

Opinnäytetyö (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Ohjelmistotuotanto

2011

Esa Hakolahti

LÄMPÖKAMERAN KEHITYS JA KÄYTTÖ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Esa Hakolahti

LÄMPÖKAMERAN KEHITYS JA KÄYTTÖ

Tämän opinnäytetyön aiheena on lämpökameran kehitys ja käyttö. Työ käsittelee lämpökameraa ja lyhyesti sen historiaa, ohjelmia ja ohjelmistoja, lämpösäteilyä sekä muutaman lämpökameran käyttömahdollisuuden.

Lämpökameran historia alkaa jo 1840-luvulta. 1950-luvulla Yhdysvaltojen armeija aloitti lämpökameran teknologian kehittämisen, minkä myötä lämpökameran teknologia on tullut myös siviilikäyttöön. Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa lämpösäteilyä ja muuttaa saadut lukemat lämpökuviksi. Kamera ei tarvitse näkyvää valoa toimiakseen. Lämpösäteily on infrapunasäteilyn toinen nimitys ja on näkyvää valoa pitkäaaltoisempaa sähkömagneettista säteilyä. Käyttömahdollisuuksia ovat muun muassa erilaiset viranomais-operaatiot, joihin kuuluu erilaiset pelastus-, poliisi- ja rajavalvonta tehtävät, eläinten tutkimus- ja hoitotyöt sekä rakennus- ja huoltotyöt sekä laadunvalvonta. Näissä lämpökamera tuo turvallisuutta, auttaa tutkimuksissa ja auttaa näkemään sellaista, joita paljaalla silmällä ei näe.

Tutkimusmenetelminä olen etsinyt, tutkinut ja saannut tietoa internetistä, kirjoista, lämpökameraa koskevista opinnäytetöistä ja erilaisista dokumenttiohjelmista vuosien varrelta. Prosessin aikana sain paremman kuvan esiteltävistä käyttömahdollisuuksista ja lämpökameran käytöstä. Esimerkiksi lämpösäteily ei läpäise seiniä, ovia ja ikkunoita ja tämä pitää ottaa huomioon kuvatessa lämpökameralla. Työn tarkoituksena oli valottaa, että mikä on lämpökamera, miten lämpökamera toimii ja millaisia käyttömahdollisuuksia sillä on. Tämä työ on tehty Turun ammattikorkeakoululle ja voi olla yhtenä apuna tiedon hankintaan lämpökamerasta.

Esa Hakolahti

DEVELOPMENT AND USE OF THERMAL CAMERA

This thesis deals with development and use of thermal camera. Thermal camera and its history are briefly introduced and relevant programs and software, infrared radiation and a few feasibilities of thermal camera are discussed.

The history of thermal camera begins from the 1840s. In the 1950s US military developed technology of thermal camera further, thus gradually making its technology available for civilian use. A thermal camera is a thermal radiation receiver, which measures the thermal radiation readings and changes them into the thermal images. The camera does not need visible light to work. The other name for thermal radiation is infrared radiation, which refers to electromagnetic radiation with a wavelength longer than that of visible light. Feasibilities include among others various official operations, including the rescue, police and border control tasks, research and nursing work of animals as well as construction and maintenance work and quality control. In these a thermal camera brings safety, helps in research and helps to see something that cannot be seen with the naked eye.

Knowledge was found by searching and studying relevant source on the internet, books, previous theses about thermal camera and other documentaries over the years. All sources helped in building better image about introduced feasibilities and the use of thermal camera. As an example, thermal radiation does not penetrate walls, doors and windows, and this must be taken into account when imaging with thermal camera. This study concentrated on describing thermal camera, how it works and what kind of access there is. This thesis was made for Turku university of applied sciences, and it could be one of assistance of studying about a thermal camera.

KEYWORDS: accessibilities, infrared, thermal camera, thermal radiation

SISÄLTÖ

SISÄLTÖ	.....4
KUVAT JA TAULUKOT	.....5
1. JOHDANTO	.....7
2. LÄMPÖKAMERA	.....8
2.1 HISTORIA	.....8
2.2 LÄMPÖKAMERAN TOIMINTA	.....11
2.3 OHJELMAT/OHJELMISTOT	.....15
2.4 LÄMPÖSÄTEILY	.....20
3. KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET	.....23
3.1 VIRANOMAISOPERAATIOT	.....23
3.1.1 PELASTUSTEHTÄVÄT	.....23
3.1.2 POLIISI JA RAJAVALVONTA	.....26
3.2 ELÄINTEN TUTKIMINEN JA HOITAMINEN.....	28
3.3 RAKENNUS- JA HUOLTOTYÖT SEKÄ LAADUNVALVONTA.....	36
4. RAKENNUSKOHTIEN KUVAUS	.....39
5. YHTEENVETO	.....43
LÄHTEET	.....44

KUVAT JA TAULUKOT

KUVA 1.	VIDICONPUTKI.	9
KUVA 2.	LÄMPÖKAMERAN SISÄINEN RAKENNE.	12
KUVA 3.	FLIR P660 LÄMPÖKAMERA.	13
KUVA 4.	NÄKYMÄ HISTOGRAMMIKAAVIOSTA.	18
KUVA 5.	THERMACAM RESEARCHERIN MITTAUSTYÖKALUT.	18
KUVA 6.	INFRAPUNA-ALUE SÄHKÖMAGNEETTISESSA SPEKTRISSÄ.	21
KUVA 7.	PARI ROIKKUVAA HEDELMÄLEPAKKOJA KUVATTUNA LÄMPÖKAMERALLA.	29
KUVA 8.	KOIRA KUVATTUNA LÄMPÖKAMERALLA.	30
KUVA 9.	KÄÄRME SYÖMÄSSÄ HIIRTÄ.	30
KUVA 10.	MERILEGUAANEJA LÄMMITTELEMÄSSÄ RANTAKALLIOLLA.	31
KUVA 11.	LÄMMENNEET MERILEGUAANIT MATKALLA RANTAKALLIOLTA MEREEN.	31
KUVA 12.	LÄMMENNYT JA KYLMÄ MERILEGUAANI.	32
KUVA 13.	MERESTÄ TULLUT KYLMETTYNYT MERILEGUAANI.	33
KUVA 14.	MERINAHKAKILPIKONNA KAIVAMASSA KUOPPAA MUNINTAA VARTEN.	34
KUVA 15.	MERINAHKAKILPIKONNA KUOPAN KAIVUUSSA.	35
KUVA 16.	HEVOSEN JALAT LÄMPÖKAMERALLA KUVATTUNA.	37
KUVA 17.	FLIR SYSTEMS INFRACAM™ -LÄMPÖKAMERA.	40
KUVA 18.	IKKUNOIDEN TIIVISTEIDEN EROJA.	41
KUVA 19.	ULKOA PÄIN KUVATTUA LÄMPÖKUVAA.	42
TAULUKKO 1.	RAKENNUKSEN LÄMPÖKUVAUS.	40

KÄSITTEET

Absorboi(da)	Imeä itseensä, pidättää, sitoa esim. lämpöä, energiaa, vettä.
Automaatio	Tarkoittaa itsetoimivaa laitetta tai järjestelmää.
Bitti	Datan pienin mittayksikkö ja yksi binäärinen luku, jonka arvo on 1 tai 0.
Bolometri	Laite energiasta johtuvan sähkömagneettisen säteilyn mittaamiseen. Laite koostuu absorboivasta elementistä kuten ohuesta metallikerroksesta, joka on yhdistetty lämpönieluun (tasaisen lämpötilan osa) lämpösiteen kautta. Bolometri on erittäin tarkka lämpömittari ja sitä käytetään mitattaessa jatkuvaa radiospektriä, sen voimakkuutta tietyllä aallonpituudella tai paremminkin tietyssä hieman leveämmässä taajuuskaistassa.
Emissiivisyyskerroin	Kerroin, jolla ilmoitetaan kohteen emissiivisyys. Emissiokertoimesta käytetään symbolia ϵ (epsilon).
Germanium	Alkuaine (Ge), jonka järjestysluku on 32. Germanium on kova hopeanvalkoinen puolimetalli, joka on kemiallisesti tinan kaltainen. Se on tärkeä puolijohdemateriaali transistoreissa ja sopiva infrapunasovelluksissa kuten infrapunaspektroskoopeissa ja muissa äärimmäisen herkkiä infrapunadetektoreita tarvitsevilla optisilla laitteilla.
Histogrammi	Pylväsdiagrammi on suorakulmionmuotoisista pinnoista koostuva graafinen esitys tilastollisesta jakaumasta, joka esittää tarkasteltavan muuttujan arvojen jakautumisen jonkin valitun luokkajaon mukaisesti.
Integraattori	Elektroninen kytkentä, joka suorittaa yleensä ajan suhteen integrointioperaation signaalille.
Isotermit(t)	Toinen nimitys lämpötilan samanarvokäyrille, jotka yhdistävät sekä luonnossa että kartalla paikkoja, joiden lämpötila on sama. Isotermit eivät ole leveyspiirien suuntaisia, sillä tuulet ja merivirrat viilentävät tai lämmittävät alueita eri määrin.
Kalibrointi	Eri mittalaitteiden tahdistamista.
Objektiivijä	Linssi tai linssiyhdistelmä, joka muodostaa optisen kuvan kohteesta ja näin toimien kuvanmuodostajana erilaisissa optisissa kojeissa, joita ovat kamerat projektorit sekä okulaarin avulla kiikarit, kaukoputket ja mikroskoopit.
OLE	Object Linking and Embedding on Microsoftin kehittämä teknologia, joka mahdollistaa upotuksen ja linkittämisen dokumentteihin ja muihin objekteihin.
T&K	Tutkimus & Kehitys eli tuotekehitys (R&D=Research and Development) on toiminta tai prosessi, jolla pyritään saamaan uusia tuotteita tai parannuksia nykyisiin tuotteisiin tutkimustulosten ja kokemusten kautta saatua tietoa käyttämällä.
Vidicon	Vidicon tulee sanoista vid(eo) ja icon(oscope). Vidicon-putki on videokameraputki.

1. JOHDANTO

Valitsin opinnäytetyön aiheeksi lämpökameran kehitys ja käyttö, koska lämpökamera herätti minussa uteliaisuutta ja kiinnostusta siitä, miten muun muassa se toimii ja mihin kaikkiin tehtäviin kameraa käytetään. Joten halusin tutkia asiaa tarkemmin.

Aluksi kerron hieman lämpökameran historiasta lyhyesti, mistä se on saanut alkunsa, lämpökameran taustasta eli mistä laitteen tekniikka on peräisin ja miten se on tullut nykyaikana siviilikäyttöön. Seuraavaksi kerron itse lämpökamerasta ja sen päätyypeistä, ja kameran toiminnasta sekä toiminnan kannalta tärkeästä lämpösäteilystä sekä sen merkityksestä. Lisäksi mainitsen muutaman ohjelman ja ohjelmiston sekä niiden merkityksen, ja miksi ne ovat mainittuina tässä opinnäytetyössä. Lopuksi kerron vain muutaman käyttömahdollisuuden useista, sillä tähän opinnäytetyöhön mahtuu vain murto-osa kaikista mahdollisista käyttömahdollisuuksista, ja aiheesta tulisi muuten liian laaja.

Lämpökameran käyttömahdollisuuksista keskityn lähinnä muutamaan pelastustehtävään ja eläimiin liittyen tutkimus- ja hoitokäyttöön, joista kerron vain muutaman, koska tarkemmin ja/tai kaikki mahdollisuudet jo näistä aiheista tulisi tietoa vaikka kuinka paljon. Lisäksi kerron hieman rakennus- ja huoltotöihin sekä laadun valvontaan liittyen, jotka ovat ehkä tunnetuimmat käyttökohteet lämpökameran käytölle.

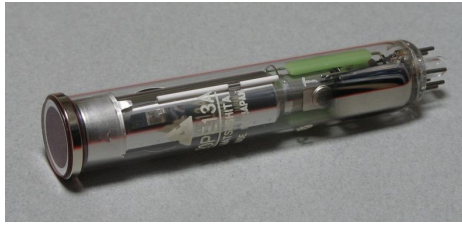
2. LÄMPÖKAMERA

2.1 HISTORIA

Vuonna 1840 niin sanottu ensimmäinen lämpökuva mahdollistui. 1840-luvulla John Herschel valmisti ensimmäisen infrapunakuvaan käyttäen evaporografiaksi kutsuttua menetelmää, missä näkyvä kuva valmistui haihduttamalla alkoholia hiilipäälysteiseltä pinnalta, jolloin syntyi ensimmäinen lämpökuva. 1900-luvun alussa keksijät patentoivat erilaisia infrapunatekniikkaa hyödyntäviä mittausvälineitä laivojen ja ihmisten sekä muiden kohteiden havaitsemistarkoitukseen. Vuonna 1929 Czerny tarjosi parannetun kuvanvalmistustavan. [13] [11]

Ensimmäinen lämpökuvaava laite Evaporagraph tuli noin 1930, joka oli melko tehoton ei-skannaava järjestelmä, koska se ei täyttänyt suurimpia lämpökuvauksen tehtäviä eli luontaisen kontrastin, herkkyyden ja vastausajan rajoituksia. 1940-luvulla oli kaksi ilmeistä vaihtoehtoista lähestymistapaa lämpökuvaukselle, jotka olivat kehittää diskreettianturi, mekaanisesti skannaavat analogiset televisiojärjestelmät ja toinen oli kehittää infrapunavidicon tai jokin muu ei-mekaanisesti skannaava laite. Ensimmäinen lähestymistapa on ollut erittäin menestykäs, mutta jälkimmäinen on ollut vain vaatimattomasti menestynyt. [1]

Vidicon tulee sanoista vid(eo) ja icon(oscope). Vidicon-putki on videokameraputki, jossa kohde materiaali on kuvajohtavaa ja missä kuva on keskitetty ohuelle, läpinkyvälle metallifilmille tuettuna kerros kuvajohtavaa materiaalilla, joka on skannattu matalanopeudella elektronisäteellä. Kuvassa 1 näkyy yksi tällainen vidicon-putki, jonka halkaisija on 2/3 tuumaa eli noin 1,7 cm. [2]



Kuva 1. Vidiconputki. Tämän putken koko halkaisijaltaan on 2/3 tuumaa eli noin 1,7 cm.

Alkuperäiset skannaavat lämpökuvaajat olivat termografeja, jotka olivat yksinkertainen anturiosa, kaksiulotteinen, hitaat muodostavat skannerit, jotka tallensivat kuvat valokuvafilmille, mutta eivät olleet reaaliaikaisia laitteita. 1952 Yhdysvaltain armeija rakensi ensimmäisen termografin käyttäen 16 tuumaista valonheittäjän peiliä, kaksoisakselistaa skanneria ja bolometrianturia. 1956–1960 aikana tuli armeijan tukemat sotatermografien nopea kehitys, jotka ovat sen jälkeen tulleet melkein yksinomaan siviilikäyttöön. Tämä johtuu taas siitä, että 1950-luvun puolivälissä salailu alkoi väistyä ja vuonna 1958 AGA Infrared AB aloitti lämpökameroiden sarjavalmistuksen. Lämpökameroiden sarjatuotannon alusta lähtien infrapunasäteilyä on hyödynnetty siviili- ja teollisuuskäytössä. [1] [13]

Lämpökameralla on siis takanaan sotilaallinen tausta. Ensimmäisen maailmansodan aikana osapuolet aloittivat salaisia tutkimusprojekteja vihollisen havaitsemiseksi lämpökuvaustekniikan avulla ja toisen maailmansodan aikana tekniikan kehittyessä infrapunasäteilyn tutkimus- ja kehitystyö rajoitettiin vain sotilaallisiin tarkoituksiin, mistä lähtien sotateollisuuden mielenkiinnon kohteena on ollut nähdä pimeässä. Lämpökuvauksessa laitteet tuottivat aluksi lähes pelkästään kuvaa kohteen lämpötilasta ilman mittaustietoa eli kyseessä olivat ei-mittaavat laitteet. Tällainen kamera antoi mustavalkokuvaa, jossa kuummempat kohteet erottuivat vaaleampina ja kylmemmät tummempina. Lisäksi ensimmäiset

lämpökamerat olivat suuria ja kalliita sekä ne käyttivät nestemäistä tyypeä kuvailmaisimen jäädyttämiseen. Kuva taas muodostettiin skannaamalla juova kerrallaan. Lämpökameraa käytetään nykyisin myös yhä enemmän rauhanomaisempaan käyttöön. [6] [7] [13]

Vuosina 1958–1995 lämpökameroissa käytettiin skanneritekniikkaa eli pyyhkäisytekniikkaa, missä kuva-alueen kuvapisteen lähettämä infrapunasäteily mitataan yhden ilmaisimen eli detektorin avulla, jolloin kuvattava alue käydään läpi piste pisteeltä. Skanneritekniikkaa käyttäviä lämpökameroita valmistettiin lähinnä sotateknologian tarpeisiin. Merkittävä heikkous skanneritekniikkaa käyttävissä lämpökameroissa oli niiden jäädytystarve, koska kameroiden ilmaisimet toimivat vain tietyssä lämpötilassa. 1990-luvun alussa ensimmäinen kannettava vakaa ilmaisinmatriisikamera kehitettiin, mikä tosin vaati myös edelleen jäädytystä. Tekniikan kehittyessä siirryttiin skanneritekniikalla toimivista lämpökameroista matriisi-ilmaisintekniikalla toimiviin kameroihin, jotka yleistyivät sittemmin. Nykyään matriisi-ilmaisimet ovat pääosin jäädyttämättömiä ja samalla myös on parantunut niiden kyky tasapainottua sekä lisäksi niiden koko ja paino ovat pienentyneet. [11]

Rakennusten ongelmien ratkaisussa lämpökuvasta on käytetty jo 1960-luvun puolivälissä. Öljyn hinnan noustessa 1970-luvun lopulla lisääntyi kiinnostus energiatehokkaampiin rakenneratkaisuihin, jolloin lämpökuvauksen omaksuttiin laajasti työkaluna. Tällöin rakennuksen energiatehokkuutta voitiin määrittellä energiansäästökiinnostuksen lisääntyessä. [11]

2.2 LÄMPÖKAMERAN TOIMINTA

Lämpökameran osia ovat akku, objektiivi, infrapunaosoitin sekä (LCD-)näyttö ja ohjausnäppäimet. Ulkoisesti tavallista (digi)videokameraa muistuttava lämpökamera eroaa erikoislinssistä eli objektiivistä ja lämpökuvaa näyttävästä näyttöruudusta. Objektiivien linssit on valmistettu herkästi vaurioituvasta materiaalista, (useimmiten germaniumista,) joten niistä pitää hyvää huolta käyttäen linssisuojausta ja huoltaa ohjekirjan ohjeiden mukaan sekä olla varovainen kameran käytön kanssa. [11] [13]

Lämpökamera on videokamera, joka toimii lämpösäteilyn vastaanottimena, ja eikä se tarvitse valoa toimiakseen. Sillä voidaan tallentaa lämpökuvaukset sekä video että tavallista (digi)kuvaa muistikortille tai kameran sisäiseen muistiin. Sillä mitataan kuvauskohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyä ja se tapahtuu siten, että lämpökameran sisällä oleva ilmaisimien muuttuu kohteen lämpösäteilyn voimakkuuden numeroarvoiksi ja lämpötilatiedoksi, mistä muodostuu reaaliajassa digitaalinen lämpökuvaukset. Kameran prosessorille siis luetaan ilmaisimien matriisin kaikkien vastuselementtien arvot ja jotka sitten tallennetaan muistikortille. Lämpökamera on siis laite, joka muodostaa katsottavasta kohteesta lähtevän lämpösäteilyn perusteella näkyvän kuvan ja kuva laitteen näytöllä perustuu katsottavan kohteen pieniin lämpötilaeroihin. Eri materiaalit, jotka sitovat, heijastavat ja läpäisevät lämpösäteilyä eri tavoin, vaikuttavat lämpökameran näkymään. Lisäksi kameran infrapunankuvaukseen vaikuttava asia on, että jokainen mitattu piste vastaa tiettyä kuvausetaisyyttä ja siitä riippuvaa aluetta kohteesta. Siksi lämpökameran eroteltavuus heikkenee, kun etäisyyden kasvaessa kuvattavaan kohteeseen ja yhtä mittauspistettä vastaavan alueen kasvaessa. [3] [4] [6] [8] [13]

Aikaisemmissa lämpökameroissa, jotka oli varustettu jäähdytetyillä ilmaisimilla, ilmaisimien jouduttiin jäähdyttämään melkein - 200 °C:seen. Tämä toteutettiin

käyttämällä nestemäistä typpeä tai heliumkiertopumppua. Yhdellä ilmaisimella varustetuissa vanhoissa lämpökameroissa käytettiin mekaanista peileillä toteutettua juovaskanneria, joka skannasi mitattavaa kohdetta pysty- ja vaakasuunnassa, mutta nykyään ilmaisin koostuu vanadiumoksidikennosta, jonka elementin vastusarvo riippuu siihen osuvan lämpösäteilyn määrästä. Laitteen mittaustarkkuus on noin ± 0.02 °C. 1980-luvulla alkanut jäähdyttämättömän kuvailmaisimen kehittäminen on johtanut siihen, että myynnissä olevista lämpökameroista suurin osa perustuu nykyisin jäähdyttämättömään vastusmatriisiin eli mikrobolometriin. Tämän lisäksi hinnat ovat alentuneet kymmenistä tuhansista euroista muutamaan tuhanteen euroon eli lähemmäksi kuluttajaystävällisemmälle tasolle. Lämpökameran sisäistä rakennetta nähdään kuvassa 2, jossa on näkyvillä muun muassa piirilevy ja objektiivi. [6] [8]



Kuva 2. Lämpökameran sisäinen rakenne.

Lämpökameran toiminta perustuu infrapuna-alueella olevan säteilyn mittaamiseen, mikä tapahtuu valmiiksi spesifoidulla mittaускаistalla, joka on joko lyhyt- tai pitkäaaltoista infrapunakaistaa, ja noin -40 °C ja $+1500$ °C välisellä lämpötila-alueella. Lämpökameroiden yleisimmät käyttämät infrapunakaistat ovat aallonpituusalueella $2-5$ μm ja $8-14$ μm , mikä selittyy sillä, että tällä aallonpituudella ilmakehän aiheuttama vaimentuma on

pienimmillään. Kuvassa 3 on lämpökamera, jonka näytöltä näkyy infrapunänäkymä. [3] [4] [6]



Kuva 3. FLIR P660 lämpökamera. Kameran infrapunänäkymä näytöllä.

Vaikka joissakin videokameroissa on pimeäkuvausmahdollisuus eli infrapunakuvaus, ei niitä voida käyttää lämpökuvaukseen lämpökameran tavoin. Tämä johtuu siitä, että niissä kameroissa ilmaistaan hädintuskin silmälle näkymätöntä valon osaa, joka saadaan näkymään IR-LED-eillä eikä itse kappaleen lähettämää varsinaista lämpösäteilyä. Tätä kyseistä aluetta käytetään muun muassa television kaukosäätimissä, tietokoneiden ja matkapuhelinten langattomassa tiedonsiirrossa ja joissakin langattomissa kuulokkeissa.[3]

Lämpökameroissa on kahta päätyyppiä. Näitä ovat mittaavat ja ei-mittaavat, joille kummallakin on omat erikoistehtävänsä eri sovellusalueisiin. Mittaavien lämpökameroiden sovellusalueeseen kuuluu muun muassa kiinteistöjen kuntotarkastukset ja lämpövuotojen etsinnät, teollisuuden prosessien seurannat ja ennakoivat kunnossapidot, lämpöprosessien tutkimukset sekä erilaisten vikojen paikantaminen, joita ovat esimerkiksi lämpökorreloivat viat, sähköviat, kaasuvuodot ja tukkeutuneet putket. Tällaisissa mittaavissa kameroissa lämpötilaerot ilmaistaan eri värein ja pienetkin erot näkyvät voimakkaina värieroina. Ei-mittaavien lämpökameroiden sovellusalueeseen kuuluu lähinnä käyttö etsintä- ja valvontalaitteina sekä uudeksi sovellukseksi on tullut käyttö

ajoneuvojen pimeänäkölaitteina, joilla voidaan erottaa pimeässä eläimet ja ihmiset ajovalojen kantaman ulkopuolelta. [3] [7]

Lämpökameran mittaustulosten tarkkuuden varmistamiseksi määritellään kuvauskohteen emissiivisyys, joka on säteilyn määrä verrattuna mustan kappaleen säteilyyn ja ympäröivä taustasäteily eli taustan lämpötila. Pintalämpötilan lisäksi emissiivisyys vaikuttaa kappaleen lähettämään lämpösäteilyn voimakkuuteen, jota kuvataan emissiivisyyskerroimen arvolla 0-1. Emissiokerroimesta käytetään symbolia ϵ (epsilon). Mustalla kappaleella arvo on yksi ja se säteilee lämpöä kaikkein voimakkaimmin ja absorboi kaiken siihen osuvan lämpösäteilyn. Mutta vastaavasti ei kuumakaan kappale juuri säteile lämpöä, jos emissiivisyyskerroin on hyvin pieni, kuten esimerkiksi kiiltävillä metallipinnoilla.

Lämpökameran yleisimpiä mittausominaisuuksia ovat määritellyn pisteen ja/tai alueen lämpötilamittaus. Mittaukseen kuuluu minimi-, maksimi- tai keskiarvo, isotermi eli lämpötilan osa-alue sekä vaaka- tai pystysuora profiili eli lämpötilakuvaaja yksittäisestä viivasta. Kuvan laatua parantaa se, että lämpökameroissa on kaksi eri mittausaluetta, joilla on omat eri herkkyytensä. Näytön kalibrointi mittausalueen lämpötilaan tapahtuu bolometri-kameroissa noin 1–2 kertaa minuutissa kestäen noin sekunnin, mikä näkyy näytöllä näytön pysähtymisenä tai nytkähdyksenä. Mitattava pintalämpötila saadaan, kun kohdistetaan lämpökameran näytön keskipisteen osoitin mitattavaan kohteeseen ja kameran näytössä näkyy lämpötila numeraalisena ja/tai palkkiasteikolla. Kameroiden värinäyttöjärjestelmissä kuumat kohteet näkyvät eri väreinä lämpötilojensa mukaan, mutta kylmät kohteet näkyvät sen sijaan mustavalkoisena. [5] [8] [10]

Lämpökameroissa muuttuvat tekniset ominaisuudet, jotka riippuvat kameramallista, ovat kuvan tuottamis-, esitys-, mittaus- ja tallennusominaisuudet sekä optiikkavaihtoehdot, laserosoittimen tyyppi, virtalähde, sallitut käyttö/varastointiolosuhteet, fyysiset mitat ja liitännävalmiudet. Kuvien esitystekniikan erot ovat vähäiset, sillä ne ovat näyttöjen tai etsimien koko ja tarkkuus sekä video ulostulojen tyyppi. Tallennus tapahtuu joko sisäiselle muistille ja/tai muistikortille, joissa sisäisen muistin tallennuskapasiteetti vaihtelee noin 50-300 kuvaan ja muistikortillisissa kuvamäärää rajoittaa vain kortin koko. [13]

Uudet lämpökamerat ovat työmaakelpoisia, koska ne ovat tarpeeksi pieniä, akkukäyttöisiä ja niillä voidaan tallettaa kymmenistä satoihin kuvaa, joita voidaan heti kuvaustilanteessa katsella kameran lcd-näytöltä. Joissakin lämpökameroissa on mahdollista vaihtaa objektiiveja ja esimerkiksi kuva-alaa saadaan suuremmaksi käyttämällä laajakulmaobjektiivia, mikä mahdollistaa työskentelemisen ahtaissa olosuhteissa. Lisäksi ahtaisiin työskentelyoloihin on suunniteltu lisävarusteeksi irrotettava lisänäyttö, joka mahdollistaa kameran käsittelyä ahtaissa tai hankalissa paikoissa ja samalla voi nähdä hyvin kuvattavan kohteen lisänäytöltä. [13]

2.3 OHJELMAT/OHJELMISTOT

Oli käyttömahdollisuus mikä hyvänsä, ovat tarpeen erilaiset ohjelmat, joilla voidaan lämpökuvaa muokata eri tavoin kuten tarkentaa ja parantaa kuvan laatua ja saaden tarkempaa tietoa kuvasta. Ohjelmat/ohjelmistot kuuluvatkin osana lämpökameran toiminnan kannalta tärkeänä varusteena. Lämpökuvauksen ohjelmisto voidaan luokitella seuraaviin ryhmiin: kohteiden määrällinen lämpömittaukset, yksityiskohtaiset käsittely- ja kuvadiagnostiikka, kuvien

tallennus, varastointi ja hyödyntäminen, kuvavertailu sekä arkistoinnin ja tietokannan kehittäminen ja raportin valmistelu. [18]

Useimmat ohjelmistot tarjoavat lämpökameroiden kuva-analyysiin ja diagnostiikkaan useita vakio-ominaisuuksia, joita ovat paikan lämpötilalukema, useiden X ja Y analogiset jäljet, yksivärisen ja useiden väriskaalojen valinta, kuvan siirto, kierto ja suurennus, alue analyysi histogramminäytöllä, kuvan tasoittaminen ja suodatus sekä pysyvä levyn varastointi ja haku. [18]

Ammattilaislämpökuvaaajalle historiallisen tietokannan ylläpito on erittäin tärkeää ja lämpökameran ohjelmisto mahdollistaa tämän tehdä järjestelmällisesti. Historialliset tiedot sisältävät tallennetuissa kuvissa (aika, päivämäärä, sijainti, ympäristöolosuhteet, etäisyys kohteeseen, emissiviteettiasetus, skannerin sarjanumero ja muita tallennettuja kommentteja) toimivat tärkeinä palautteena ja sitä seuraavien varmuuskopiointina kirjalliseen raportointiin. [18]

Työssä tutustuttiin esimerkkinä seuraaviin ohjelmistoihin ja luvussa esitellään niiden tärkeimpiä ominaisuuksia.

ThermoVision™ LabView Digital Toolkit Ver. 3.1

ThermaCAM™ Researcher™

ThermoVision™ SDK 2.5

ThermaCAM™ QuickView Version 1.3

THERMOVISION™ LABVIEWDIGITAL TOOLKIT VER. 3.1

Ensimmäisenä on ThermoVision™ LabView Digital Toolkit Ver. 3.1, joka on työkalu kuvatietojen hallintaan, käyttöön ja käsittelyyn. Toolkit on tarkoitettu LabView -ohjelmoijille sekä loppukäyttäjille tai järjestelmäintegraattoreille, jotka haluavat rakentaa oman järjestelmän hyödyntäen lämpökameroita T&K:lle, automaatiolle tai tietoturvasovellukselle. Toolkitin luvataan nopeuttavan minkä tahansa sovelluksen ohjelmointia FLIR Systems lämpökameroiden kanssa ja sallia täysin mahdollisuuksien hyödyntämistä, joita nykyaikainen lämpökamera -teknologia tarjoaa. Digital Toolkit on 29 esimerkin ja 66 VI:n (virtual Instruments=virtuaali-instrumentit) setti, joista 36 ovat yleisiä ja 30 liittyvät kameroiden tukemiseen hälytys-, mittaus- ja I/O-toiminnassa.

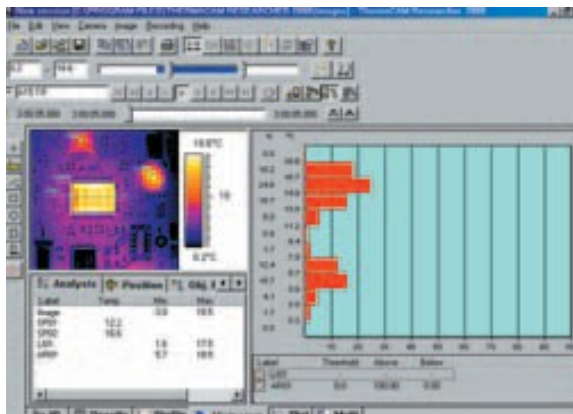
Ohjelmistolla voi myös luoda oikeita lämpötilakuvia LabViewin kautta saaduista kuvista, mikä tarkoittaa sitä, että voi käyttää LabView® IR Measurementiä (InfraRed Measurements=lämpömittaukset) ja näyttää työkalut analysoimaan kuvattujen kohteiden lämpötilaa. LabView Digital Toolkitilla voi asettaa tiedonvälitysyhteyden LabView VI:n ja FLIR Systems lämpökameroiden välille, tallettaa ja kerätä kuvia mm. FireWiren ja Ethernetin kautta, säätää kameran määrittämissä parametreja ja tarkentaa samalla kun katselee live-kuvaa, kontrolloida kameran kalibrointia, lähettää muita kamerakomentoja kameralle, luoda oikeita lämpökuvia 16-bittisestä kuvasta (FireWiren tai kuvankaappauksen kautta) sekä sulkea yhteydet lämpökameraan. [15]

THERMACAM™ RESEARCHER™

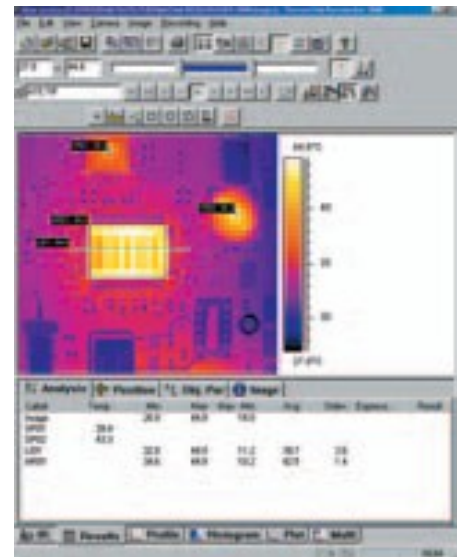
Seuraavaksi on ThermaCAM™ Researcher™, joka on kehitetty tieteelliseen ympäristöön käytettäväksi, missä yksityiskohtaista dynaamista lämpöanalyysin tapahtumaa vaaditaan. ThermaCAM Researcher on Windows® -pohjainen ja erittäin monipuolinen, se lisää uuden tehotason ja joustavuutta lämpökuvaukseen tarjoamalla laajan analysointikyvyn sekä myöskin nopeaa

tiedonhankintaa. ThermaCAM™ Researcher™ on suunnattu ammattilaisille tuotekehitystyössä, tutkijoille ja kaikille muille infrapunakäyttäjille, jotka haluavat yksityiskohtaista staattista tai reaaliaikaista lämpöprosesseiden analyysia.

ThermaCAM Researcherillä tutkija voi saumattomasti tallentaa, noutaa ja analysoi lämpökuvat ja -tiedot suoraan lämpökamerastasi sallien perusteellisen ja tarkan lämpösuorituskyvyn arvioinnin. ThermaCAM Researcher tarjoaa tehokkaan sisäänrakennetun mittaus- ja analyysitoiminnot nopeaan ja laajaan lämpötilan analyysit mukaanlukien mm. isotermit- ja pistemittaukset, linjaprofiilit, alue histogrammit ja kuvan vähennyskyvyn. Kaikki mittaustyökalut mahdollistavat itsenäisen emissiivisyys- ja etäisyysasetukset. Joustava näytön taitto, automaattiset säädöt mahdollisimman parhaan kuvan saamiseksi, käyttäjän määrittämiä tallennusolosuhteet, sarjaeditointi, muokattavat mittaustyökalugrafiikka, kattava lopputulosten taulukot ja OLE-tekniikka tarjoaa verratonta joustavuutta ja voimaa kompaktissa ja siirrettävässä paketissa. Kuvissa 4 ja 5 näkyy histogrammi-ikkuna ja mittaustyökalu, jolla voi tehdä lämpöanalyysin. [16]



Kuva 4. Näkymä Histogrammikaaviosta. Se näyttää lämpötilan suhteellisen jakautumisen käyttäjän määrittelemän alueen sisällä.



Kuva 5. ThermaCAM Researcherin mittaustyökalut. Nämä mahdollistavat laajan lämpöanalyysin.

THERMOVISION™ SDK 2.5

Kolmantena on ThermoVision™ SDK 2.5, joka on työkalu kuvatietojen hallintaan, käyttöön ja käsittelyyn. SDK:n avulla nopeutetaan minkä tahansa sovelluksen ohjelmointia FLIR Systems lämpökameroiden kanssa ja sallia täysin mahdollisuuksien hyödyntämistä, joita nykyaikainen lämpökamera-teknologia tarjoaa. Todellinen lämpötilan analyysi ThermoVision SDK on menetelmien ja tapahtumien setti käsittelemään tiedonvälitystä FLIR Systems lämpökameroiden digitaalillassa. SDK on tarkoitettu Windows Visual Basic/C++-ohjelmoijille sekä loppukäyttäjälle tai järjestelmäintegraattorille, joka haluaa rakentaa oman järjestelmän hyödyntäen lämpökameroita T&K:lle, automaatiolle tai tietoturvasovellukselle.

ThermoVision SDK voi asettaa tiedonvälitysyhteyden sinun sovelluksesi ja Flir Systemsin lämpökameran välille, tallettaa ja kerää kuvia FireWiren ja Ethernetin kautta, säätää kameran määrittämissä parametreissa ja tarkentaa samalla kun katselee live-kuvaa, kontrolloida kameran kalibrointia, lähettää muita kamerakomentoja kameralle, luoda oikeita lämpökuvia 16-bittisestä kuvasta (kuvankaappauksesta tai käyttämällä FireWiren liittimestä) sekä uutena toimintona SDK 2.5:ssä sulkea yhteydet lämpökameraan. Lisäksi SDK:ssa on emissiivisyyden korjauskartoitus absoluuttiselle lämpökuville, joka on kaikille kameratyypeille ja emissiivisyyden takaisin laskenta annetusta kuvan koordinaatista. SDK tukee sarja-arkistointia ja sisäänrakennettu tuki kameran tuottamille radiometristen JPEG-kuvien pikakuvien lukua sekä käyttäjän asetustiedoston tallentamista tai palauttamista (sekä lisäksi SDK:ssa on MATLAB® tuki). Kuvien alentunut otanta säästää levytilaa ja SDK:ssa ominaisuuksia kuten ominaisuus palauttaa luettelon käytettävissä olevista kuvataajuuksista ja ominaisuus sallii kuvan lähteen, joko kameran tai tiedoston, olla parametrien kohteen ja skaalauksen isäntä (master).

[17]

THERMACAM™ QUICKVIEW VERSION 1.3

Viimeisenä on ThermaCAM™ QuickView Version 1.3, joka on hyvä esimerkki kameran (FLIR SYSTEMS InfraCAM™) mukana tulevasta ohjelmasta. ThermaCAM™ QuickView on tehokas ja silti helppokäyttöinen ohjelma kuvien lataamiseen lämpökamerasta kannettavalle tai PC:lle ja lämpökameralla kuvien ottamiseen etäisesti. Tätä ohjelmaa voisi pitää yksinkertaisena raporttigeneraattorina infrapunankäytön tarkastuksena työnteossa, joka alkaa lämpökuvien ottamisella. Sitä voidaan pitää myös liitoskohtana lämpökuvien ja edistyneinä infrapunaraporttien välillä, kuten luodut raportit ThermaCAM Reporter 7.0:lla. QuickView:n ominaisuuksiin kuuluu mm. kuvien siirtäminen ja kopioiminen kameran ja tietokoneen välillä, kuvakansioiden katselu kameralla tai tietokoneella, voidaan lukea lämpökuvista tiedostojen nimet, luomispäivät, kameran sarjanumero ja kameran tyyppi, jakaa kuvia ohjelmiston sisäisesti sekä raporttien luonti itsenäisen PDF -tiedostoformaatin Adobe® Acrobatilla.

[19]

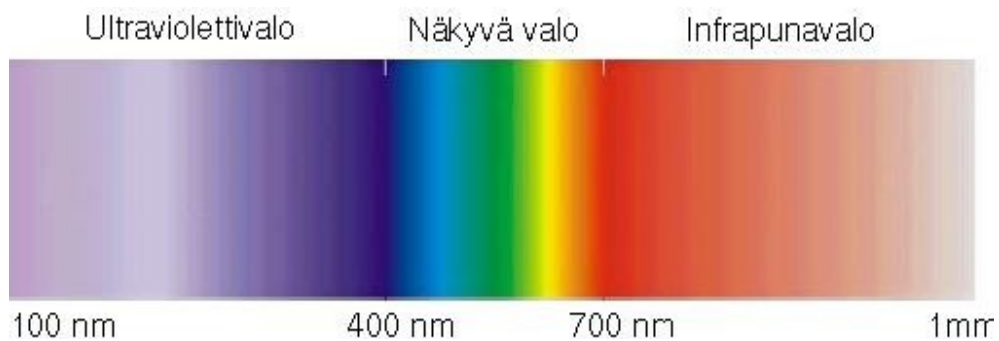
Erilaisia lämpökuvien analysointiin tarkoitettuja ohjelmia/ohjelmistoja voi saada lämpökameroiden mukana tai ladata netistä. Netistä ladattavat ohjelmistot voi olla ilmaisia tai ainakin noin 30 päivän ilmaisia kokeiluja tai ilmaisia demoja, mutta myös maksullisia (täysversioita) löytyy. Muutamiin ohjelmistoihin saa netistä ilmaisia päivityksiä, mikä kuitenkin edellyttää yleensä, että lataajalla on lämpökamera ja siihen sopiva ohjelmisto, jota päivittää.

2.4 LÄMPÖSÄTEILY

Seuraavaksi kerron hieman perustietoa lämpösäteilystä, joka on erittäin keskeistä lämpökameran toimivuudelle.

Lämpösäteily on näkymätöntä ja keksittiin 1800-luvun alussa, jolloin saksalais-englantilainen William Herschel (1738-1822) valospektritutkimuksissaan mittasi lämpömittarilla auringonvalon spektrin eri värien lämpötiloja. Kylmintä oli spektrin sinisessä päässä ja lämpimintä punaisella alueella, kun Herschel siirsi lämpömittaria punaisen alueen ulkopuolelle, lämpötila alkoi nopeasti kohota, ja näin silmin näkymätön infrapunasäteily oli havaittu tieteellisesti. [7] [13] [11]

Lämpösäteily on toinen nimitys infrapunasäteilystä, joka on sähkömagneettista säteilyä, ja joka on näkyvää valoa pitkäaaltoisempaa. Lämpösäteilyn aallonpituus on ihmiselle näkyvän valon, eli $0,35\ \mu\text{m}$ – $0,7\ \mu\text{m}$, aallonpituuden yläpuolella eli $0,7\ \mu\text{m}$ – $1000\ \mu\text{m}$ (1 mm). Kuvassa 6 näkyvät valojen aallonpituudet. Lämpösäteily etenee suoraviivaisesti ja voi joko absorboitua eli sitoutua tai heijastua pinnoista ja läpäistä joitakin aineita. Tällaisista hyvänä esimerkkinä on vesi, joka vaimentaa voimakkaasti lämpösäteilyä ja muutaman millimetrin vesikerros absorboi käytännössä kaiken lämpösäteilyn.



Kuva 6. Infrapuna-alue sähkömagneettisessa spektrissä.

Jokainen kappale, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen eli $+ 0$ Kelviniä eli $- 273,15\ ^\circ\text{C}$, säteilee lämpöä. Muun sähkömagneettisen säteilyn tavoin lämpösäteily liikkuu valon nopeudella. Lämpösäteily johtuu lämpöliikkeestä eli atomien ja molekyylien värähtelystä kappaleessa, ja syy tähän on kappaleiden tarpeesta päästä eroon energiastaan. Kaikki kappaleet

myös heijastavat muista lähteistä tulevaa säteilyä lukuunottamatta täydellistä mustakappaletta, joka on täydellinen säteilijä. Se kuinka suuri osa kappaleesta tulevasta säteilystä on sen itsensä lähettämää eli emittoivaa, määrittyy kappaleen pintamateriaalirakenteesta. [3] [4] [8]

Lämpökameralla pyritään myös katsomaan lämmön johtumista, joka tapahtuu lämpöenergian siirtyessä eteenpäin aineen rakenneosien välisissä törmäyksissä eli aineen atomit törmäilevät toisiinsa. Tällaisesta hyvä esimerkki on, jos voidaan havaita lämpökameralla lattialämmityskaapeli, on silloin siinä tapahtunut ensin lämmön johtuminen kaapelista ympäröivään materiaaliin ja sitten ympäröivä materiaali säteilee lämpöä ilmaan, jolloin kaapelin sijainti havaitaan kameralla. [12]

Ulkoa päin huoneistoon sisälle ei lämpökameralla pysty näkemään, sillä lämpösäteet eivät läpäise seinärakenteita, lasia ja vettä sekä eristäviä materiaaleja. Lämpökameralla ei myöskään näe esimerkiksi ikkunan läpi, koska peili(t), lasi(t) ja muut kiiltävät pinnat heijastavat lämpösäteilyä, ja täten heijastaen itse lämpökameran käyttäjän tai jokin muu voimakkaasti lämpöä säteilevän kappaleen. Kappaleen lähettämä lämpösäteily voi koostua itse kappaleen säteilemästä lämmöstä, kappaleen heijastamaa lämpösäteilyä toisesta kappaleesta ja kappaleen läpäisemästä lämpösäteilystä. Kuumalta näyttävä kylmä kappale heijastaa tai läpäisee muualta tulevan lämpösäteilyn ja vastaavanlaisesti pienellä emissiivisyyskertoimella oleva kuuma kappale ei välttämättä näytä kuumalta. Näistä ovat hyvinä esimerkkeinä kuuma ja täysin puhdas kiiltävä metallipinta sekä puhdas kaasua ja ilma, jotka eivät säteile lämpöä. Kuumat savukaasut ovat harvoin puhtaita, sillä ne sisältävät yleensä pieniä kiinteitä hiukkasia ja ovat näin nähtävissä lämpökameralla. [8]

3. KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

Lämpökameralla on nykyään yhä enemmän ja enemmän käyttömahdollisuuksia, mutta kerron muutaman niistä tärkeimpiin kuuluviin. Idea on periaatteessa lähes sama kaikissa käyttömahdollisuuksissa niin pelastustehtävissä ja poliisioperaatioissa kuin eläinten tutkimisessa ja hoitamisessa, eli mitataan ja analysoidaan lämpökameran kuvaa lämmön säteilevistä kohteista. Lämpökameroita käytetään nykyisin niin palo- ja pelastustoimessa rakennusten sortumissa ja tulipaloissa sekä rajavalvonnan apuna että myös eksyneiden etsintään. [6]

3.1 VIRANOMAISOPERAATIOT

Lämpökameran käyttö juuri erilaisissa viranomaisoperaatioissa on hyvin tärkeää, sillä lämpökameralla voidaan pelastaa ihmishenkiä, etsiä kadonneita ja jahdata rikollisia tai rikoksesta epäiltyjä sekä parantaa turvallisuutta muun muassa rajoilla. Tällaisiin tarkoituksiin suunniteltujen lämpökameroiden sovelluksissa keskeisenä vaatimuksena on esittää kohteen kuva parhaalla mahdollisella alueellisella ja lämpö resoluutiolla, suurimmalla mahdollisella etäisyydellä kohteesta ja epäsuotuisimmissa olosuhteissa kuten pimeässä ja huonossa säässä. [18]

3.1.1 PELASTUSTEHTÄVÄT

Yksi merkittävimmistä käyttömahdollisuuksista, johon lämpökameraa käytetään, ovat erilaiset pelastustehtävät. Se mikä tekee tärkeän ja merkittävän lämpökameran käyttö pelastustehtävissä, on nopeus ja luotettavuus.

Lämpökameran avulla pelastajat löytävät avuntarpeessa olevan henkilön paljon nopeammin kuin perinteisellä tavalla hakemalla paikasta, jossa on pimeää, paljon savua tai esteitä tukkimassa näköyhteyttä. Nopeus on valttia kahdelta kannalta: Ensinnäkin pelastettavan avuntarpeessa olevan henkilön henki on vaakalaudalla ja mitä nopeammin ihminen saa apua, sitä suuremmalla todennäköisyydellä selviytymisen ja hengissä pysymisen mahdollisuus kasvaa. Toinen syy on pelastajan oma henki, joka vaarantuu pelastusoperaation aikana, sillä pelastajat pistävät oman henkensä peliin pelastaessa avuntarpeessa olevia.

Eryteisesti palomiehille lämpökamera on korvaamaton apuväline ihmisten pelastamisessa tai kytevien palopesäkkeiden etsinnässä sekä isoimpien metsäpalojen sammutuksessa, kun voidaan keskittää sammutusvesi suoraan sinne missä palaa, eikä tarvitse lentää sokkona keskelle savupilveä arvailemaan summittaisesti liekkien paikkaa. Rakenteiden sisällä olevien palopesäkkeiden paikallistamisessa lämpökamera auttaa paljon, sillä palopesäke lämmittää aina myös ympäröiviä rakenteita, vaikka rakenteiden sisään ei voisi nähdäkään kameralla. [6] [8]

Pelastustehtävien lämpökameran käyttötarkoituksista ensimmäiseksi esiin tulee tulipalon ja/tai sakean savun valtaamassa tilassa, jossa näkyvyys on joko lähes tai täysin olematon. Tällaisesta tilasta avuntarpeessa olevaa henkilöä on vaikeaa löytää ja etsiminen vie paljon aikaa, mikä vaarantaa pelastettavan ja pelastajan hengen ja vähentää pelastettavan mahdollisuuksia selviytyä. Savusukelluksessa lämpökamera onkin pelastajille hyvä apu tehostamaan sammutus- ja pelastustyötä ja parantamaan savusukeltajien työturvallisuutta sekä palauttamaan näköaistin savusukeltajalle hyvissä olosuhteissa savusukelluksessa. Tämä johtuu siitä, että lämpökameran avulla pelastajat pystyvät hahmottamaan huoneen koon ja kalusteiden sijainnin. Pelastettavien etsintää nopeuttaa se, ettei huonetta tarvitse tunnustella ja tutkia joka paikasta.

Pelkällä lämpökameralla tehty huoneen tarkastus ovelta ei kuitenkaan riitä, sillä täyttä varmuutta kuitenkaan ei ole pelastettavien henkilöiden olemassaolosta, toiseen huoneeseen johtavasta ovesta tai väliseinällä erotellusta huoneesta. Lämpökameralla ei kuitenkaan pystytä havainnoimaan esimerkiksi kalusteiden taakse ja alle, kaappien ja komeroitten sisälle sekä peitteiden alle. [8]

Nykyisissä savusukelluskäyttöön tehdyissä ei-mittaavissa lämpökameroissa lämpötilan erottelukyky on $\pm 0,05$ °C ja virhemarginaali mitatussa pintalämpötilassa on noin ± 10 %. Näissä kameroissa pintalämpötilan osoitin on tarkoitettu karkeaan mittaamiseen ja lämpötilassa tapahtuvien muutosten kuumenemisen tai kylmenemisen havaitsemiseen. [8]

Lämpökameraa voidaan hyödyntää myös muissa pelastuslaitoksen tehtävissä kuten kemikaalionnettomuuksissa, etsintätehtävissä ja vesipelastustehtävissä. [8]

Jos esimerkiksi yksi tai usempi ihmistä ovat purjehtimassa ja joutuvat onnettomuuteen kuten sään tai inhimillisen virheen takia. Onnettomuuden seurauksena vene yhtäkkiä kaatuu tai uppoaa purjehtijat veneen sisällä, jonne he päätyvät muodostuneeseen ilmataskuun. Aika usein purjehtivat pääsevät pelastautumaan pois veneestä, mutta eivät aina ja tässä lämpökamera tulee tarpeeseen. Lämpökameralla voidaan varmistaa, onko ihmisiä avuntarpeessa, ja jos on, heidät voidaan paikallistaa nopeasti lämpökameran antamalla tiedolla. Tämä on erityisen tärkeää, koska ilmataskuissa on vain rajattu määrä hengitysilmaa ja pelastussukeltajien on toimittava nopeasti niin pelastettavan kuin pelastajan kannalta. Korkean resoluution lämpökamerat mahdollistavat etsintä- ja pelastushenkilöstöä paikantamaan ja tunnistamaan hyllyn ja henkilöstön meressä, jopa pitkienkin välimatkojen päähän ja huonoissa sääolosuhteissa sumun ja usvan läpi niin yöllä kuin päivälläkin. [18]

Seuraava pelastustehtävä on lumeen hautautuneen löytäminen lämpökameran avulla, mikä on melko uusi käyttömahdollisuuden kohde. Lumivyöryn alle jääneet on etsitty ja etsitään edelleen yleensä pelastuskoirien avulla, mutta nykyisin voitaisiin käyttää myös lämpökameraa apuna etsinnöissä. Syy tähän on, että lämpökameralla voi löytää lumeen hautautuneen tarkka sijainti niin paikka kuin syvyyskin. Lisäksi pystyttäisiin selvittämään aika, johon mennessä pitää saada hautautunut henkilö pois lumesta ennen kuin kylmyys tekee tehtävänsä ja ihminen kuolee kylmyyteen tai muuten tulee vakavia vaurioita kuten kuolio(i)ta. Kylmä ilma alentaa ihmisen ruumiin lämpötilaa, mikä voi johtaa jäsenten kuolioon tai ainakin paleltumiin. Lämpökameralla mitattua aikaa tarkoitan sillä, että ihmisen ruumiinlämpö ja laskeminen kylmyyden aiheuttamisesta voidaan havaita ja siitä laskea arvioitu aika, joka on lumeen hautautuneella ihmisellä jäljellä ennen kuin ruumin toiminnot ja elimet hyytyvät. Puhdas valkoinen lumi heijastaa lämpösäteilyä, mutta ilmataskuun jäänyt ihminen kuitenkin säteilee lämpöä ja ihminen ja ilmatasku ovatkin hieman lämpimämpiä kuin itse lumi.

3.1.2 POLIISI JA RAJAVALVONTA

Lämpökameraa käytetään kadonneen henkilön löytämiseen metsästä tai vastaavanlaisesta paikasta, josta etsiminen on vaikeaa. Lämpökameraa käytetään tällaisissa tapauksissa ylhäältä helikopterin kanssa. Näin etsijät voivat käydä aluetta läpi melko tarkasti ja nopeasti siinä ajassa, missä useita kymmeniä etsijöitä haravoisi joukolla maasta käsin ja erityisesti pimeään aikaan. Näihin etsintöihin käytetään ei-mittaavia lämpökameroita ja sama koskee myöskin epäillyn jäljittämistä.

Toinen poliisin käyttökohde lämpökameralle on rikoksesta epäiltyä jäljittäminen. Esimerkiksi epäilty ajaa ensiksi pakoon poliisia ja renkaiden puhkaisun jälkeen hän ajaa pois tieltä ja pakenee metsään puiden katveiden tai rakennusten suojaan. Epäilty voi luulla, että hän on turvassa ainakin jonkin aikaa, mutta poliisi pystyy näkemään hänet puiden katveiden läpi lämpökameralla yläilmoista helikopterista käsin ja kykenee jopa arvioimaan epäiltyä mahdollisen suunnan. Tämä auttaa poliisia menemään vastaan ja näin katkaisemaan epäiltyä pakomatkan. Valittuihin poliisipartioautoihin onkin varustettu vuodesta 1995 lähtien kannattavilla ja edullisilla pimeänäkökuvauksen järjestelmillä, jotka ovat olleet tehokkaita rikollisuuden estämisessä ja mahdollistavat poliisin lähestyä epäillyissä rikosalueilla täysin pimeässä. Yhdessä helikopteriin asennettavien järjestelmien kanssa, nämä järjestelmät mahdollistavat myös epäiltyjen takaa-ajon ja kiinniottamisen pimeässä pienemmällä riskillä lainviranomaisille. Samaa teknologiaa on sovellettu kehä ja vyöhyke suojaukseen lämpökuvauslaitteilla varoittamaan tunkeilijoita kriittisillä aloilla, kuten ydinvoimaloissa. [18]

Viranomaisista poliisin lisäksi lämpökameraa käytetään myös rajavartioidinnissa, jossa se on hyvä apu muiden valvontalaitteiden kanssa. Lämpökamera auttaa rajavartioita havaitsemaan laittomia rajan ylityksiä yön pimeydessä hieman pidemmän matkan päästä kuin esimerkiksi paljaalla silmällä ja taskulampulla tai tavallisella valvontakameralla.

Kamera auttaa antamaan paremman kuvan riskeistä ja uhkista sekä selkeämmän kuvan olosuhteista ja toiminnoista ulkorajoilla, mikä tehostaa valvontatoimien suorittamista maa- ja merialueilla ja näin parantaa rajaturvallisuutta ja estää asianmukaisesti laittoman maahanmuuton. [14]

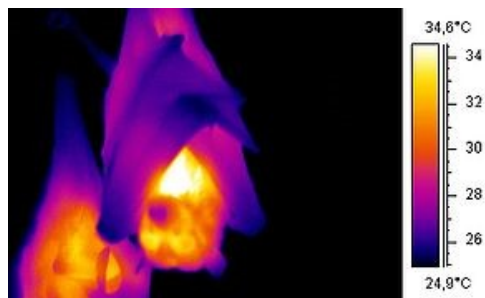
Sotilaallisissa sovelluksissa lämpökuvausteknologiaa käytetään etsintään ja pelastukseen, kohteen valvontaan, uhkien havaitsemiseen ja arviointiin, aseiden ja miinojen havaitsemiseen sekä aseiden ja ohjusten opastukseen. [18]

3.2 ELÄINTEN TUTKIMINEN JA HOITAMINEN

Eläinten tutkimiseen lämpökamera on erinomainen apu niin yöllä tai pimeässä paikassa liikkuvien lajien kuin hyvän naamioinnin omaavien lajien havaitsemiseen ja tutkimiseen eläinten omassa ympäristössään häiritsemättä niitä mahdollisimman vähän. Yöllä liikkuvien tai pimeissä paikoissa kuten luolissa asuvien eläinten tutkimiseen on käytetty ja käytetään edelleen yökameraa/yönäkökameraa. Kameran kanssa käytetään infrapunavaloa, jota tutkittavat eläimet eivät havaitse/havaitseisi. Infrapunavalon taajuus on erilaisempaa kuin lämpökameroiden käyttämä infrapuna. Ongelmana kuitenkin on se, että kyseinen kamera tarvitsee infrapunavaloa, minkä on havaittu eläinten tutkimisessa, että voi häiritä ja häiritseekin monia lajeja luultua enemmän. Tässä tulee ratkaisuksi ongelmaan lämpökamera, joka ei tarvitse minkäänlaista valoa toimiakseen vaan se näyttää, kamerasta ja sen laatutasosta riippuen, lämpökuvaa eläinten oman ruumiista hehkuvan ruumiinlämmön eli infrapunasäteilyn jopa ± 0.02 °C:een tarkkuudella.

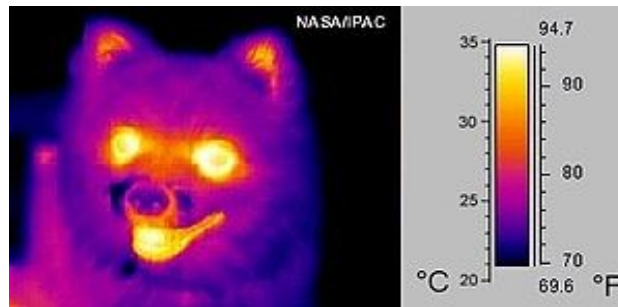
Pilkkopimeissä luolissa elävät lepakot ovat haasteellisia juuri siksi, että ne kykenevät havaitsemaan tavallisen valon lisäksi yönäkökameroiden tarvitsemaa valoa ja häiriintyvät helposti. Tutkijoille on erittäin tärkeää, että tutkittavat eläimet ovat mahdollisimman luonnollisesti omassa ympäristössään, mikä helpottaa tiedon keruuta. Lämpökameralla nähdään hyvin pilkkopimeässä luolassa lepakot häiritsemättä niitä juurikaan millään valolla. Tasalämpöiset lepakot, jotka ovat isoissa parvissa, hehkuvat sen verran lämpöä, että ne näkyvät selkeästi kuin tähdet kirkkaalla tähtitaivaalla. Lisäksi lämpö heijastuu myös muista pinnoista, joten tutkijat kykenevät näkemään lämpökameralla

pilkkopimeää luolaa kuin olisi valot käytössä. Jos lämpökamera kytketään tietokoneeseen, voidaan illalla auringon laskeutumisesta laskea luolasta ulos lentävien lepakkoyhdyskuntien yksilömäärät tarkasti, mikä auttaa selvittämään asioita, joita ei vielä tiedetä lepakoista tai varmentamaan nykyistä tietoa tai käsityksiä, jotka ovat vääriä. Lepakon hehkuvan lämmön voi nähdä melko tarkasti kuvassa 7, jossa on pari roikkuvaa hedelmälepakkoa.



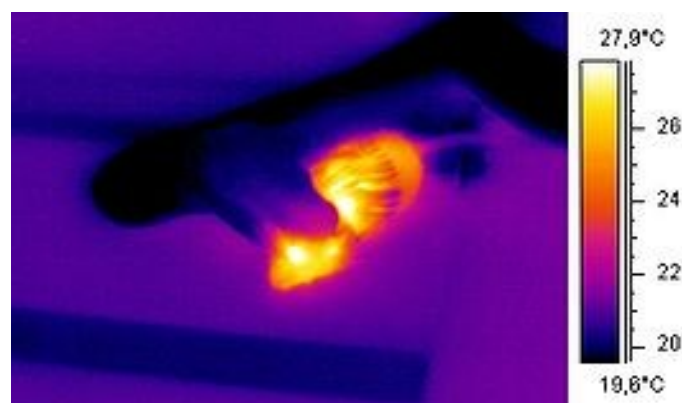
Kuva 7. Pari roikkuvaa hedelmälepakkoa kuvattuna lämpökameralla.

Lämpökameralla voidaan havaita sellaisiakin eläimiä, joita on hankala havaita paljaalla silmällä, niiden luontaisten naamioitumiskykyjen vuoksi. Tämän lisäksi kyetään ja on kyetty tutkimaan eläinten kykyä suojautua kylmää vastaan. Tällaisia eläimiä ovat esimerkiksi napapiireillä asuvat jääkarhut, hylkeet ja keisaripingviinit. Lämpökameran avulla on selvitetty mm. jääkarhun turkin ja nahan kyky eristää lämpö ja kylmyys toisistaan. Lisäksi kameralla on havaittu kohdat, joissa lämmön haihtuminen on suurinta, mikä sattuu olemaan eläimen kuonon alue. Kuvassa 8 on koiran lämpökuva, joka on hyvin samantapainen kuin jääkarhusta otettu lämpökuva.



Kuva 8. Koira kuvattuna lämpökameralla. Vastaavanlainen näkymä jääkarhulla ja muilla karvaisilla nisäkkäillä.

Tutkimalla on havaittu, että tietyt käärmeet pystyvät aistimaan lämpösäteilyä vähän samaan tapaan kuin ihmiset lämpökameralla. Näillä käärmeillä on lämpökuopat, joissa tämä aistiminen tapahtuu jopa noin 0,001 °C:n tarkkuudella, joka on paljon tarkempi kuin yksikään lämpökamera. Tällaisia käärmeitä ovat mm. pytonit, jotkin boat, aavikkosarvikyy ja kaikki kalkkarokäärmeet. Käärmeet käyttävät tätä aistia saalistaessaan lähinnä tasalämpöisiä pieniä nisäkkäitä ja lintuja. Lämpimän tasalämpöisen hiiren ja kylmemmän vaihtolämpöisen käärmeen lämpöjen eron voidaan nähdä kuvassa 9, jossa käärme on syömässä hiirtä.

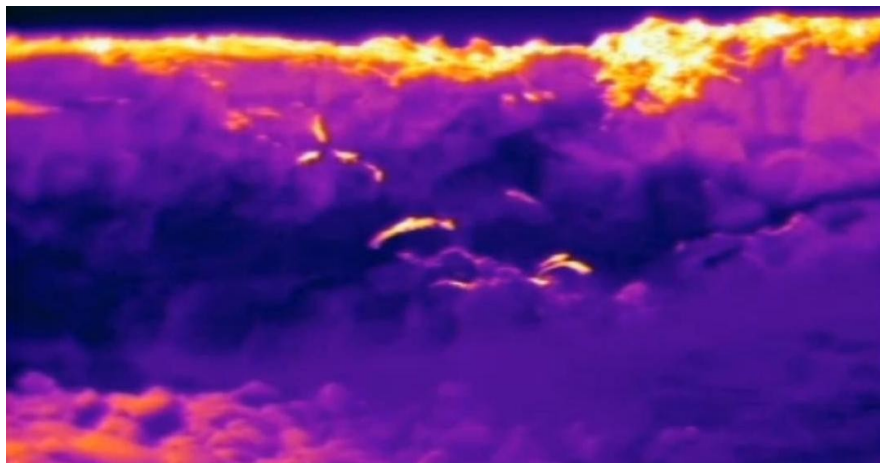


Kuva 9. Käärme syömässä hiirtä.

Lämpökameralla voidaan tutkia matelijoiden lämmönsäätelyä ja kykyä varastoida lämpöä ja energiaa, mikä on tärkeää selviytymisen kannalta matelijoille. Tällainen kyky on esimerkiksi tärkeätä merileguaaneille, jotka paistattelevat auringossa rantakalliolla keräten lämpöä ja energiaa tarvittaviin ruuanhaku sukelluksiin kylmään mereen, jonka lämpötila on noin 16 °C. Kuvassa 10 voi nähdä rantakalliolla lämmentyneitä merileguaaneja ja kuvassa 11 lämmentyneet merileguaanit laskeutuvat rantakalliolta mereen ruuanhaku sukelluksiin.

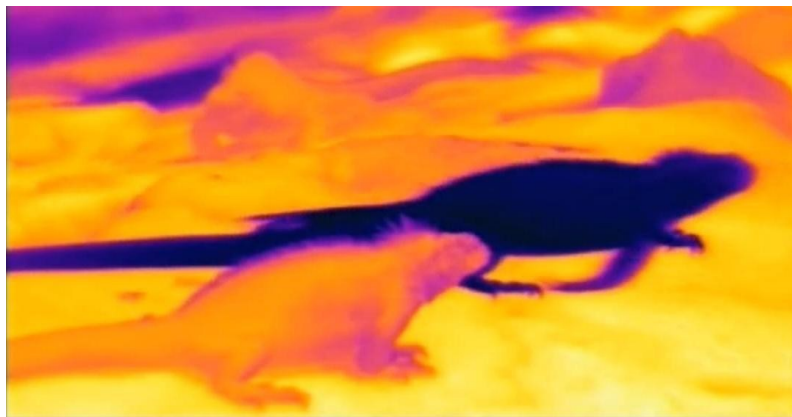


Kuva 10. Merileguaaneja lämmittelemässä rantakalliolla.



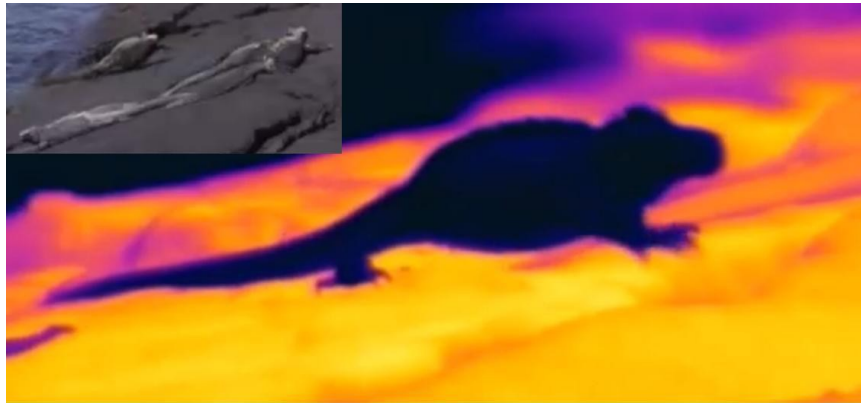
Kuva 11. Lämmentyneet merileguaanit matkalla rantakalliolta mereen.

Matelijan lämmön kertymistä muutamassa tunnissa ei ole havaittavissa paljaalla silmällä, mutta lämpökameralla nähdään selvästi, kuinka merileguaani lämpenee ja sinertävä väri muuttuu helakan punaiseksi. Sukelluksen aikana merileguaanien ruumiin lämpö putoaa noin 10 °C ja sukelluksen jälkeen leguaanit lämmittelevät itsensä uudestaan, jotta ne voisivat sulatella syömänsä ravintoa. Kuvassa 12 nähdään lämpökameralla kuvattuna juuri merestä tullut kylmentynyt merileguaani ja rantakalliolla lämmennyt merileguaani sekä näiden välisten lämpötilaerot.



Kuva 12. Lämmennyt ja kylmä merileguaani.

Lisää lämpötilaeroja voidaan nähdä kuvassa 13, missä merileguaani on saman värinen kuin meri ja miten leguaani eroaa lämpimästä rantakalliosta. Kuvan vasemaassa ylänurkassa on tavallinen kuva, josta voidaan havaita, että merileguaanit sulautuvat aika hyvin rantakallion kanssa.

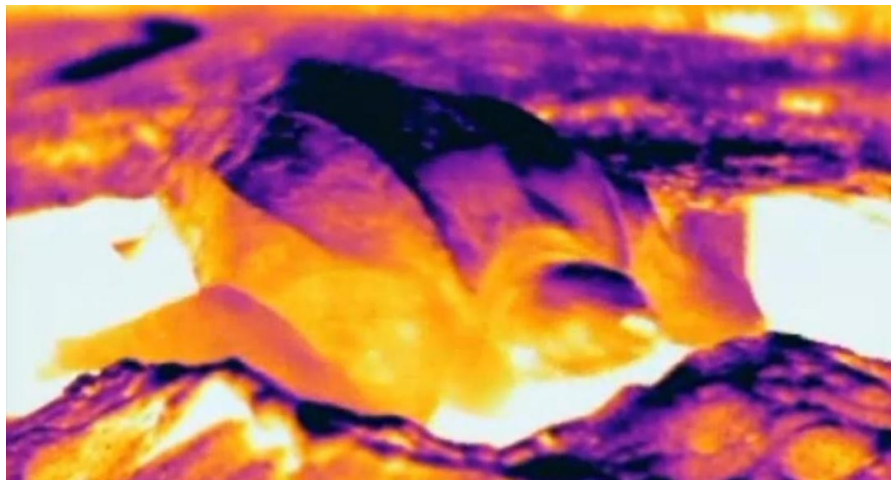


Kuva 13. Merestä tullut kylmettynyt merileguaani. Kuvan vasemmassa ylänurkassa vertailuna tavallinen kuva merestä tullut kylmetty merileguaani.

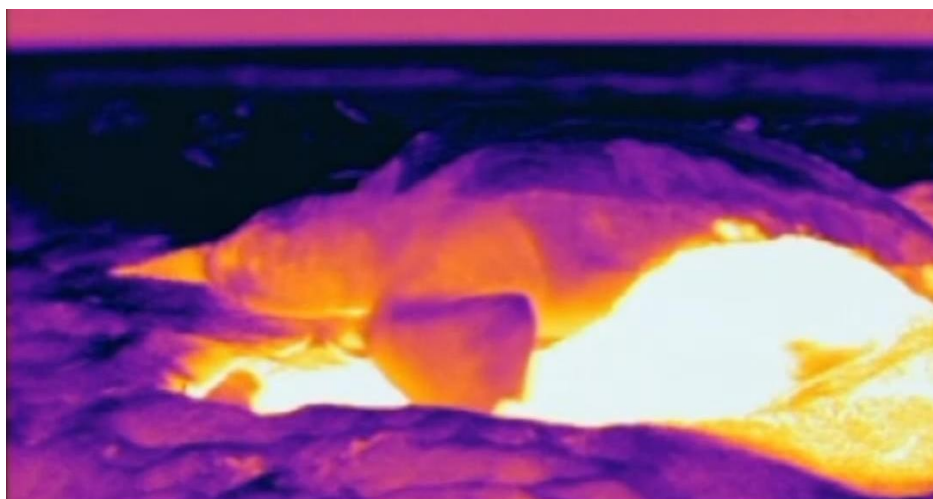
Tutkimisen lisäksi lämpökameraa voidaan käyttää myös erilaisiin havainnollistamistarkoituksiin kuten matelijoiden ja nisäkkäiden lämmönsäätelystä, energian kulutuksesta, kyvystä varastoida lämpöä ja energiaa sekä eroista matelijoiden ja nisäkkäiden välillä.

Tällaista lämpökameran käyttöä havainnollistamistarkoitukseen voidaan nähdä luontodokumenttiohjelmissa. Monista BBC:n luontodokumenteista kuten Avara luonto -dokumenttisarjasta tutuksi tullut Sir David Attenborough havainnollistaa Avara luonto: Vaihtolämpöisten elämää -ohjelmassa muun muassa vaihtolämpöisen merinahkakilpikonnän vierellä istuen ja lämpökameran avustuksella, miten hyvin matelijan koko, isompi sen parempi, auttaa varastoimaan lämpöä ja lämmön vapautuminen on pienempää kuin tasalämpöisillä nisäkkäillä kuten ihmisillä. Merikilpikonna on tullut illalla pimeään turvin rannalle munimaan. Attenborough asettuu istumaan lähelle merikilpikonnaa, mutta välttää häiritsemästä sitä mahdollisimman vähän, kun se kaivaa kuoppaa, munii ja peittää munat hiekkarannalla. Kuvissa 14 ja 15 nähdään, miten merinahkakilpikonna naaras kaivaa päivän aikana lämmennyttä rantahiekkaa kuoppaa sen muniaan varten. Itse kilpikonnakin on lämmennyt, mutta lämpö ei kuitenkaan haihdu samalla tavalla kuin nisäkkäistä esimerkiksi

ihmisellä, ja lämpökamerasta käy ilmi, että hiekka on vieläkin lämmintä kilpikonna kaivellessa. Attenborough näkyy hyvin lämpimissä väreissä, mikä kertoo ihmisen runsaan lämmönhaihtumisen ja täten energiakulutuksen, sillä lämmön tuottaminen vaatii energiaa. Merikilpikonnaan, jonka värit näkyvät kylmissä väreissä, verrattaessa ero on ilmeinen ihmisen ja kilpikonna välillä. Merikilpikonnaan iso koko auttaa säilyttämään päivän aikana kerättyä lämpöä ja energiaa. [9]



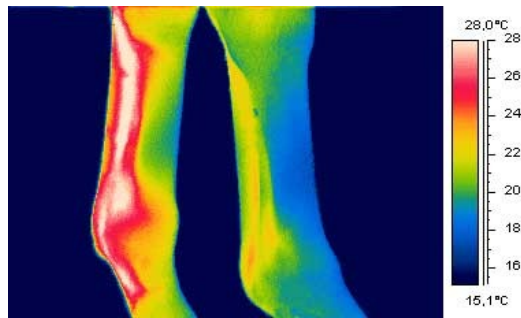
Kuva 14. Merinahkakilpikonna kaivamassa kuoppaa munintaa varten.



Kuva 15. Merinahkakilpikonna kuopan kaivuussa muniaan varten erikuvakulmasta.

Lämpökameralla voidaan myös havainnollistaa, kuinka hyvin käärmeet pystyvät aistimaan lämpösäteilyä. Esimerkiksi kalkkarokäärmeen eteen laitetaan lähemmäksi kaksi vesi-ilmapalloa, joissa toisessa on kylmää vettä ja toisessa lämmintä/kuumaa vettä. Lämpökameralla voidaan nähdä, kuinka käärme iskee salaman nopeasti lämpimään ilmapalloon. Tarkempaa tarkastelua varten kuvaa pitää katsoa uudelleen hidastettuna, koska muuten näkee vain noin sekunnissa käärmeen iskun ja ilmapallon räjähtämisen.

Eläinten hoitamisessa lämpökamera on erinomainen apu eläinlääkäreille, sillä eläimet eivät osaa kertoa, että missä koskee. Eläimet kyllä ilmaisevat usein eri tavoin kuten puremalla, näykkäämällä, raapaisemalla tai muulla tavalla, kun kipukohtaan koskee tai eläin puree tai hieroo kipukohtaa. Kun eläin loukkaa itsensä, loukkaantuneeseen kohtaan tulee tulehdus. Tällainen tulehtunut kohta hehkuu kuumempaa, mikä näkyy lämpökamerassa. Lämpökameraa käytetään lähinnä nisäkkäiden hoitamiseen, joihin kuuluvat hevoset ja eritoten ravihevoset ja niiden rasitusvammat, mikä on aika yleinen kivun tuottaja. Voimme nähdä kuvassa 16, kuinka hevosen toinen jalka säteilee lämpöä enemmän kuin toinen, joten siinä täytyy olla tulehdus. Juuri tämän tyyppisiä asioita eläinlääkäri pystyy varmentamaan eläimestä lämpökameran avulla. Esimerkki lämpökameran käytöstä tulehdus- ja kipukohdan löytämiseen ja todentamiseen: Viisivuotiaalla koiralla (*springerspanieli*) oli kuusi kuukautta kivuliaita oireita, jotka viittasivat IVD:hen eli nikamavälilevyn vaivaan, mutta kaikki tähän astiset otetut röntgenkuvat näyttivät normaalin luuston rakenteeseen ilman rappeumamuutoksia. Lämpökuvaukset kuitenkin paljasti tulehduksen kahdessa paikassa koiran selässä, mikä mahdollisti lopullisen IVD:n diagnoosin varhain ja vältetään ylimääräisiä diagnostisia toimia. [18]



Kuva 16. Hevosen jalat lämpökameralla kuvattuna.

3.3 RAKENNUS- JA HUOLTOTYÖT SEKÄ LAADUN VALVONTA

Lämpökameran käyttäminen rakennustöissä toimii sekä laadun valvontavana että ennalta ehkäisevänä työkaluna muun muassa tulevien lämpövuotojen vähentämisessä. Energian menetysten havaitsemiseen lämpösäteilyn mittausten soveltaminen rakenteissa olikin yksi ensimmäisistä kaupallisiin tarkoituksiin infrapunan tunnistamista ja kuvantamista varten. Rakennusvaiheessa hyvin ja huolellisesti tehty työ sekä kunnollisten raaka-aineiden ja osien käyttö vähentävät erilaisten vuotokohtien (esim. vesi, lämpö, sähkö) syntyä ja näin ylimääräisen energiankulutuksen kasvua, mikä taas vähentää huoltotöiden tarvetta tulevaisuudessa, kun osat ja työn tulos kestää mahdollisimman kauan. Täysin ne eivät kuitenkaan ehkäise tulevia tarvittavia huoltotöitä, sillä ajan kuluessa tiivisteet ym. kuluvat ja/tai rikkoutuvat. Lisäksi lämpökameran käyttö eri rakennusvaiheissa ja kuvien (lämpö ja tavallisten) tallentaminen talteen arkistoon todisteeksi huonosta tai hyvin tehdystä työstä, jos mahdollisesti tulee riitaa työstä ja sen laadusta ja asia menee oikeuteen. [18]

Huoltotöissä lämpökameran käyttö säästää aikaa ja rahaa, koska silloin ei tarvita avata isoa aluetta seinästä tai tiestä. Näin putken tai putkiston (esim. vesi, lämpö, sähkö) vaihtaminen tai korjaaminen onnistuu pienemmällä vaivalla.

Se, että lämpökameraa ei käytetä ollenkaan ja vioittunut kohta etsitään tutkimalla ja päättelemällä laajemmalla alueelta, vie enemmän aikaa ja rahaa, koska aikaa kuluu esimerkiksi tien ja sen päällysteen avaamiseen, vuotava tai viettunut putken korjaus tai vaihto, tiehen tulleen kuopan käyttö ja uuden tiepäällysteen laittaminen. Säästö tulee siinä, että lämpökameralla löytyy viettunut ja vuotava kohta nopeasti, sillä esimerkiksi vesivuodossa kosteus absorboi lämpöä näyttäen kylmemmältä ja lämpövuoto lämmittää ympäröivää ympäristöä. Näin löydetään tarkemmin korjausta tai huoltoa vaativa kohta ja tarvittavat avaukset tiessä tai seinässä voidaan rajoittaa mahdollisimman pieneksi ja korjaukseen ja paikkaukseen vaadittavat materiaalikustannukset pienevät.

Lämpökameralla näkee hyvin myös rakennusten lämpövuodot kuten erilaiset tiivistevuodot kuten esimerkiksi ikkunat, ovet, seinät ja katot, jolloin niiden korjaaminen voidaan rajoittaa pienempään alueeseen ja korjauskulut ovat pienempiä. Varsinkin vanhoissa rakennuksissa, joissa tiivisteet ovat kuluneet ja vanhentuneet ajan mittaan. Käytetyt rakennusmateriaalit ovat erilaisia kuin nykyään eivätkä välttämättä kestä samalla tavalla nykyajan ilmastoa ja saasteita, mikä haurastuttaa niitä enemmän ja nopeammin. Lämpövuodot tarkoittavat sitä, että asuntojen ja rakennuksien lämmittämiseen tarvittava energia näkyy suurempana energiankulutuksena, mikä tarkoittaa isompaa rahan kulutusta ja tämä näkyy vuokrassa ja (sähkö)laskuissa. On hyvä muistaa, että pintalämpötilan ja energian menetyksen suhde riippuu kuitenkin lukuisista fyysisistä ja ympäristötekijöistä sekä eristävistä rakennemateriaalien ominaisuuksista ja rakenteellisen osan eheydestä. [18]

Laadun valvonta erilaisten laitteiden ja osien (sarja)valmistuksessa on erittäin tärkeää, koska vialliset osat ja laitteet eivät kelpaa eteenpäin vietäväksi ja ne joudutaan korvaamaan tekemällä lisää osia ja laitteita, mikä tarkoittaa ylimääräisiä kuluja ja viivytystä aikatauluun. Lämpökamera onkin hyvä apu

laadun valvonnassa, sillä kameralla voidaan ottaa niin tavallisia kuin lämpökuvia useita versioita talteen, kun laite tai osa toimii. Tuotannossa valmistuvat osat ja laitteet voidaan tarkastaa lämpökameralla, että esimerkiksi ne eivät ylikuumene, tiivisteet eivät vuoda ja laitteet toimivat kuten pitää. Lämpökamera auttaa siis laadun valvonnassa vähentämään kuluja ja aikaa sekä lisäämään asiakas ja kuluttaja tyytyväisyyttä. [6]

4. RAKENNUSKOHTEN KUVAUS

Rakekennuskohteen lämpökuvaaminen FLIR SYSTEMS InfraCAM™ -lämpökameralla. Kuvassa 17 näkyy kyseinen kamera. Lämpökamera painaa 1,1 kg (akku ja 9,2 mm:n objektiivi mukaan lukien) ja sen koko (pituus x leveys x korkeus) on 263,5 x 91,1 x 248,5 mm 9,2 mm objektiivilla, joten sitä on helppo pidellä ja kannatella kädessä. Kameran tarkkuus on $\pm 2^{\circ}\text{C}$ tai $\pm 2\%$ lukemasta ja käyttölämpötila-alue on -15 - $+45^{\circ}\text{C}$. Lämpökameran spektrialue on $7,5$ - $13\ \mu\text{m}$ ja näyttö on 2,5" värillinen nestekidenäyttö, 16-bittisillä väreillä. Ladattava litiumioniakun käyttöajaksi annettu n. 2-2,5 tuntia, mutta minä sain vain kuvattua n. $\frac{1}{2}$ -1 tuntia ennen kuin akku oli tyhjä, vaikka akun piti olla lähes täynnä. Kameran lähitarkennusetaisyys on 0,01 m. Kamerassa on ilmaisinmatriisi (FPA) ja jäädyttämätön mikrobolometri. Kamerasta löytyy myös USB kuvansiirtoa varten kamerasta tietokoneeseen (kannettava tai PC) sekä kameran mukana tulee ThermaCAM TM QuickView Version 1.3, jolla voi mm. siirtää ja katsella kuvia. ThermaCAM TM QuickView:stä kerrotaan tarkemmin luvussa 2.3 OHJELMAT/OHJELMISTOT.



*Kuva 17. FLIR SYSTEMS
InfraCAM™ -lämpökamera.
Kuva käyttämästäni
lämpökamerasta.*

InfraCAM™ on helppo ja nopea käyttää sekä ottaa käyttöön, jota tosin auttoi se, että kameraa on käytetty jo aiemmin ja asetukset olivat jo valmiina. Kuvien katselu kameralla (tai tarvittaessa niiden poistaminen) on yksinkertaisen helppoa.

Kävin kuvaamassa 12.10.2011 opiskelija-asuntoa ja ikkunoiden/ov(i)en pieliä, lattia- ja kattorajoja sekä -nurkkia. Tarkoituksena oli löytää näistä vuoto kohtia ja selvittää mistä vuotaa lämpöä ulos ja kylmää sisälle. Kuvaituista kohteista ikkunoiden/ov(i)en pielet vuotivat lämpöä ulos ja kylmää sisälle muutamissa kohdissa. Myös nurkat ja lattiarajat (ulkoseinän) ovat selvästi kylmempiä kuin muu seinä ja kattorajat, mikä tarkoittaa rakennuksen ulkoseinän eristeiden pienestä lämpövuodosta. Nämä seikat aiheuttavat sen, että lämmitystä joudutaan lisäämään, mikä lisää energian kulutusta. Taulukossa 1 voidaan nähdä muutamia tuloksia rakennuskohteen lämpökuvauksesta.

Taulukko 1. Rakennuksen lämpökuvaus.

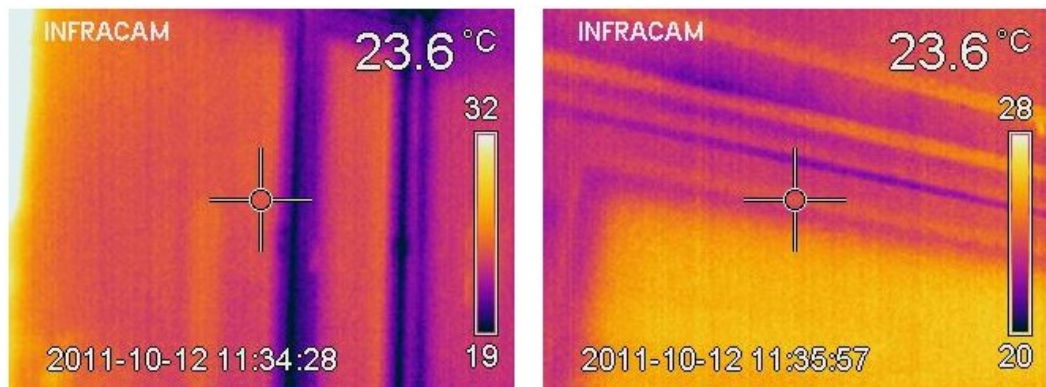
Kohde	Lämpötilaero	Johtopäätös
Avattava ikkuna 1	n. 1°C	Ei vuotoa/hyvin pieni vuoto tiivisteissä
Avattava ikkuna 2	n. 5°C	Pieni vuoto tiivisteissä
Ikkunan pieli/rako	n. 3°C	Pieni vuoto tiivisteissä
Kattonurkka	n. 2°C	Mahdollinen pieni vuoto, mutta patterin putki saattaa vaikuttaa eroon

(jatkuu)

Taulukko 1(jatkuu). Rakennuksen lämpökuvaus.

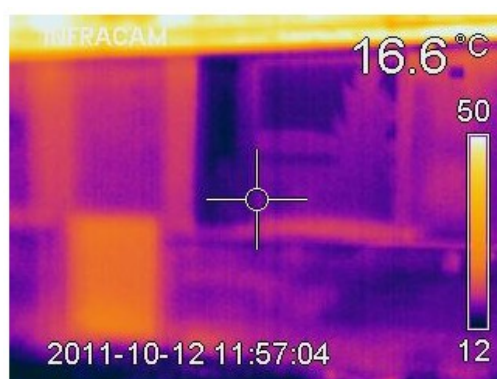
Kohde	Lämpötilaero	Johtopäätös
Lattianurkka	n. 4°C	Pieni vuoto nurkassa lattia/seinä eristeissä
Lattiaraja	n. 3°C	Pieni vuoto lattia/seinä eristeissä
Lattiaraja patterin lähellä	n. 4°C	Pieni vuoto lattia/seinä eristeissä
Ulkokuva: ovi ja ikkuna	n. 2-3°C	Pientä vuotoa ikkunan eristeissä, mutta lämmittävä aamuaurinko saattaa vaikuttaa eroon

Lämpövuoto näkyy sisällä kuvatussa lämpökuvassa sinisenä tai sinertävänä värinä, kun muut kohteet kuvassa näkyvät keltaisena, oranssina tai jopa punaisena. Mitä sinisempää ja tummempaa, sitä enemmän viileää ilmaa pääsee vuotokohdasta sisälle ja lämpöä karkaa samasta kohtaa ulos. Vastaavasti ulkona kuvatussa lämpökuvassa kellertävän oranssista punaiseen väriin kertoo lämpövuodosta sisältä ulos ja mitä punaisempaan väriin mennään, sitä suurempaa lämpövuoto on. Kuvassa 18 näkyy sisältä kuvatuissa ikkunan pielissä sinistä, mikä kertoo tiivisteiden vuotamisesta.



Kuva 18. Ikkunoiden tiivisteiden eroja. Vasemmassa kuvassa ikkunan tiivisteiden kohdalla näkyvä tummansininen väri kertoo, että tiivisteet vuotavat viileämmää ulkoilmaa sisälle ja lämpöä ulos. Kuvaaja Esa Hakolahti 12.10.2011.

On kuitenkin hyvä muistaa, milloin ja missä kuvaa, koska esimerkiksi lämmittävä aamuaurinko voi vaikuttaa paljonkin kuvan laatuun ja vääristää kuvasta saatavaa tietoa. Kuvassa 19 näkyy tällainen hyvin, sillä aamuaurinko on jonkin verran lämmittänyt seinää, ovea ja ikkunaa, mistä on melko vaikeaa kertoa, missä on lämpövuotoa ja mikä on auringon lämmittämää.



Kuva 19. Ulkoa päin kuvattua lämpökuvaa. Kuvaaja Esa Hakolahti 12.10.2011.

5. YHTEENVETO

Tehdessäni ja tutkiessani tätä opinnäytetyötä, sain vastauksia mieltäni painaviin kysymyksiin ja uutta tietoa, jota en ennen tiennyt tai joka osoitti vanhan tiedon vääräksi. Lisäksi opin sen, että kuinka laaja ja runsas aihepiiri käyttömahdollisuudet oikein on, joten piti valita itseäni eniten kiehtovia aiheita.

Opin historiasta kuinka lämpökamera sai alkunsa, ja miten ajan kuluessa ja tekniikan kehittyessä lämpökameran arvo on tullut käyttäjäystävälliselle tasolle ja sotilaallisesta käytöstä siviilikäyttöön. Itse lämpökamerasta opin, kuinka lähellä tekniikka on tavallista kameraa muutamilla eroilla sekä sen, että lämpökameroita on kahdenlaisia päätyyppejä, mittaavia ja ei-mittaavia. Kameran toiminta ja siihen liittyen lämpösäteilyn toiminnan merkitys parani paljon. Esimerkiksi lämpökameralla ei näe seinien ja ikkunoiden läpi, koska lämpösäteily ei läpäise niitä.

Käyttömahdollisuuksista tuli ilmi, että erilaiset viranomaistahot käyttävät lämpökameraa erilaisiin pelastustehtäviin sekä erilaisiin poliisi- ja rajavalvonta – tehtäviin. Eläinten tutkimisessa ja sairauksien löytämisessä ja todentamisessa lämpökamera on erinomainen apu eläinlääkäreille. Yhtenä yleisimmistä käyttömahdollisuuksista rakennus-, huolto- ja laadunvalvontatehtävissä lämpökamera auttaa löytämään mm. energiakadot ja sitä kautta tekemään korjauksia, jotka auttavat säästämään ylimääräisessä energiankulutuksessa. Lämpökameralle on paljon käyttömahdollisuuksia ja niitä tulee varmasti lisää tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- [1] Lloyd, J., Michael,. Thermal imaging systems, Plenum Press, New York, 1975. (luettu 12.11.2010).
- [2] <http://www.yourdictionary.com/vidicon> (luettu 16.11.2010).
- [3] <http://www.infradex.com/teoria.html> (luettu 25.10.2010).
- [4] opinnäytetyö:
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9832/Uusitupa.Tero.pdf?sequence=2> (luettu 16.11.2010).
- [5] <http://www.infradex.com/kuinka.html> (luettu 25.10.2010).
- [6] Herttua, Ilkka ja Ylönen, Raimo,. Tekniikan Maailma, 7/2007, Otavamedia Oy, Forssa Print, Tampere (luettu 4.5.2011).
- [7] Herttua, Jaakko. Tekniikan Maailma, 21/2010, Yhtyneet Kuvalehdet Oy, Acta Print Oy, Espoo (luettu 4.5.2011).
- [8] Ala-Kokko, Ville. Savusukellusopas, 2/2008, Pelastusopisto (luettu 4.5.2011).
- [9] <http://areena.yle.fi/ohjelma/1673865>
Avara luonto:
Vaihtolämpöisten elämää 1/5, esitetty 11.3.2011, YLE1. (katsottu 17.3.2011).
- [10] opinnäytetyö:
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/6381/Pasi_Hietapakka.pdf?sequence=1 (luettu 31.5.2011).
- [11] opinnäytetyö:
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8001/Pitk%C3%83%3fnen.Jenni.pdf?sequence=2> (luettu 31.5.2011).
- [12] opinnäytetyö:
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2812/Lampokam.pdf?sequence=1> (luettu 31.5.2011).
- [13] insinööritö:
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/5948/stadia-1177578844-6.pdf?sequence=1> (luettu 31.5.2011).
- [14]
[http://www.poliisi.fi/intermin/images.nsf/files/5e818c533dbdb4efc22577c1002eb2c0/\\$file/ebf_tiivistelma_%20monivuotinen_ohjelma_2007_2013.pdf](http://www.poliisi.fi/intermin/images.nsf/files/5e818c533dbdb4efc22577c1002eb2c0/$file/ebf_tiivistelma_%20monivuotinen_ohjelma_2007_2013.pdf)
(luettu 1.6.2011).

[15] esite:

<http://www.infradex.com/pdf/Labview%20EN.pdf> (luettu 11.8.2011).

[16] esite:

<http://www.infradex.com/pdf/Researcher%20EN.pdf> (luettu 11.8.2011).

[17] esite:

<http://www.infradex.com/pdf/SDK%20Thermovision%20EN.pdf> (luettu 11.8.2011).

[18] Kaplan, Herbert 2007. Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment 3.painos. Washington USA: Spie Press.

[19] käyttöopas: kameran mukana (luettu 12.10.2011) + esite:

<http://www.infradex.com/infracam/INFRACAMbuild.pdf> (luettu 27.10.2011).

KUVALÄHTEET

Kuva 1. Vidiconputki.

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Vidicon.png> (luettu 12.11.2010).

Kuva 2. Lämpökameran sisäinen rakenne.

<http://www.infradex.com/kuinka.html> (luettu 25.10.2010).

Kuva 3. FLIR P660 lämpökamera.

<http://www.infradex.com/ps.html> (luettu 25.10.2010).

Kuva 4. Näkymä Histogrammikaaviosta.

esite: <http://www.infradex.com/pdf/Researcher%20EN.pdf> (luettu 11.8.2011).

Kuva 5. ThermaCAM Researcherin mittaustyökalut.

esite: <http://www.infradex.com/pdf/Researcher%20EN.pdf> (luettu 11.8.2011).

Kuva 6. Infrapuna-alue sähkömagneettisessa spektrissä.

opinnäytetyö:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9832/Uusitupa.Tero.pdf?sequence=2> (luettu 16.11.2010).

Kuva 7. Pari roikkuvaa hedelmäleppäköä kuvattuna lämpökameralla.

www.nutscode.com (luettu 17.11.2010).

Kuva 8. Koira kuvattuna lämpökameralla.

http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/image_galleries/ir_zoo/dog.html (luettu 12.11.2010).

Kuva 9. Käärme syömässä hiirtä.

www.nutscode.com (luettu 12.11.2010).

Kuva 10. Merileguaaneja lämmittämässä rantakalliolla.

<http://areena.yle.fi/ohjelma/1673865>

Avara luonto:

Vaihtolämpöisten elämää 1/5, esitetty 11.3.2011, YLE1. (katsottu 17.3.2011).

Kuva 11. Lämmenneet merileguaanit matkalla rantakalliolta mereen.

<http://areena.yle.fi/ohjelma/1673865>

Avara luonto:

Vaihtolämpöisten elämää 1/5, esitetty 11.3.2011, YLE1. (katsottu 17.3.2011).

Kuva 12. Lämmennyt ja kylmä merileguaani.

<http://areena.yle.fi/ohjelma/1673865>

Avara luonto:

Vaihtolämpöisten elämää 1/5, esitetty 11.3.2011, YLE1. (katsottu 17.3.2011).

Kuva 13. Merestä tullut kylmettynyt merileguaani.

<http://areena.yle.fi/ohjelma/1673865>

Avara luonto:

Vaihtolämpöisten elämää 1/5, esitetty 11.3.2011, YLE1. (katsottu 17.3.2011).

Kuva 14. Merinahkakilpikonna kaivamassa kuoppaa munintaa varten.
<http://areena.yle.fi/ohjelma/1673865>

Avara luonto:

Vaihtolämpöisten elämää 1/5, esitetty 11.3.2011, YLE1. (katsottu 17.3.2011).

Kuva 15. Merinahkakilpikonna kuopan kaivuussa.

<http://areena.yle.fi/ohjelma/1673865>

Avara luonto:

Vaihtolämpöisten elämää 1/5, esitetty 11.3.2011, YLE1. (katsottu 17.3.2011).

Kuva 16. Hevosien jalat lämpökameralla kuvattuna.

<http://www.infradex.com/sovellukset.html> (luettu 25.10.2010).

Kuva 17. FLIR SYSTEMS InfraCAM™ -lämpökamera.

http://www.bacoll.se/bilder/flir_infracam_mini.jpg (luettu 11.11.2011).

Kuva 18. Ikkunoiden tiivisteiden eroja. Kuvaaja Esa Hakolahti (otettu 12.10.2011).

Kuva 19. Ulkoa päin kuvattua lämpökuvaa. Kuvaaja Esa Hakolahti (otettu 12.10.2011).