareta tai sorkkia kuvatessa heijastuvassa lämpötilassa on huomioitava naudasta heijastuva lämpösäteily (mahanalunen)! Lisätietoja **Lämpökuvauksen olosuhteet** —tietokortissa.

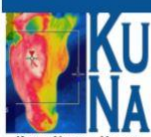
Lämpökameran asetukset:

- Kuvausetaisyys koko eläintä kuvattaessa noin metri.
- Yksityiskohtaisemilla alueilla, kuten silmät, sorkat ja utare, kuvausetaisyyttä kannattaa lyhentää (0,5-1 metriä).
- Eläimillä käytetty emissiokerroin on yleensä 0,95 (matta).
- Rajattu lämpötila-asteikko (katso **Lämpökuvauksen toteutus** —tietokortti)
- Käytä laajaa väripalettia (esimerkiksi Rainbow).

Eero Puustinen 25.04.2019

Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi

LIITE 2: EMISSIIVISYYS



Emissiivisyys

KUVAA NAUTAA-HANKE

Mitä emissiivisyys tarkoittaa?

Lämpökamera vastaanottaa kuvattavan alueen kokonaissäteilyä, johon sisältyy aina myös materiaalin heijastama lämpösäteily. Emissiivisyys kuvaa materiaalin kykyä lähettää omaa lämpösäteilyään suhteessa täydelliseen säteilijään. Se ilmoitetaan numeroarvolla nollan ja ykkösen välillä. Täydellisen säteilijän emissiokerroin on yksi, eli se ei heijasta ollenkaan ympäristöstä tulevaa säteilyä. Alhainen emissiokerroin tarkoittaa, että suurin osa pinnasta lähtevästä lämpösäteilystä heijastuu kuvausympäristöstä.

Asia selkenee, kun emissiokerrointa käsitellään prosentteina. Emissiivisyyden ollessa esimerkiksi 0,40 tarkoittaa, että materiaalin kokonaissäteilystä vain 40 prosenttia on sen itsensä lähettämää. Heijastuksen osuus on siis suuri. Kiiltävillä pinnoilla heijastuksen osuus voi olla jopa 90 prosenttia, jolloin lämpökuvauksella on todella haastavaa!

Miksi emissiivisyys on tiedettävää?

Lämpökamera ei tunnista automaattisesti pinnan emissiivisyyttä! On lämpökuvauksen vastuulla syöttää tieto lämpökameran asetuksiin. Emissiokertoimen avulla lämpökameran ohjelmisto korjaa heijastuksen vaikutusta mittauksista. Eri materiaalien emissiokertoimia löytyy esimerkiksi kääntöpuolen taulukosta ja internetineistoista.

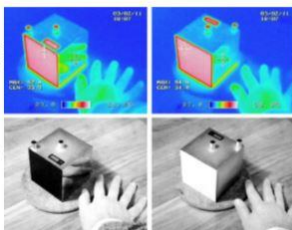
Leslien kuutio:

Emissiivisyyden ymmärtäminen helpottuu, kun sitä tarkastellaan Leslien kuution avulla. Tässä metallisessa kuutiossa on neljä pinnaltaan erilaista sivua (musta, valkea, kiillotettu ja kiillottamaton eli himmeä). Kuutio täytetään kiehuvalle vedelle, jolloin oletettavasti kaikki sivut ovat samassa lämpötilassa.

Heijastusominaisuuksiltaan sivut ovat kuitenkin erilaisia, koska pintojen emissiokertoimet vaihtelevat. Maalattut pinnat säteilevät omaa lämpöään voimakkaasti, sillä ne näkyvät lämpökuvassa punaisena. Kiillotettu ja himmeä pinta säteilevät huonosti omaa lämpöään ja kuvasta nähdään, miten pinnat heijastavat pääasiassa vain vieressä olevan käden lämpöä.

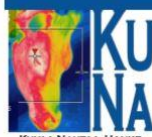
Mustan ja valkean emissiokerroin on siis lähellä arvoa yksi, kun taas kiillotettu ja himmeä lähempänä nollaa.

Kuvan lähde: Wikimedia Commons.
Alkuperäinen tekijä: Pieter Kulpers, 2011



Eero Puustinen 25.4.2019

Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi



Emissiivisyys

KUVAA NAUTAA-HANKE

Taulukossa on kuvattu eri materiaalien emissiokertoimia pitkäaaltoalueella, eli yleisimmän lämpökameroissa käytössä oleva aaltoalue.

Materiaali	Emissiokerroin
Ihmisen iho	0,95-0,97
Eläimet	0,95-1
Kiillotettu teräs	0,27
Ruostunut teräs	0,61
Kirkas kromi	0,16
Sileä alumiini	0,05
Betoni	0,91
Tiili tai laasti	0,93
Lasi (ikkuna)	0,83
Puu yleinen	0,90
Hiottu puu	0,80
Kattohuopa	0,92
Kumi	0,88
Pleksilasi	0,90
Kipsilevy	0,90-0,92

Eero Puustinen 25.4.2019

Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi

LIITE 3: LÄMPÖKAMERAN OMINAISUUDET



Lämpökameran ominaisuudet

Toimintaperiaate:

Lämpökameran toiminta perustuu lämpösäteilyn vastaanottamiseen. Kuvauskohteen pinnasta lähtee luonnostaan lämpösäteilyä, joka voidaan mitata lämpökameralla. Lämpökameran ohjelmisto muuttaa lämpösäteilyn voimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta muodostuu laitteen näytölle reaaliaikainen lämpökuva. Lämpökameralla mitataan kohteen pintalämpötilajakaumia.

Valinta käyttötarkoituksen mukaan:

Lämpökameroiden päätyypit ovat mittaavat ja ei-mittaavat. Kiinteistöjen, sähköasennusten tai eläinten tutkimisessa lämpökameran tulee olla mittaava, jolloin pintalämpötiloja voidaan seurata laitteen näytöltä. Ei-mittaava lämpökamera sopii etsintä- tai valvontatehtäviin, jolloin lämpötila-arvoilla ei ole suurta merkitystä.

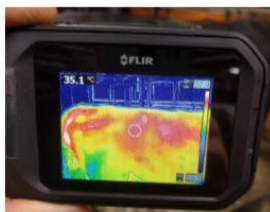
Mikäli lämpökuvasta suoritetaan vaihtuvissa olosuhteissa on lämpökameran oltava tasapainotettu. Tasapainotetussa lämpökamerassa rungon lämpötilavaihtelut eivät vaikuta lämpökuvan mitaustulokseen. Lämpötilavaihteluita aiheuttavat siirtyminen lämpimästä tilasta viileämpään tai toisinpäin.

Kiinnitä huomiota näihin:

Ilmaisimen resoluutio: Kertoo ilmaisimessa olevien mittapisteiden määrän. Vaikuttaa suoraan lämpökuvan laatuun ja tarkkuuteen. Mitä enemmän mittapisteitä on, sitä tarkempia ovat lämpökuvan laatu ja lämpötilatarkkuus (katso kääntöpuoli). Alle 160x120 resoluution ilmaisinta pidetään laadultaan heikkona.

Erotteluherkkyys (NETD): Kertoo ilmaisimen kyvyn mitata alueen pienin lämpötilaero. Vaikuttaa siis yhdessä resoluution kanssa lämpökameran tarkkuuteen. Hyvänä erotteluherkkyytinä pidetään 0,10 celsiusastetta, joka ilmoitetaan myös muodossa 100 mK.

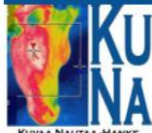
Lämpötila-alue: Määrittää minimi- ja maksimilämpötilan, jotka lämpökamera pystyy mittaamaan.



Kuva: Puustinen 2019

Eero Puustinen 25.4.2019

Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi



Lämpökameran ominaisuudet

KUNAA NAUTAA -HANKE

Resoluutio:

Yläpuolen lämpökuvassa ilmaisimen resoluutio on 80x60 (4800 mittapistettä) ja alemmassa resoluutio on 160x120 (19 200 mittapistettä). Paremmalla resoluutiolla havaitaan pienetkin poikkeamat lämpökuvassa. On hyvä muistaa, että ilmaisimen resoluutio on eri asia, kuin lämpökameran näytön tai sen digitaalikameran resoluutio.

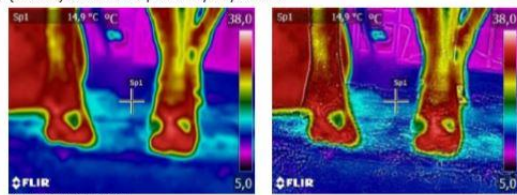
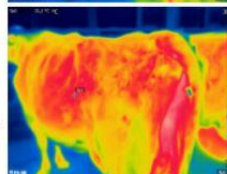
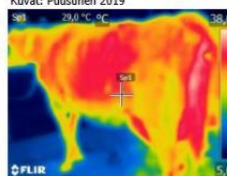
Mittausparametrit:

Tarkka mittaustulos vaatii, että lämpökameran asetukset vastaavat kuvausolosuhteita. Säädettäviä parametreja ovat kohteen emissiokerroin, heijastuva lämpötila, kuvausetäisyys, ilman lämpötila ja ilman kosteus. Laitteiden välillä on eroja, mitä parametreja kuvauksen aikana voi muuttaa. Olellisesti mittaustulokseen vaikuttavat emissiokerroin ja heijastuva lämpötila!

Lisäominaisuus:

Heikon resoluution lämpökuva on epäselvä. Lämpökameran lisävarusteeksi suositellaan digitaalikameraa. Kuvausmuotona voidaan käyttää kuvien sekoitusta, eli taustalla oleva digitaalikuva (oikealla) korostaa lämpökuvan yksityiskohtia.

Kuvat: Puustinen 2019

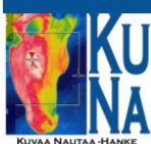


Kuvat: Puustinen 2019

Eero Puustinen 25.4.2019

Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi

LIITE 4: LÄMPÖKUVAUKSEN TOTEUTUS



Lämpökuvauksen toteutus

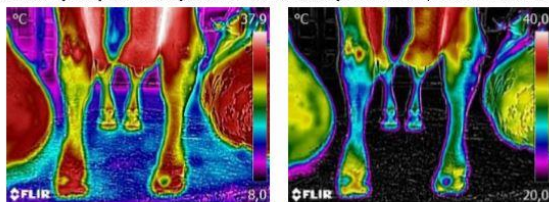
Lämpökuvan luotettavaan lopputulokseen vaikuttaa olosuhteiden lisäksi myös lämpökuvajaajan toiminta. Lämpökameran asetuksiin tulee määrittää kohteen emissiivisyys ja kuvausetaisyys kohteeseen. Kuvauskulma ei ole määritettävä asetus, mutta on olennainen osa kuvaustekniikkaa.

Kuvausetaisyys: Lämpökamera mittaa kuvapisteen kokonaissäteilyä, joten kuvausetaisyyden kasvaessa yksi kuvapiste edustaa aina suurempaa aluetta. Alueen koon kasvaessa voi yksittäinen ympäristöään kylmempi tai lämpimämpi kohta jäädä havaitsematta. Mitä kauempaa kohdetta kuvataan, sitä voimakkaammin ilmakedä vaimentaa kohteesta lähtevää lämpösäteilyä.

Kuvauskulma: Lämpökuvaukselta tulisi aina suorittaa mahdollisimman kohtisuoraan ja yli 30 asteen kuvauskulmia tulee välttää. Liian vinossa kuvauskulmassa alkaa heijastuva lämpösäteily vaikuttamaan enemmän mittaustulokseen. Vaino kuvauskulma myös laskee kohteen emissiokerronta ja vaikuttaa mitattuun lämpötilaan.

Selkeyttä lämpökuvaa:

Lämpötilapoiikkeamien etsiminen kahdesta samanlaisesta kohteesta edellyttää, että käytössä on sama lämpötila-asteikko. Lämpötila-asteikko voidaan rajata, jolloin lämpökuvan värit jakautuvat määritetyn alueen lämpötiloille. Rajatun asteikon käyttäminen helpottaa pienten lämpötila-erojen havainnointia. Vasemmassa kuvassa asteikkoa ei ole rajattu. Oikeassa kuvassa asteikko on rajattu, jolloin tausta jää sen tummalle alueelle ja kohteen lämpötilaerot korostuvat.



Kuvat: Puustinen 2019

Monipuolinen väripaletti ilmentää selkeämmin kohteen lämpötila-eroja. Esimerkki hyvästä väripaletista on sateenkaari (Rainbow). **Tiettyä lämpöastetta kuvaava väri vaihtuu määritetyn lämpöasteikon mukaan, joten väreillä ei ole tekemistä mittaustuloksen kanssa!**

Eero Puustinen 25.4.2019

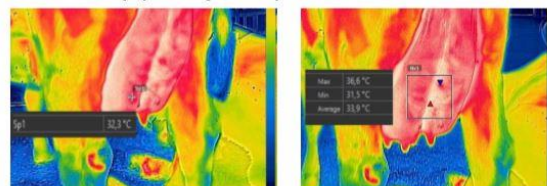
Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi



Lämpökuvauksen toteutus

Mittaustyökalut: Auttavat kuvaajaa etsimään haluamia lämpötiloja. Yleisimmät mittaustyökalut ovat pistemittaus (vasen lämpökuvaa) ja aluemitäus (oikea lämpökuvaa).

Pistemittauksessa lämpökuvassa olevaa osoitinta voi siirtää vapaasti lämpökameran näytöllä ja osoitin kertoo tietyn pisteen lämpötilan. Aluemitäuksessa lämpökuvaa muodostuu neliö, jonka paikkaa ja kokoa voi vaihtaa vapaasti. Aluemitäuksella saadaan selvitettyä rajatun alueen maksimi-, minimi- ja keskilämpötila. **Rajauksessa on huomioitava, että alueen sisällä ei ole esimerkiksi ympäristöä, jonka lämpötila vaikuttaa mittaustuloksiin.**



Kuvat: Puustinen 2019

Lämpökuvan tarkentaminen:

Laadukkaan lämpökuvan edellytyksenä on sen onnistunut tarkennus. Sumeasta lämpökuvasta on mahdotonta erottaa tarkkoja yksityiskohtia ja mittaustulos ei ole luotettava. Epätarkassa lämpökuvassa mitattu lämpötila voi erota todellisesta lämpötilasta jopa 20 astetta.

Manuaalinen tarkennus mahdollistaa paremman tarkkuuden lämpötilan mittaamisessa, mutta sen käyttäminen vaatii paljon opettelua. Automaattinen ja kiinteä tarkennus ovat nopeita käytettyä, mutta kuvausetaisyyden huomiointi korostuu. Lämpökuvaa tarkentuu asetuksiin määritetyn kuvausetaisyyden perusteella. **Muista, että epäonnistunut tarkennus ei voi enää korjata jälkepäin.**

Tarkista emissiivisyys!

Säilytä asetettu kuvausetaisyys!

Kuvaa kohtisuoraan, ei yli 30 asteen kuvauskulmia!

Vertailussa oltava sama lämpötila-asteikko!

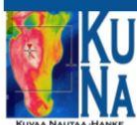
Tarkenna huolellisesti!

Muistilista:

Eero Puustinen 25.4.2019

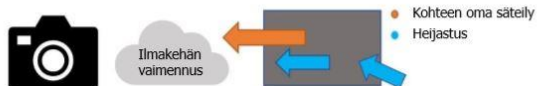
Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi

LIITE 5: LÄMPÖKUVAUKSEN OLOSUHTEET



Lämpökuvauksen olosuhteet

Ennen lämpökuvauksen aloittamista on otettava huomioon kuvausympäristö ja sen olosuhteet. Ilmakehä vaimentaa lämpösäteilyä, joten lämpökuvauksen tulee tietää ilman lämpötila ja ilman kosteus. Lisäksi tulee huomioida taustan lämpötilat eli heijastuva lämpötila. Heijastuva lämpötila vaikuttaa oleellisesti mittaustulokseen ja sen merkitys korostuu, kun kuvattavan kohteen emissiivisyys on matala. Näiden tietojen perusteella lämpökameran ohjelmisto korjaa ympäristötekijöiden vaikutukset lämpökuvan mittaustuloksesta.



Ilman lämpötila: Kuvauspaikalla vallitseva lämpötila kuvaushetkellä.

Ilman kosteus: Kuvauspaikalla vallitseva ilmankosteus kuvaushetkellä.

Heijastuva lämpötila: Ympäristön lämpösäteily heijastuu kuvauskohteen pinnalta lämpökameran linssiin. Mittaa kuvausympäristön kohteiden lämpötiloja ja arvioi heijastuvan lämpötilan keskiarvo. Huomioi etenkin kuvauskohdetta huomattavasti kylmemmät tai lämpimmät kohteet. Lämpötilan mittaamisen optimoimiseksi kuvattava kohde voidaan esimerkiksi suojata ympäristön heijastuksilta.

Heijastuvan lämpötilan tarkka määrittäminen voi olla hankalaa varsinkin, jos kuvausympäristössä on paljon erilaisia lämmön tai kylmyyden lähteitä. Mahdollisuuksien mukaan lämpökuvauksen suorittaa ympäristössä, jossa tausta olisi lämpötiloiltaan yhtenäinen!

Nämä olosuhteet eli **parametrit** syötetään suoraan lämpökameran asetuksiin, tai kirjataan muistinpanoihin myöhempiä käyttöä varten. Taskukokoinen mittari on hyvä apuväline ilman lämpötilan ja ilman kosteuden seuraamiseksi.

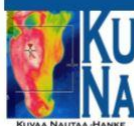


Kuva: Puustinen 2019

Aina kuvauspaikan vaihtuessa on olosuhteet tarkistettava!

Eero Puustinen 25.4.2019

Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi



Lämpökuvauksen olosuhteet



Tässä kuvausympäristössä nautaan heijastuu lämpösäteilyä navetan rakenteista (ovi, ikkunat, katto, pari) sekä vieressä olevasta toisesta naudasta.

Kuva: Puustinen 2019

Huom!

Lämpökuvauksessa on aina otettava huomioon auringonpaiste. Auringon lämmittävä vaikutus näkyy lämpökuvassa vielä sen jälkeen, kun alituminen auringon valolle loppuu.

Lämpökuvaaaminen ulkona:

Ulkokuvaus on muistettava tuulen ja sateen vaikutukset. Kova tuuli viilentää kuvattavaa pintaa ja sateen kastelemaan pinnan lämpötila on todellista alhaisempi. Ulkona kuvattessa on erityisesti huomioitava kylmän taivaan aiheuttama taustasäteily!

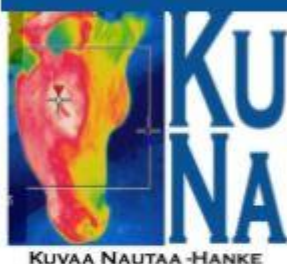
Muistiliista:

Ilman lämpötila ja ilman kosteus!
Heijastuva lämpötila: Kuvausympäristön lämpötilojen keskiarvo!
Seuraa olosuhteita ja tarkista kuvauspaikan vaihtuessa!
Ulkokuvaus haasteet!

Eero Puustinen 25.4.2019

Tutustu hankkeeseen: kuna.savonia.fi

LIITE 6: LÄMPÖKUVAUKSEN JÄLKEEN



Lämpökuvauksen jälkeen

Lämpökuvien jatkokäsittelyä ja tarkempaa tulkintaa varten tarvitaan kuvienkäsittelyohjelma. Lämpökameran valmistajasta riippuen ohjelma on ilmainen tai sen saa käyttöön lisämaksulla. Laittevalmistajilta löytyy yleensä omat ohjelmansa, joten ne eivät välttämättä tue muiden valmistajien laitteita.

Laittevalmistaja Flir tarjoaa ilmaisen kuvienkäsittelyohjelman, jolla lämpökuvien käsittely onnistuu tietokoneen kautta. Ohjelmaan viedyt lämpökuvat tallentuvat kuvakirjastoon, jolla käyttäjä voi lajitella lämpökuvat esimerkiksi kuvauspäivämäärän mukaan. Ohjelman avulla on mahdollista vaikuttaa lämpökuvan tarkkuuteen ja esitystapaan. Valituista lämpökuvista voidaan luoda raportteja selitteiden kanssa, jolloin ne voidaan lähettää eteenpäin asiakkaalle tai asiantuntijalle. Ohjelma mahdollistaa myös laittevalmistajan lämpökameroiden ohjelmistopäivitykset turvallisesti tietokoneen kautta.

Lämpökameran malli vaikuttaa siihen, mitä parametreja sen asetuksissa voi muuttaa. Kuvienkäsittelyohjelmalla puuttuvat parametrit voidaan muokata vastaamaan kuvaustilannetta. Yksittäisen lämpökuvan tiedoissa näkyvät kaikki kuvaustarkkuuteen vaikuttavat tekijät.

Jälkikäteen ovat muokattavissa myös kuvassa käytettävä lämpötila-asteikko, väripaletti sekä kuvamuoto. Mittaustyökaluja voi vaihtaa, lisätä tai poistaa.

