

Pekka Kauppi

LVI-järjestelmien lämpökamerakuvaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

15.4.2018

Tekijä Otsikko	Pekka Kauppi LVIA-järjestelmien lämpökamerakuvaus
Sivumäärä Aika	27 sivua + 1 Liite 15.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	rakennusinsinööri YAMK Sauli Paloniitty osaamisaluepäällikkö Jorma Säteri
<p>Lämpökamerakuvaus on rakenteita ja ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä eikä vaadi välitöntä kosketusta tutkittavassa kohteessa. Tämä tapa on alun perin kehitetty sotilaallisiin tarkoituksiin. Ensimmäiset sovellutukset tehtiin pimeällä säällä kohteiden paikannukseen. Tekniikkaa hyödynnetään myös tähtäyksessä. Kameratekniikan kehittyessä ja sitä kautta kameroiden hintojen pienentyessä kameroita on alettu käyttämään myös teollisuudessa. Insinöörityön tarkoituksena oli perehtyä LVI-järjestelmien lämpökamerakuvaukseen. Lämpökamerakuvausta hyödynnetään talotekniikassa suhteellisen vähän. Mahdollisuuksia on lukemattomia.</p> <p>Insinöörityön on tilannut Suomen ympäristöopisto SYKLI. Insinöörityössä syntyvän materiaalin pohjalta on tarkoitus tehdä LVIA-järjestelmien lämpökamerakuvauksen sertifiointikoulutuksen opetusmateriaali. Sertifikaatin tulee myöntämään VTT.</p> <p>Työssä tutustuttiin lämpökamerakuvaukseen kuvaamalla suuri määrä erilaisia kohteita. Näissä kohteissa tutustuttiin nykytilaan ja käyttöön verrattuna suunniteltuun ja verrattiin tietoja lämpökameralla saatuihin tuloksiin. Kuvauskohteet valittiin kattavasti laajaan kenttäkemukseen perustuen erilaisista LVIA-kohteista.</p> <p>Insinöörityöni perusteella lämpökamerakuvaus sopii erinomaisesti talotekniikan parissa toimiville yrityksille ja kiinteistöhoitoon. Kuvaus sopii ennen kaikkea ennakoivan huollon työkaluksi, mutta myös, varsinkin lämmitysjärjestelmien vianpaikannukseen talotekniseen kunnossapitoon. Uudisrakentamisessa lämpökamerakuvausta voidaan käyttää laadunvarmistustyökaluna. Edelleen kameroiden tekniikan kehittyessä ja hintojen halventuessa lämpökamerat tuleva olemaan osa normaalia LVIA- asennus- ja korjaustoimintaa.</p>	
Avainsanat	infrapuna, lämpökamera, emissio, talotekniikka

Author(s) Title	Pekka Kauppi Thermal imaging of HVAC systems
Number of Pages Date	27 pages + 1 appendices 15 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructor(s)	Sauli Paloniitty, M.Eng. Jorma Säteri, Head of Department
<p>This Bachelor's thesis looked into the opportunities that thermal imaging, a method not yet commonly used in building services, offers for HVAC systems. Another goal was to compile a set of material that can be used as a basis when creating training material for thermal imaging certification for HVAC. The certification is to be granted by external authority.</p> <p>The work consisted of getting familiar with thermal imaging and taking hundreds of thermal image pictures of several different kind of HVAC applications. It also required checking the intended operation or process on the location and getting to know the present condition of the system then comparing the information on thermal images to the intended one or desired state. To have better coverage of the HVAC area the images were taken from a variety of application chosen with long term field experience.</p> <p>According to the findings, thermal imaging is excellent for companies operating with HVAC technologies, as well as for building maintenance. It is first and foremost a tool in pre-emptive maintenance, but can also be used in fault detection in building engineering. In new buildings, thermal imaging can be used in quality control. As camera technology continues to develop thermal imaging will be part of regular HVAC operations in installation as well as in maintenance.</p>	
Keywords	infrared, thermal imaging, emission, building services, HVAC

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Termodynamiikan perusteet	2
2.1	Termodynamiikan pääsäännöt	2
2.1.1	0. pääsääntö, lämpötila	2
2.1.2	1. pääsääntö, energian häviämättömyyden laki	3
2.1.3	2. pääsääntö, entropia	3
2.2	Lämmön siirtyminen	3
2.2.1	Johtuminen	3
2.2.2	Konvektio	4
2.2.3	Säteily	4
3	Lämpökuvauksen teoria	4
3.1	Sähkömagneettinen spektri	4
3.2	Emissio	5
4	Lämpökamerat	6
4.1	Lämpökamera	6
4.2	Lämpökameroiden kehitys	9
4.3	Skanneritekniikka (pyyhkäisytekniikka)	9
4.4	Matriisi-ilmaisintekniikka (detektori)	9
5	LVIA- järjestelmät	10
5.1	Lämmitysverkostot	14
5.2	Vesi ja viemärilaitteet	18
5.3	Ilmanvaihto	19
6	Muita lämpökuvauksen sovellutuksia	20
6.1	Sotateollisuus ja viranomaistoiminta	20
6.2	Prosessiteollisuus	21
6.3	Rakennusteollisuus	22
6.4	Sähkötekniikka	23

6.5	Lääke- ja eläinlääketiede	24
6.6	Ajoneuvot	26
7	Yhteenveto	27
	Lähteet	28
	Liite 1	

Lyhenteet

NDT Non Destructive Testing. Rakenteita rikkomaton tutkimus.

VTT Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

1 Johdanto

Lämpökamerakuvaus on rakenteita ja ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä (NDT) eikä vaadi välitöntä kosketusta tutkittavaan kohteeseen. Lämpökamera mittaa kappaleesta lähtevää lämpösäteilyä ja muuttaa säteilyn reaaliajassa digitaaliseksi kuvaksi. Nykyaikainen lämpökamerakuvaus tarjoaa monipuolisia sovellutuksia eri aloille. Sitä voidaan käyttää sotilasteollisuudessa, teollisuudessa, rakennusteollisuudessa, eläinlääkärit käyttävät lämpökamerakuvausta eläinten tulehdustilojen paikantamiseen.

Poliisi- ja pelastuslaitos käyttävät lämpökameroita valvontaan ja kadonneiden henkilöiden etsintään, sekä riistanvalvojat eläinlaskentaan. Teollisuudessa tekniikkaa käytetään erilaisten prosessien kuten valimoissa lämpötilojen ja paperiteollisuudessa laadunvalvontaan sekä paperilinjan kunnon tarkkailuun. Sähköpuolella, teollisuuden ennakoivassa huollossa kuvausta käytetään kontaktoreiden, moottoreiden, muuntajien ja erilaisten johdotusliitosten tarkkailuun.

Rakennusten lämpökuvauksia on tehty 70-luvulta lähtien. Rakennuskohteen luovutuksen yhteydessä tehtävät laadunvarmistuskuvaukset on sertifioitu ja sertifikaatin myöntää VTT:n vetämä sertifiointitoimikunta.

Insinööriyön tarkoituksena on tutkia LVIA-järjestelmien lämpökuvauksia ja tulkita kuvista saatua informaatiota. Nykyisillä lämpökameroilla varsinainen kuvien ottaminen on yhtä helppoa kuin normaalilla digikameralla kuvaaminen. Haasteet tulevat oikeiden asetusten asettamisesta ja kuvista saatavan informaation oikeasta tulkinnasta. Kuvaajan tulee ymmärtää kuvasta kuvattavan kohteen lähettämän lämpösäteilyn ja ympäristöstä heijastuvan lämpösäteilyn ero sekä pystyä eliminoimaan ympäristöstä aiheutuvat häiriötekijät. Kuvien tulkintaan tarvitaan ymmärrystä materiaalien erilaisista ominaisuuksista, termodynamiikasta ja LVIA-prosesseista.

Tulevaisuudessa lämpökamerakuvausten tulisi olla kiinteä osa ennakoivaa kiinteistöhoitoa ja LVIA-urakoitsijoilla laadunvarmistuksessa sekä osana vian paikannusprosesseja.

Insinööriyön tuloksien pohjalta on tarkoitus laatia opetusmateriaali LVIA-järjestelmien lämpökamerakuvausten koulutusohjelmaan ja hyväksyttävä se lämpökamerakuvausten

sertifiointitoimikunnalla, minkä jälkeen Suomen ympäristöopisto SYKLI aloittaa koulutuksen. Kuvauksissa käytin Flir E60 BX -kameraa ja Flir-tools-kuvankäsittelyohjelmaa.

2 Termodynamiikan perusteet

Termodynamiikassa käsitellään energian muodonmuutosta. Ominaista on, että energia muuttuu lämmöksi tai lämpö joksikin muuksi energiamuodoksi. Termodynamiikalla eli lämpöopilla voidaan tutkia prosesseja esim. voimalaitoksissa, kylmäkoneissa, lämpöpumpuissa ja polttomoottoreissa. Termodynamiikalla voidaan tutkia prosessien eri vaiheissa lämpötilaa, painetta, kosteutta tai olomuotoa.

Luonnon energialähteistä, aurinko tuottaa kaikista eniten lämpöenergiaa. Tuuli- ja vesivoimasta tulee liike-energiaa sekä polttoaineista saatava energia. Lämpöenergiasta vain osa pystytään muuttamaan lämpöenergiaksi. Tehokkaasti toimivan lämpövoimalan hyötysuhde on vain noin 40 %.

Termodynaamisia ilmiöitä on tutkittu niin kauan kuin ihminen on ollut olemassa. Kokeellisten tutkimuksien ja havaintojen perusteella on selvitetty termodynamiikan lainalaisuudet ja niistä on tehty termodynamiikan pääsäännöt. [1]

2.1 Termodynamiikan pääsäännöt

2.1.1 0. pääsääntö, lämpötila

Lämpötila on suure, joka kuvaa, miten kuuma tai kylmä aine tai esine on. Eristetyssä systeemissä eri lämpötilassa olevien kappaleiden lämpötilat tasaantuvat siten, että kylmät kappaleet lämpenevät ja kuumat kappaleet jäähtyvät, kunnes ne saavuttavat termisen tasapainon.

Lämpötila-asteikkona käytetään celsius-, kelvin- tai fahrenheit-asteikkoa.

Celsius-asteikko on yleisimmin käytetty yksikkö. Asteikon kiintopisteinä on veden jäätymispiste (0 °C) ja kiehumispiste (100 °C). Lämpötilan muutos on sadasosa kiintopisteiden erotuksesta.

Kelvin-asteikko on lämpötilan virallinen SI-asteikko. Asteikon kiintopisteinä on absoluuttinen nollapiste (0 K) ja veden trippelipiste (273,15 K = 0 °C). Kelvin-asteikko on yleisimmin käytetty asteikko tekniikan ja tieteen aloilla.

Fahrenheit-asteikko on etenkin Pohjois-Amerikassa käytetty yksikkö. Asteikon kiintopisteinä on veden jäätymispiste (32 °F) ja veden kiehumispiste (212 °F). [1]

2.1.2 1. pääsääntö, energian häviämättömyyden laki

Systeemiin tuotu energia voi muuttua toiseksi energiamuodoksi, mutta energian kokonaismäärä ei häviä. Systeemiin tehty työ ja siihen tuotu energia on aina positiivista ja luovutettu energia tai systeemin tekemä työ negatiivista. Laskentasuurena käytetään entalpiaa (H). Se kuvaa aineen sisäenergian muutosta [1].

2.1.3 2. pääsääntö, entropia

Entropialla voidaan mitata systeemin epäjärjestyksen määrää. Systeemi pyrkii itsestään tasapainotilaan, jossa se saavuttaa maksimiarvonsa. Suljetun systeemin muutos tilasta toiseen onnistuu vain ulkopuolisen energian avulla. Luonnollinen muutos on mahdollista vain, jos siihen liittyy entropian kasvu. Lämmön siirtyminen tapahtuu aina korkeammasta lämpötilasta alhaisempaan. [1]

2.2 Lämmön siirtyminen

Lämmön siirtymisen edellytyksenä on, että kappaleiden tai aineiden välillä on lämpötilaero. Lämpötilaero pyrkii tasoittumaan termodynamiikan 0. perussäännön mukaan ja 2. perussäännön mukaan lämmön siirtymisen suunta on korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Lämmön siirtymisen tavat ovat johtuminen, konvektio ja säteily. [1]

2.2.1 Johtuminen

Kahden eri kappaleen välillä johtumista voi tapahtua vain, jos kappaleet koskettavat toisiaan. Johtumisen määrään ja nopeuteen vaikuttaa lämpötilaeron suuruus ja kappaleen lämmönjohtavuus. [1]

2.2.2 Konvektio

Konvektiossa lämpö siirtyy nesteen tai kaasun mukana. Kun ohi virtaavan aineen ja kappaleen välillä on lämpötilaero, lämpö siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Lämmönsiirron tehokkuutta kuvataan lämmönsiirtokertoimella. [1]

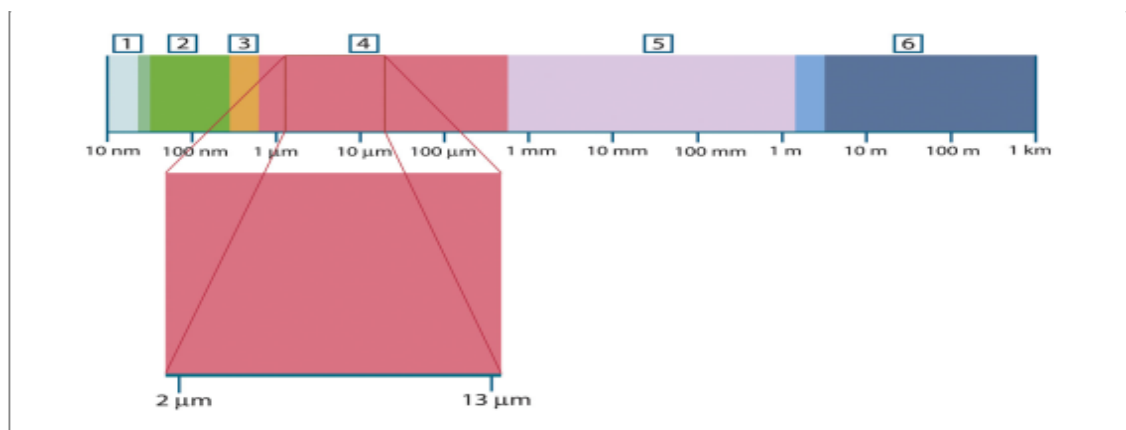
2.2.3 Säteily

Säteily on lämmön siirtymistä sähkömagneettisina aaltoina tai fotoneina. Lämpökamerakuvaus perustuu lämmön säteilyn mittaukseen. [1]

3 Lämpökuvauksen teoria

3.1 Sähkömagneettinen spektri

Sähkömagneettinen spektri (kuva 1) jaetaan eri aallonpituusalueisiin, joita kutsutaan kaistoiksi. Kaistojen jako tehdään sen mukaan, miten säteily tuotetaan ja millä se havaitaan.



Kuva 1. Sähkömagneettinen spektri: 1 Röntgensäteily; 2 Ultraviolettisäteily; 3 Näkyvä valo;

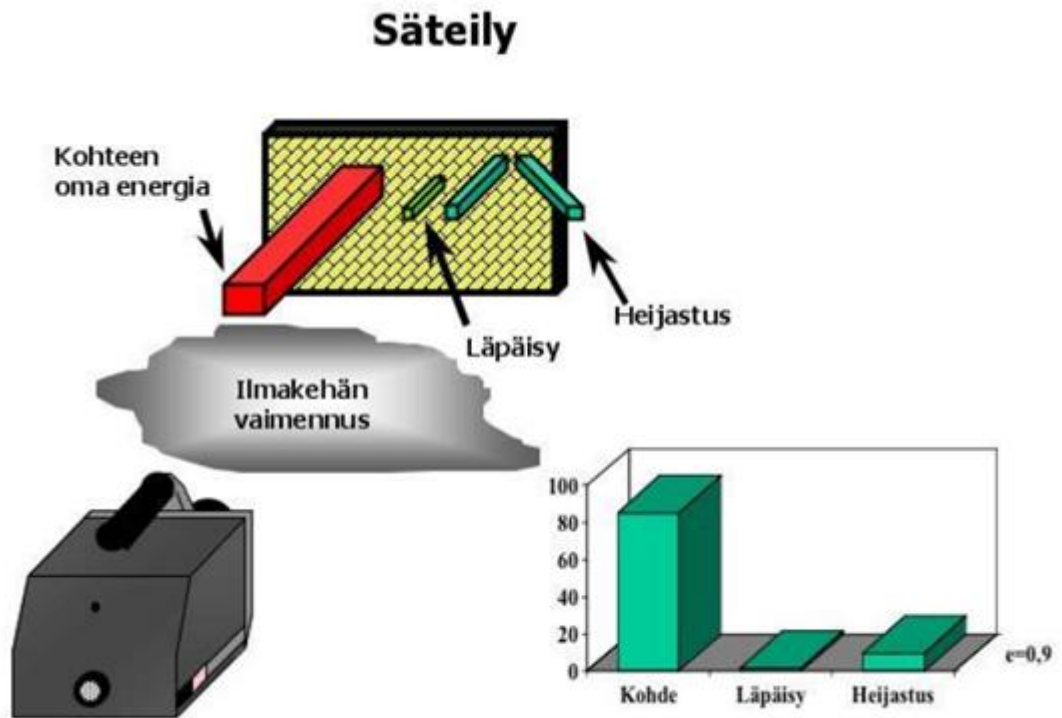
4 Infrapunasäteily; 5 Mikroaallot; 6 Radioaallot [2].

Lämpökuvauksessa käytetään spektrin infrapunaista kaistaa. Infrapunaikaista jakaantuu neljää n eri kaistaan: lähi- infrapunaikaista (0,75–3 μm), keski- infrapunaikaista (3–6 μm),

pitkäaaltokaista (6–15 μm), ääri- infrapunakaista (15–100 μm). Aallonpituuden mittayksikkönä yleisesti käytetään mikrometriä (μm). Muita käytettäviä yksiköitä ovat nanometri (nm) ja Ångström (Å). Yksiköt muuntuvat seuraavasti: 1 μm = 1 000 nm = 10 000 Å. [2]

3.2 Emissio

Emissiivisyydellä tarkoitetaan kappaleesta lähtevää lämpösäteilyä suhteessa mustaan kappaleeseen. Mustan kappaleen säteily on absoluuttista. Se ei päästä säteilyä läpi, eikä se heijasta säteilyä muista pinnoista. Lämpösäteilyn määrä riippuu kappaleen ominaisuuksista, kuinka paljon kappale päästää säteilyä läpi ja kuinka paljon kappale heijastaa säteilyä ympäröivistä pinnoista. Muita emissiivisyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kappaleen pintalämpötila, materiaali, säteilyn aallonpituus ja kuvauskulma. Eri materiaaleille on saatu joko laskemalla tai kokeellisesti emissiokerroin. Mustan kappaleen emissiokerroin on 1 ja muiden materiaalien kerroin 0–0.99 (Liite 1). Mitä lähempänä kerroin on mustaa kappaletta, sitä suurempi kerroin on. Pieni kerroin 0–0.5 tarkoittaa, että pinta heijastaa paljon lämpösäteilyä ja hankaloittaa lämpötilojen mittaamista. Suurin osa kappaleen lähettämästä säteilystä heijastuu ympäristöstä tai ulkopuolisesta lämmönlähteestä, eikä mittaustulos vastaa mitattavan pinnan lämpötilaa. Emissiokertoimella korjataan Tällaisia pintoja ovat esimerkiksi putket ja ilmanvaihtokanavat sekä ikkunat. Jos emissiokerrointa ei käytetä, kuvattava pinta näyttää todellisuutta viileämmältä. Taustaheijastumisia voidaan ehkäistä rajaamalla kuvattava kohde esimerkiksi kangasverhoilla, lakanoilla tai mattapintaisilla levyillä. Kuvauskulma vaikuttaa myös merkittävästi heijastukseen. Kuvaa ei tule ikinä kohtisuoraan kohteeseen. Tutkimusten mukaan rakennusten lämpökuvauksessa kuvauskulman tulisi olla 30–40 asetetta. [2]

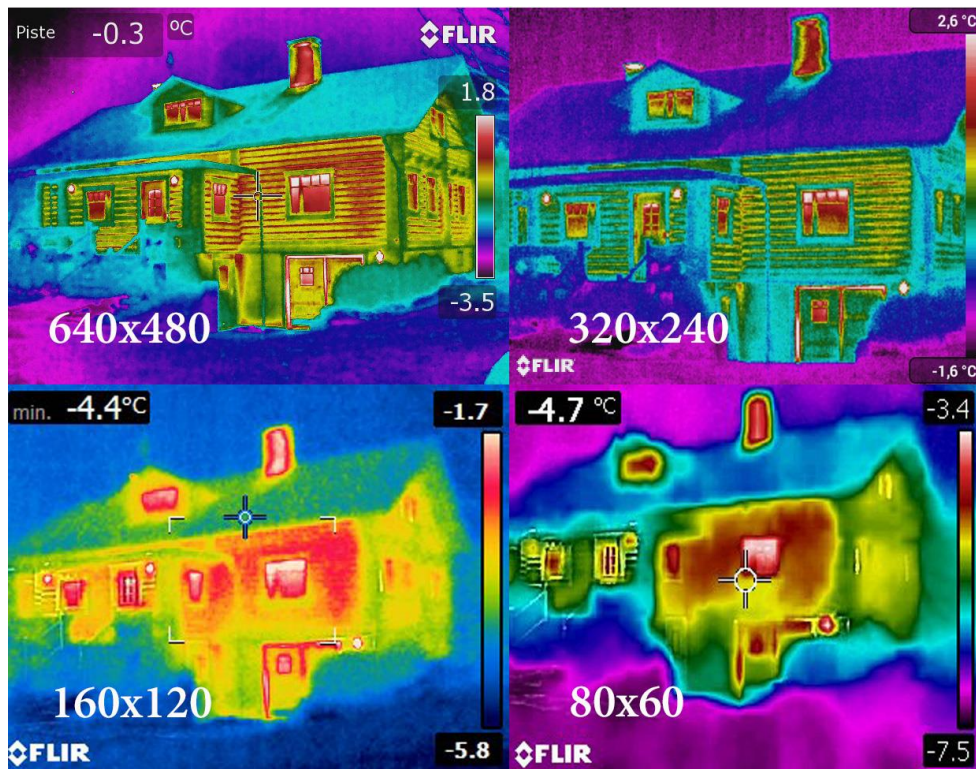


Kuva 2. Kokonaissäteilyn muodostuminen ja emissiivisyys [2].

4 Lämpökamerat

4.1 Lämpökamera

Lämpökamera mittaa kappaleesta lähtevää lämpösäteilyä ja muuttaa säteilyn reaaliajassa digitaaliseksi kuvaksi. Kamera antaa hyvin tarkan lämpökuvan paikallaan olevasta kohteesta. Lämpökameralla voi kuvata myös liikkuvaa kohdetta ja tallentaa videotiedostoja. Kuvia voi analysoida tallennetusta kuvasta. Lämpötila-alueita ja spektrin värejä voi muuttaa kuvankäsittelyohjelmalla. Kamera tallentaa myös normaalin digikuvan, mutta kuvan laatu ei ole kovin hyvä. Kuva kertoo lähinnä kohdan, mistä kuva on otettu. Eniten kuvien tarkkuuteen vaikuttaa kameran resoluutio. Lämpökameroiden resoluutiot ovat 80x60–1024x768 pikseliä (Kuva 3). Kuvat tallentuvat jpg-muotoon, joten niitä voi katsella millä tahansa kuvankäsittelyohjelmalla. Kuvan käsittely tapahtuu kameravalmistajan omalla ohjelmalla.



Kuva 3. Resoluution vaikutus kuvanlaatuun, Lähde Sauli Paloniitty [3].

Lämpökameroiden tekniikan kehittyessä ja sitä kautta hintojen alentuessa kamerat ovat yleistyneet. Kameroiden hintahaitari on laaja, ja hintaan vaikuttaa ennen kaikkea kameran resoluutio. Niin sanotun isännöitsijän kameran saan noin 1 000 eurolla, kun huippukamera maksaa 40 000 euroa. Kameran valintaan vaikuttaa eniten se, mihin käyttötarkoitukseen kamera hankitaan.

Toinen valintaan vaikuttava tekijä on kameraoptiikan kulma. Mitä lähempää kuvaa otetaan, sitä laajempi kulman täytyy olla. Kauempaa otetussa kuvassa yksi pikseli vastaa laajempaa aluetta ja vaikuttaa näin kuvan tarkkuuteen. Käytetyin optiikkamateriaali on hiilipinnoitettu germanium. Linssin pitää läpäistä ja taittaa lämpösäteilyä, minkä takia tavallinen kameralinssi ei sovellu lämpökameroihin. Optiikalla voidaan vaikuttaa myös kuvan tarkkuuteen. Linssien korkean hinnan takia keskihintaisissa kameroissa ei ole yleensä optista tarkennusta. Erillinen optiikka voi maksaa 5 000 euroa, joten kulma kannattaa ottaa huomioon jo kameraa hankittaessa. [3]

Lämpökamerat



	Resoluutio n 5000 pikseliä (80x60)	n 20 000 (160 x 120)	n 40 000 (240 x 180)	n 75 000 (320 x 240)	n 300 000 (640x480)
Erottelukyky 0.1 C	< 0.07 C	< 0.07 C	< 0.05 C	< 0.03 C	< 0.03 C
Malli esim. FLIR C2	E6	E6	E50bx	T420bx	T620bx
Hintataso alle 1000 €	n 3000 €	n 3000 €	n 5000 €	n 10000 €	n 20 000 € (v 2015)
Isännöitsijät Suuntaa antavat mittaukset					
Patterin lämpötilan mittaus	+	++	+++	+++	+++
Isojen eristevirheiden tarkastus	+	++	+++	+++	+++
Tuloilman lämpötilan mittaus	+	++	+++	+++	+++
Seinän, lattian, katon lämpötilan mitt.	+	++	+++	+++	+++
Työmaat Omatoiminen laadunvalvonta					
Ilmavuotojen paikannus		+	++	+++	+++
Eristevirheiden havainnointi		+	++	+++	+++
IV mittaukset		+	++	+++	+++
Seinän, lattian, katon lämpötilan mittaus		+	++	+++	+++
Konsultti Konsultointi ja raportointi					
Rakennusten lämpökuvaukset RT kortin mukaisesti			+	++	+++
Lämpötilaindeksin käyttö			+	++	+++
Talotekniikan mittaukset			+	++	+++
Sisäilmatutkimukset			+	++	+++
Tutkimus Tutkimus ja kehitystehtävät					
Uusien sovellusten kehittäminen				+	+++
Rakennusfysikaalinen tutkimus				+	+++
Vaativien tutkimushankkeiden mittaukset				+	+++
Kehitystehtävät				+	+++

Kuva 4. Flir- kameroiden vertailutaulukko [3].

Nykykameroilla kuvan ottaminen on teknisesti varsin helppoa. Tarkennetaan kohde kameran näyttöön ja painetaan liipaisimesta. Kuva tallentuu kameran muistiin tai erilliselle muistikortille. Hankaluus tulee ympäröivien olosuhteiden huomioimisesta ja emissivisyykskerroimen asettamisesta

Kameraan voi myös yhdistää erilaisia lisätarvikkeita. Rakennusten lämpökuvauksissa voidaan liittää kameraan kosteus- ja lämpömittari, jolloin tiedot saadaan mittarista, eikä niitä tarvitse erikseen syöttää kamera-asetuksiin. Sähkömittauksissa lisälaitteena voidaan käyttää esimerkiksi pihtimittaria. Tietoa siirretään langattomasti apulaitteen ja kameran välillä.



Kuva 5. Lämpö- ja kosteusmittari FLIR MR7 sekä pihtivirtamittari MC72 [2].

4.2 Lämpökameroiden kehitys

Lämpökameroiden kehitys alkoi 50-luvulla. Kameroita kehitettiin aluksi sotateollisuuden tarpeeseen pimeätähtäykseen ja lämpöjälkeen perustuvaan valvontaan. Ensimmäiset sarjavalmistetut kamerrat valmistettiin vuonna 1958. Valmistaja oli AGA infrared AB (nykyisin FLIR Systems). [2]

4.3 Skanneritekniikka (pyyhkäisytekniikka)

Skanneri- eli pyyhkäisytekniikassa kuva on jaettu pisteisiin. Kameran detektori, eli ilmaisinta, mittaa joka pisteestä tulevan lämpösäteilyn ja muodostaa näin lämpökuvan piste pisteeltä. Jälkikäteen kuvasta voidaan tutkia jokaisen pisteen lämpösäteilyä erikseen. Skanneritekniikassa ilmaisinta jäähdytetään nestemäisellä tyypellä pitkäaaltoalueella (8–12 μm) -200 °C:seen ja lyhytaaltoalueella (2–5 μm) -80 °C:seen. Kameroita oli jäähdytettävä koska ilmaisimateriaalit olivat herkkiä lämpösäteilylle ainoastaan nestemäisen tyypin lämpötiloissa. Jäähdytysaineena käytettiin myös heliumia. Heliumissa käytettiin suljettua kiertoa, eikä jäähdytysainetta tarvinnut lisätä. [2]

4.4 Matriisi-ilmaisintekniikka (detektori)

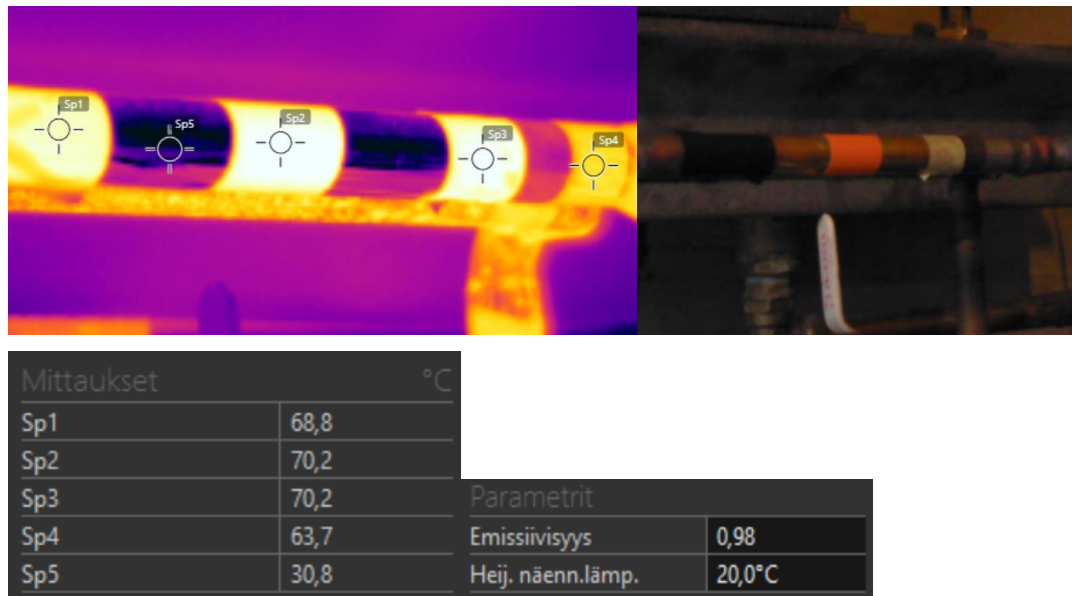
Matriisi-ilmaisintekniikka kehitettiin 90-luvulla. Tekniikka perustuu lämpösäteilyn aiheuttamaan ilmaisimen resistiiviseen muutokseen. Ilmaisimissa käytetään sähkövastuksissa

käytettävää materiaalia. Mikropolometriset ilmaisimet eivät tarvitse erillistä jäähdytystä. Kameroiden stabiilisuus on parantunut. Uusin matriisi-ilmaisim on kvanttikaivodetektor, jolla pystytään erottelemaan 0.03 °C:n lämpötilaeroja. [2]

5 LVIA- järjestelmät

Lämpökamerakuvausta voidaan hyödyntää esimerkiksi LVIA-järjestelmien ennakoivassa huollossa, laitteistojen valvonnassa ja lämmityskaudella vian paikallistamisessa sekä eristysten tarkastuksessa ja viemäritukosten paikantamisessa. Lisäksi lämpökamerakuvaus soveltuu ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan, kanaeristyksien sekä LTO:n toiminnan mittauksiin. Automaatikassa sitä voidaan hyödyntää toimilaitteiden toiminnan tarkkailuun sekä pumppujen ja moottoreiden kunnon arviointiin.

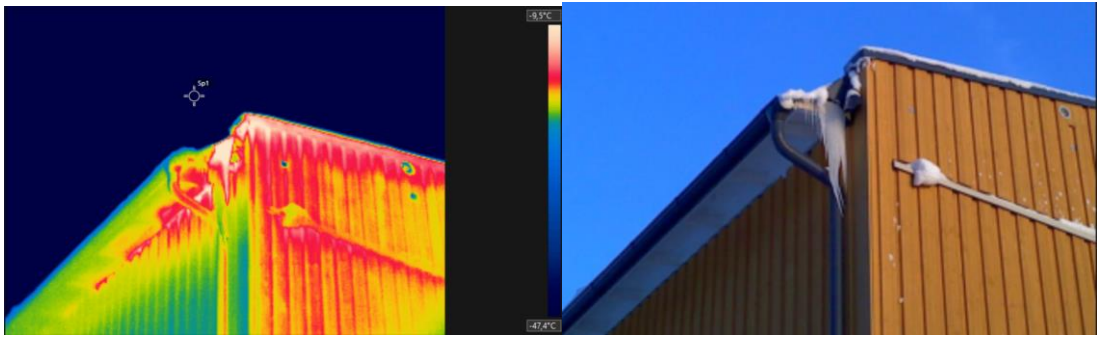
LVIA-järjestelmien lämpökamerakuvauksessa on otettava huomioon moninaisia asioita. Kuvausolosuhteet ja kuvattavat kappaleet asettavat omat rajoitukset, mikä tulee huomioida kuvatessa ja kuvia tulkitessa. Kuvien tulkittavuuteen vaikuttaa lämpötilaskaala, väripaletti ja kuvattavan kohteen emissiivisyys. Metalliputket ja ilmastointikanavat ovat yleensä kiiltävää materiaalia, jotka heijastavat ympäristön lämpötiloja eivätkä kohteiden omia lämpötiloja. Putkia kuvatessa on hyvä käyttää korkean emissiivisyyden omaavaa teippiä estämään ympäristön lämpötilan heijastuksia ja mahdollistamaan oikean lämpötilan erottuminen kuvissa. Teipin värillä ei sinänsä ole väliä, kunhan se ei ole ilmastointiteippi.



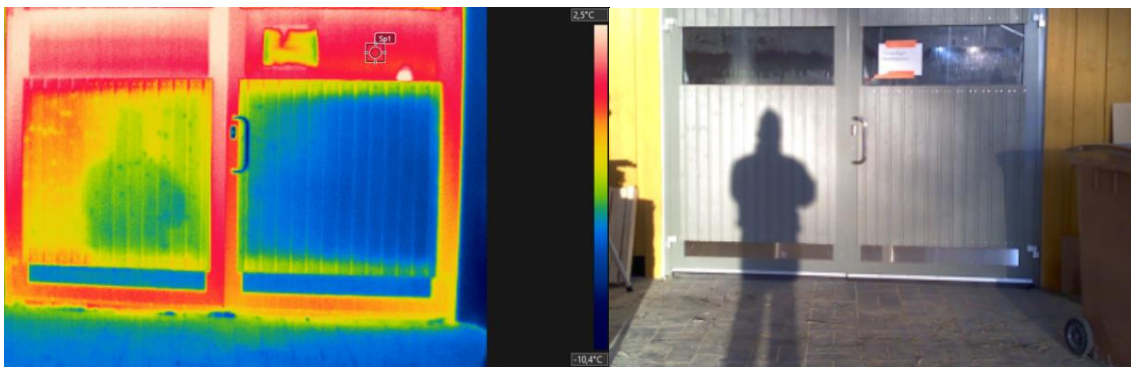
Kuva 6. Sp1 musta kiiltävä rakennusteippi, sp2 oranssi rakennusteippi, sp3 maalarinteippi, sp4 ilmastointiteippi, sp5 kiiltävä kupariputki [4].

Kuten kuvasta 6 näkyy, emissiivisyyden ollessa 0,98 mattapintainen rakennusteippi ja maalarinteippi antavat saman tuloksen, kiiltäväpintainen musta teippi heijastaa vähän ympäröivää lämpötilaa ja ilmastointiteipissä ero on jo yli 5 °C. Kirkkaan kuparin emissiivisyys on 0,03 ja paljaan putken lämpötila on lähes kokonaan ympäristön heijastumaa. Tarkistusmittauksen tulos on 70,0 °C. Teipin värillä tai materiaalilla ei ole merkitystä. Tärkeämpää on, että teipin pinta on mattamainen. Kiiltäväpintainen teippi antaa yli yhden asteen poikkeaman.

Kuvien tulkintaan vaikuttaa myös lämpötilaskaalan valinta. Kameran valikosta valitaan automaatti, jolloin kamera asettaa itse lämpötila-alueen kuvasta löytyvän kylmimmän ja kuumimman pisteen mukaan. Aluetta voi rajoittaa kamerasta tai kuvankäsittelyohjelmassa. Varsinkin talvella, ulkona suoritetuissa kuvauksissa on syytä rajata kuva tarkasti kuvattavaan kohteeseen ja lämpötila skaalata vastaamaan kuvattavan järjestelmän minimi- ja maksimilämpötilaa. Pilvetön taivas antaa ulkolämpötilaksi yli -40 °C mutta kuvaushetkellä todellinen lämpötila oli -18 °C. (kuva 7). Ulkokuvausta ei tulisi suorittaa auringonpisteellä. Suora auringonpaiste vääristää lämpökuvaa ja vaikeuttaa tulkin-



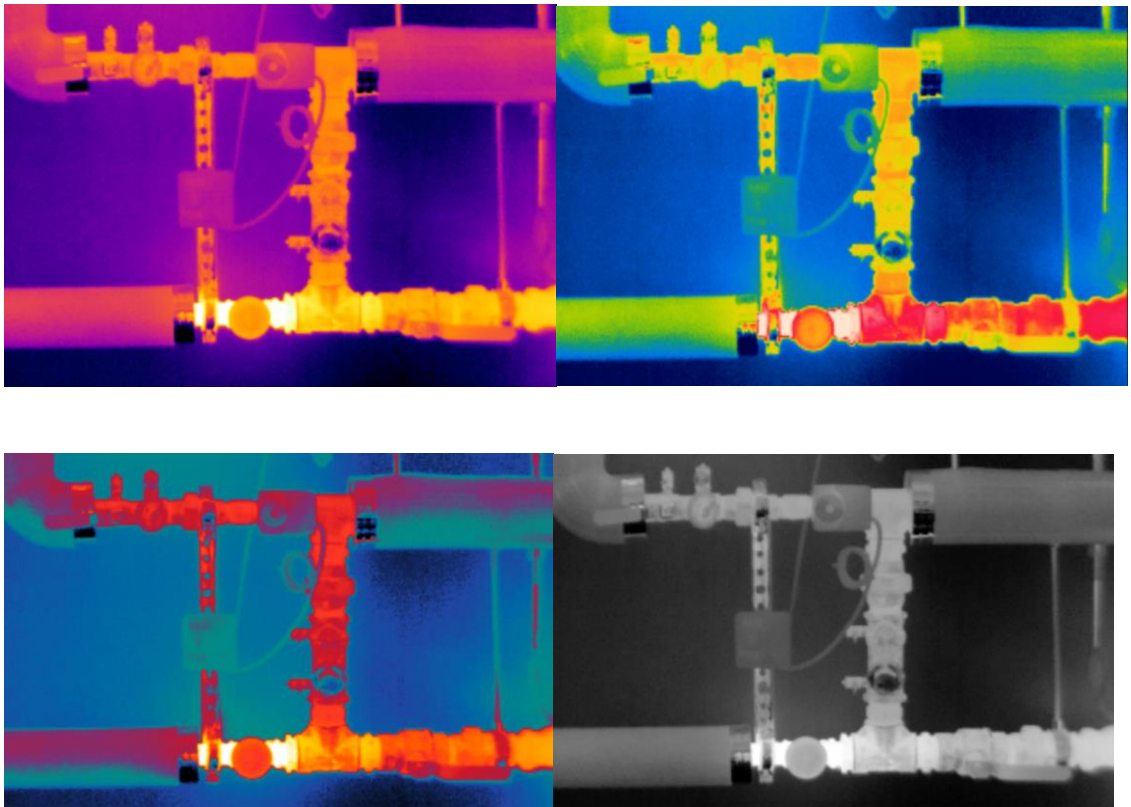
Kuva 7. Taivas näyttää yli -40.



Kuva 8. Auringonpaisteesta otettu kuva. Kuvaajan varjo erottuu ovesta [4].

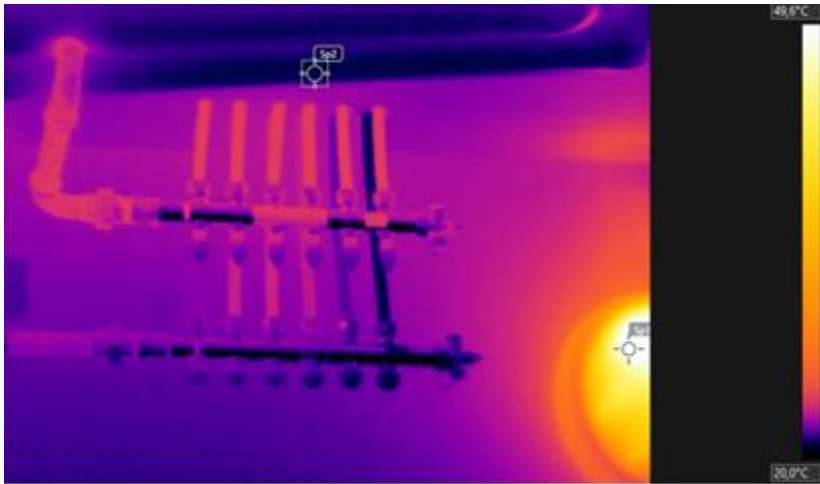
Kuvassa 8 näkyvät lähes kaikki virheet, joita ulkokuvauksessa voi tulla. Kuvataan kohti suoraan, jolloin selän takaa paistava aurinko heijastuu ikkunapinnoista. Kuvaajan varjo näkyy lämpökuvassa ja ovien alareunojen potkulevyt heijastavat kivilaatoituksen lämpötilaa. Lähimpänä todellista ulkolämpötilaa on kuvan oikea ala-reuna jätteenastian varjossa.

Mallista riippuen kameran valikosta löytyy noin 20 erilaista väripalettia. Väripaletin valinta vaikuttaa kuvien tulkittavuuteen. Yleisimmät paletit ovat sateenkaari ja rauta. LVIA-kuvauksissa olen huomannut, että rautapaletti toimii parhaiten kuvien tulkinnassa. Sateenkaari on visuaalisempi, mutta värien paljous voi haitata kuvan tulkintaa. (Kuva 9)

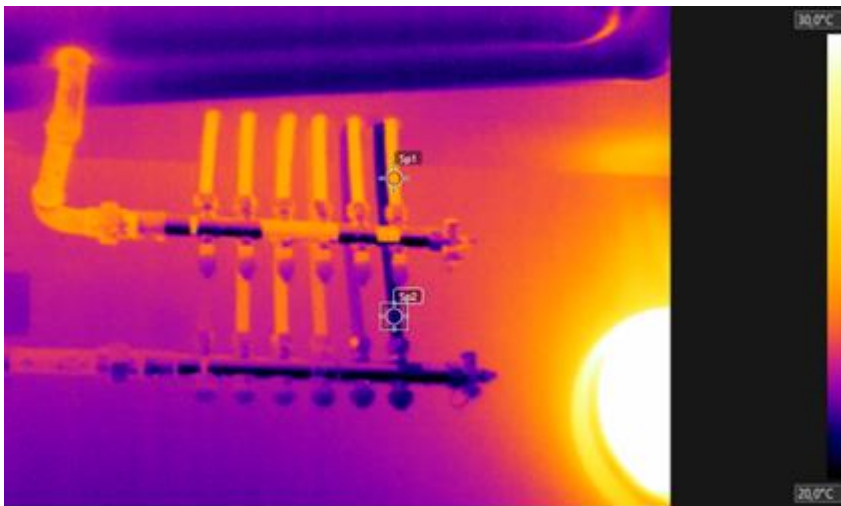


Kuva 9. Vasen yläkuva rauta, oikea yläkuva sateenkaari, vasen alakuva laava, oikea alakuva harmaa [4].

Lämpötilaskaalalla on iso merkitys eri järjestelmissä. Skaala valitaan järjestelmän maksimi- ja minimilämpötilan mukaa. Lämmitysverkoston lämpötilaerot ovat normitaloissa maksimissaan 30 °C ja jäähdytysverkostossa 6 °C. Kuvissa 10 ja 11 näkyy skaalauksen merkitys. Kuvan lamppu nostaa maksimilämpötilaa. Näyttäisi, että oikean puoleinen lämmityspiiri ei toimisi ollenkaan. Todellisuudessa piirin meno- ja paluuputken lämpötilaero on vain 3,7 °C. Johtopäätös kuvasta on, että jakotukin piirien virtaamat eivät ole tasapainossa tai viimeisen piirin tilassa on poikkeuksellinen lämmöntarve. Tilan olosuhde on syytä tutkia.



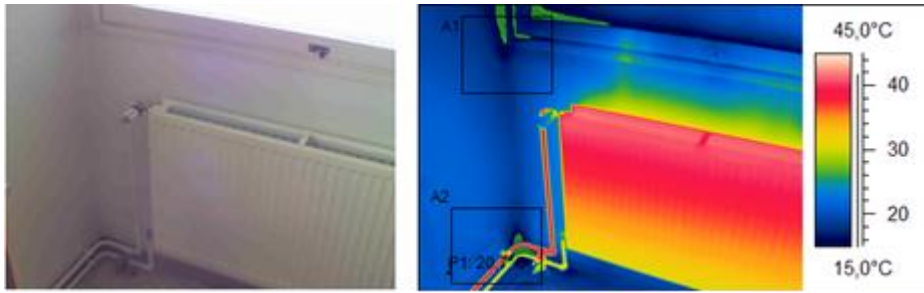
Kuva 10. Kuva skaalautuu kylmimmän ja kuumimman pisteen mukaan Sp1 49,5 °C ja Sp2 21,3 °C [4].



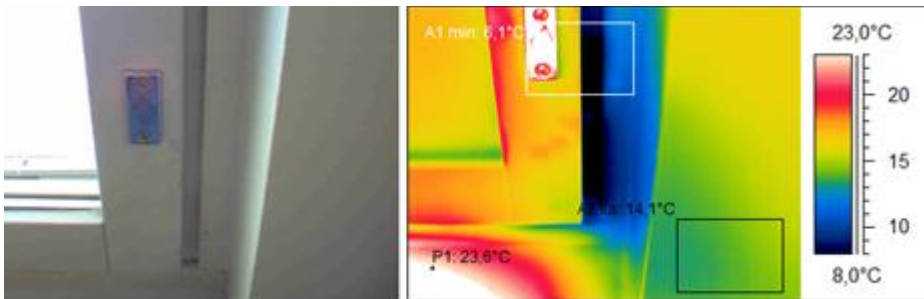
Kuva 11. Sp1 24,8 °C ja sp2 21,1 °C [4].

5.1 Lämmitysverkostot

Lämmitysverkostojen seurantaan ja vianhakuun lämpökamerakuvaus sopii erinomaisesti. Erityisesti kiinteistöhuollossa lämpötilojen seuranta helpottuu ja nopeutuu huomattavasti. Asukkaan reklamoidessa huoneiston kylmyydestä tulee aina käydä paikan päällä tarkastamassa vian aiheuttaja. Lämpökameralla tutkittaessa saadaan nopeasti kartoitettua huoneen lämpötilaolosuhteet. Vian aiheuttaja voi olla lämmityspatterissa (kuva 12), huoneessa voi olla muita lämmönlähteitä, jotka sulkevat termostaatin, tai vika voi olla vuotava ikkunatiiviste (kuva 13).

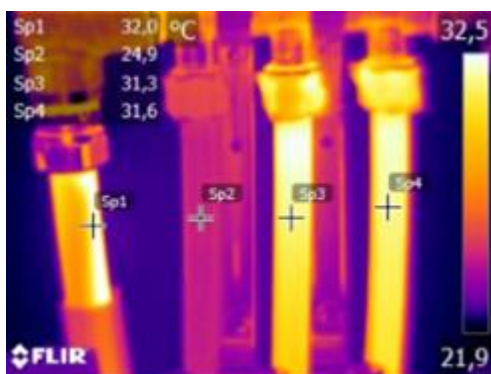


Kuva 12. Lämmityspatterin toimiessa oikein, patterin alareuna on viileämpi [5].

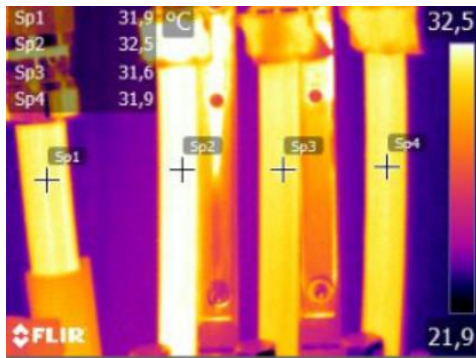


Kuva 13. Ikkunan tiivistevuoto aiheuttaa vedontunnetta [5].

Lattialämmityksen toiminnan tarkastuksessa lämpökamera antaa nopean kuvan verkoston toiminnasta. Lattialämmityksen lämpötilaerot ovat pieniä, joten lämmityspiirien välisiä eroja on vaikeampi havaita muilla tavoilla. Jakotukin vasemmanpuoleinen piiri on selvästi kylmempi kuin muut piirit (kuva 14). Tutkimuksessa selvisi, että venttiilin kara on jumissa. Korjauksen jälkeen piirit ovat taas tasapainossa (kuva 15).

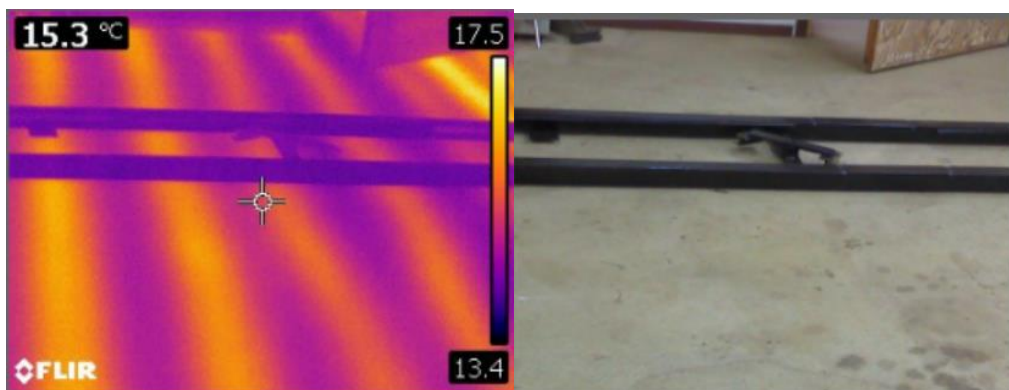


Kuva 14. Vasemman puoleinen piiri (Sp2) on selvästi kylmempi kuin muut piirit [4].



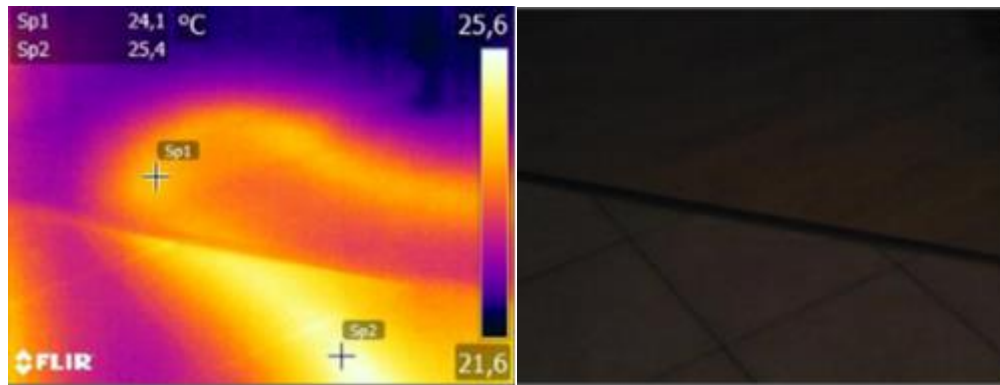
Kuva 15. Korjauksen jälkeen [4].

autokorjaamoon asennetaan uusi nosturi, jota varten lattiaan on pultattava kiinnityskehikko nosturille. Tilassa on lattialämmitys eikä putkien paikkoja tiedossa. Lattialämmityksen lämpötilaa nostettiin 5 °C ja vuorokauden kuluttua tehtiin lämpökamerakuvaus. Näin nosturin kiinnityskehikko saatiin pultattua lattiaan rikkomatta lämmitysputkia (kuva 16).



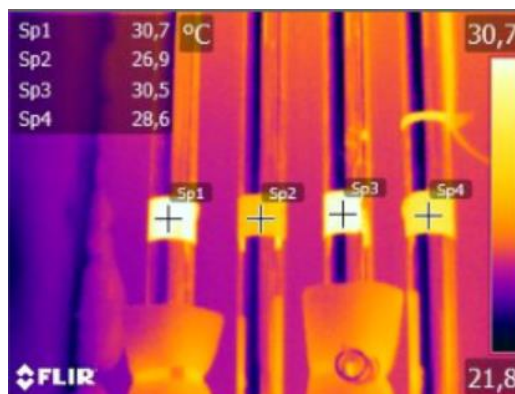
Kuva 16. Kehikon kiinnityskohtia sovitetaan lämmitysputkien väliin [4].

Lattialämmitysputkistoa tutkittaessa on otettava huomioon lattiamateriaali. Laatta- ja laminaattilattia antaa hieman eri pintalämpötilan, mikä pitää ottaa huomioon arvioitaessa lämmityksen toimivuutta (kuva 17).



Kuva 17. Pintamateriaalin vaikutus lämpökuvaan ylhäällä laminaatti, alhaalla keraaminen laatta [4].

Tarkastellaan lämmitysjärjestelmää jossa on kaksi lämmityspiiriä, laattalattioille ja asuintiloille omilla säätöpiireillä sekä omilla pumpuilla. Asuintilojen piiri on jaettu vielä autotalille. Autotallissa pidetään talvella n. +17 °C:n lämpötilaa. Autotallin linjassa ei ole erillisiä lämpömittareita, joten säätöä on tehty mututuntumalla. Kumpaakin piiriä ajetaan samalla käyrällä. Huomataan, että menoveden lämpötila (Sp1 ja Sp3) on sama mutta paluuvessä (Sp2 ja Sp4) on pieni ero (kuva 18). Ero johtuu autotallin piiristä. Siinä jäähtymä on 9.6 °C (kuva 19), ja samalla jäähtyy myös yhdistetty paluuputki. Johtopäätöksenä voidaan pitää, että autotallissa on iso energiantarve. Autotallissa on kaksi nosto-ovea ja painovoimainen ilmanvaihto. Jos halutaan pienentää autotallin energian tarvetta, edellä mainittuihin asioihin on syytä puuttua.



Kuva 18. Sp1, Sp2 asuintilojen ja autotallin sekä Sp3, Sp4 laattalattioiden piiri [4].



Kuva 19. Autotallin piirin jäähtymä on 9,6 [4].

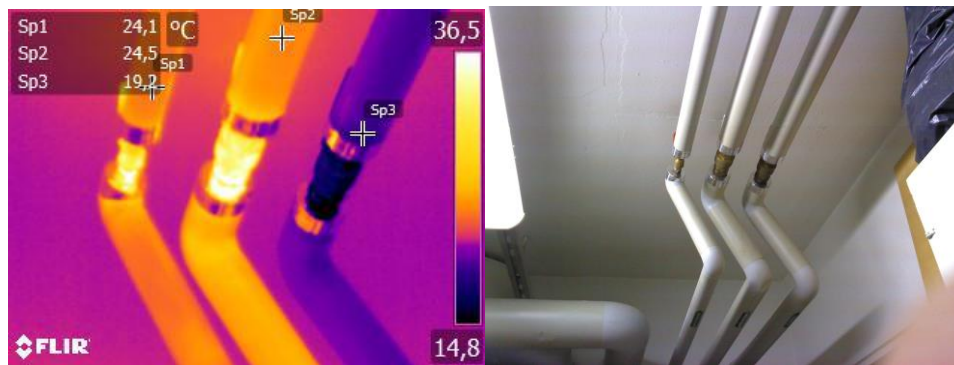
5.2 Vesi ja viemärlaitteet

Lämpimän käyttöveden laitteistossa tutkittiin syöttösekoitusventtiilin toimintaa. Lämpötilojen perusteella venttiili toimii oikein, mutta termostaatti on asennossa 1. Minimiasennossa sekoitetun veden lämpötila pitäisi olla 38 °C. Termostaatti on jumissa ja pitäisi vaihtaa. Lämmönlähde on Rica 2000 Öljykattila, jossa poltinta ohjaa käyttövesitermostaatti. Vika ei käytännössä ole vaikuttanut käyttöön, mutta vika lisää öljyn kulutusta ja on siksi syytä korjata ensi tilassa (kuva 20).



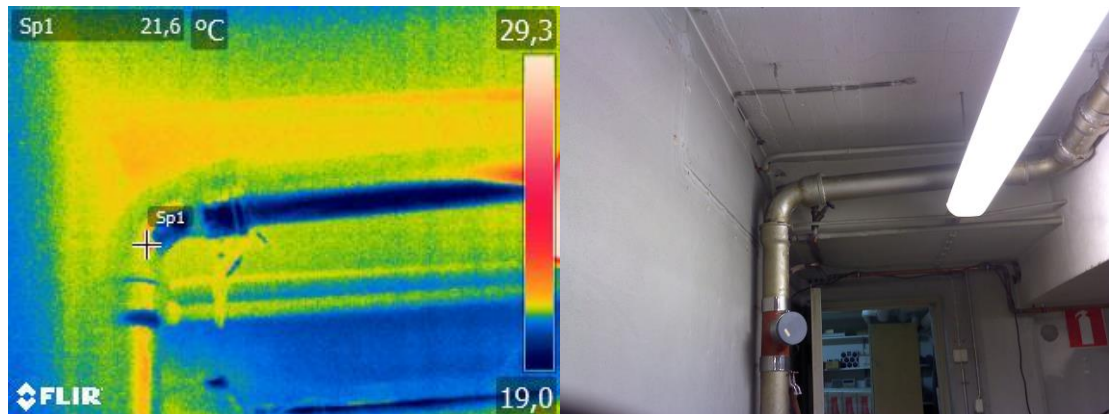
Kuva 20. Lämpimän käyttöveden syöttösekoitusventtiili [4].

Venttiilien lämpötilasta voidaan päätellä lämpimän käyttöveden kiertojohdon toiminta. Verkoston joka osassa kiertoveden lämpötilan tulisi olla 50 °C. Alakattojen yläpuolella olevien linjojen eristyksen toimivuus voidaan arvioida kuvaamalla tarkistusluukuista venttiilien lämpötilat (kuva 21).



Kuva 21. Kiertojohtoon lämpötila tarkistus katonrajassa [4].

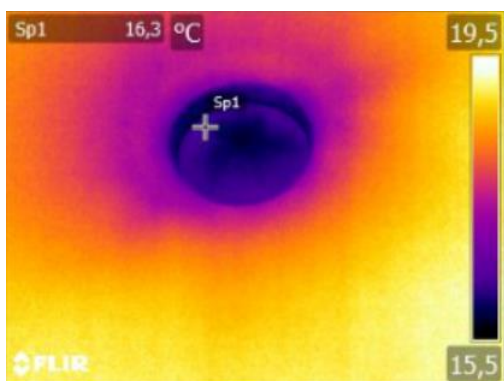
Viemäreistä voidaan seurata tukkeutumista. Vanhat valurautaviemärit tukkeutuva ajan myötä. Lämpökameralla voidaan havaita alkava tukkeuma ennen kuin viemäri lakkaa vetämästä ja tulvii (kuva 22).



Kuva 22. Valurautaviemäriin tukkeuma erottuu selkeästi viileämpänä [4].

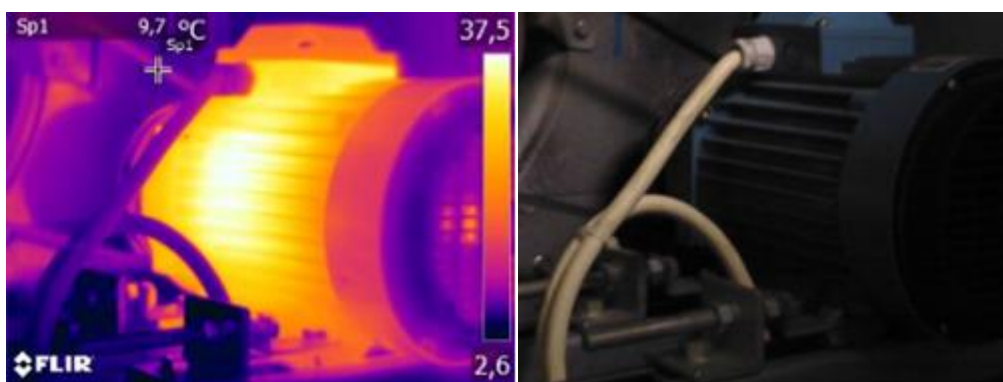
5.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvauksessa tulee ottaa huomioon kanavien emissiivisyys. Kiiltävä kanava heijastaa helposti ympäröivää lämpötilaa. Kuvauksen tulee olla 30°–40° ja heijastukset tulee mahdollisuuksien mukaan peittää. Jos kuvattavaan kanavaan pääsee lähelle kannattaa käyttää teippiä, jonka emissiivisyys on tiedossa. Tuloilmaventtiileistä nähdään tuloilman lämpötila, ja katon jäähtymän perusteella venttiilin ilmanohjauspelti on paikallaan ja ohjaa ilmaa ylävasemmalle (kuva 23).



Kuva 23. Tuloilmaventtiili [4].

Ilmanvaihtokoneen puhallin on vanhemmissa malleissa kiilahihnavetoinen. Puhallinkammio sisältää silloin myös erillisen moottorin (kuva 24). Moottorin käämien, laakereiden ja kiilahihnan säännöllinen tarkkailu kuuluu ennakoivaan kiinteistön huoltoon.



Kuva 24. Ilmanvaihtokoneen puhallinmoottori ja kiilahihna [4].

6 Muita lämpökuvauksen sovellutuksia

6.1 Sotateollisuus ja viranomaistoiminta

Varsinainen lämpökameroiden kehityksen liikkeellepanijana oli sotateollisuus. Se tarvitsi ääriolosuhteisiin maaliinhakujärjestelmän, tiedustelutoiminnassa yöaikaan ja pimeässä tähtäykseen tarvittiin kannettavia laitteita. Viranomaistoiminnassa lämpökamera helpottaa kadonneiden henkilöiden etsintää (kuva 25). Rajavalvonnassa lämpökamera auttaa isojen alueiden valvonnassa. Pelastuslaitos käyttää lämpökameraa myös metsäpalojen

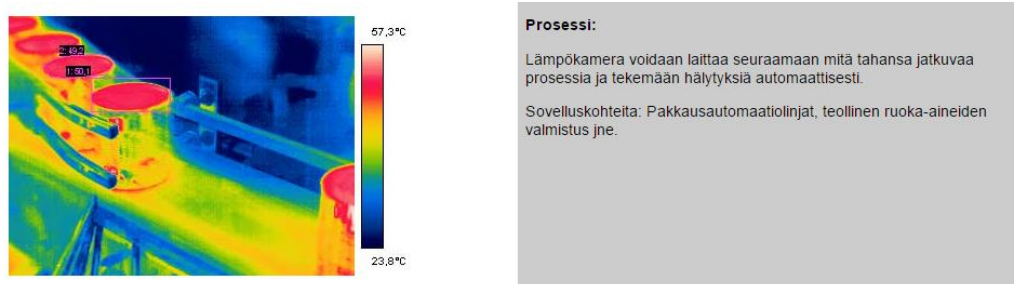
tarkkailuun ja palon jälkiseurantaan. Lämpökamera paljastaa tuhkan alta kytevät palo-
pesäkkeet joita, silmällä on mahdotonta havaita.



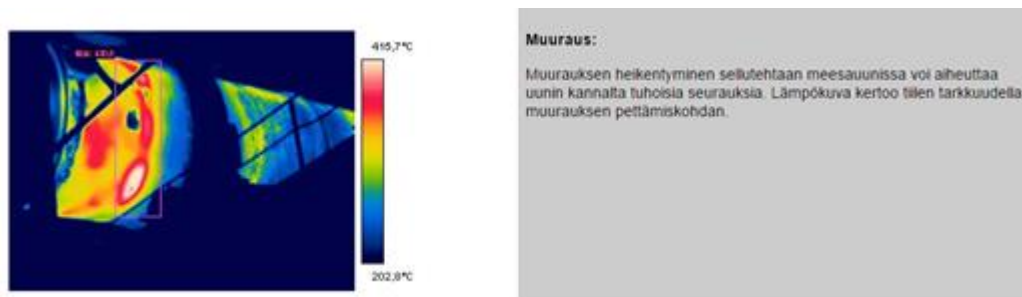
Kuva 25. Viranomaisten yövalvontaa [5].

6.2 Prosessiteollisuus

Prosessiteollisuudessa lämpökameraa voidaan hyödyntää moneen eri tarkoitukseen. Paperiteollisuudessa kiinteitä kameroita käytetään paperin laadun tarkkailuun. Paperirullakoiden laakereiden kunnan seurantaan. Pakkausteollisuudessa on sovellutuksia laadunseurantaan, liukuhihnojen laakereiden kunnan ja erilaisten prosessien tarkkailuun (kuva 26). Ensimmäinen merkki esimerkiksi laakerin rikkoontumisesta on lämmön nousu. Reaaliaikaisella lämpötilojen tarkkailulla voidaan alkava vika havaita ennen kuin se aiheuttaa ongelmia ja korjata hallitusti ilman tuotantokatkoja. Esimerkiksi meijeriteollisuudessa pakkauslinjan tai pääpumpun rikkoontuminen voi pysäyttää koko tuotannon useaksi päiväksi. Ennakoimaton seisokki voi maksaa kymmeniä tuhansia euroja tunnissa.



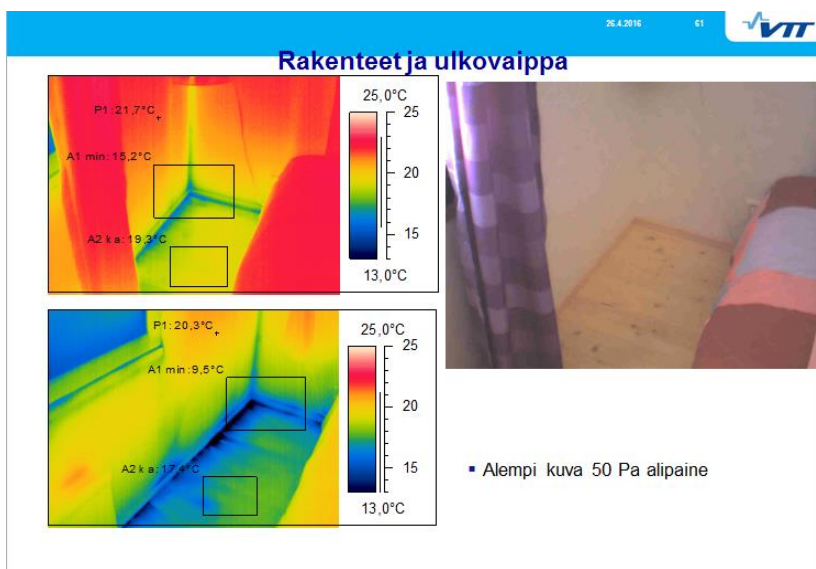
Kuva 26. Seurannassa voi olla tuotteen tasalaatuisuus tai liukuhihnan laakerit [5].



Kuva 27. Ennakoivassa huollossa uuni voidaan korjata ennen rikkoontumista [5].

6.3 Rakennusteollisuus

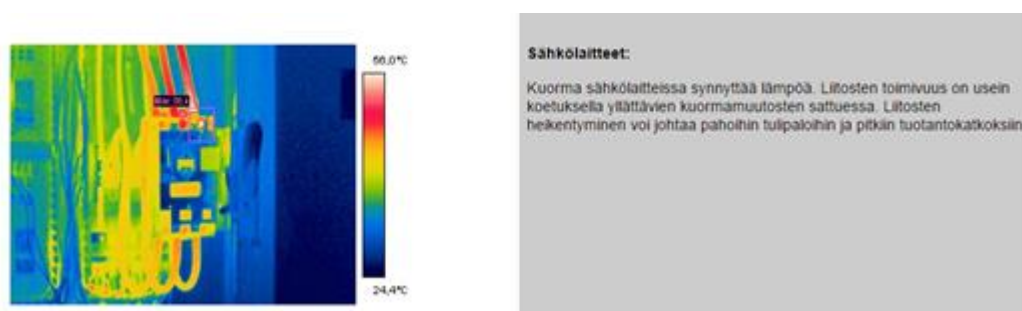
Rakennusten lämpökuvaukset vauhdittivat energiakriisin myötä 70-luvulla. Silloin alettiin kiinnittää huomiota rakennusten energiatehokkuuteen. Vuonna 1985 astui voimaan standardi SFS 5132 *Lämmöneristäminen ja rakennuksen termografia*. Standardi määrittelee lämpökuvauksen vaatimukset ja kuvaukseen kuuluvan raportin sisällön. Ulkovaiipan lämpövuotoja voidaan tutkia lämpökameralla kun sisä- ja ulkolämpötilaero on 10–15 °C. Sertifioitua rakennusten lämpökuvaukseen kuuluu sisäpuolisessa kuvaustilanteessa tehdä 50 Pa:n alipaine (kuva 28). Lämpökameralla pystytään paikantamaan myös rakenteissa mahdollisesti olevaa kosteutta ja homeaurioita. Rakennuksia kuvatessa on otettava seuraavat asiat huomioon. Aurinko ei saa paistaa rakennuksen ulkopintaan, sisä- ja ulkolämpötilaeron on oltava riittävä, ilmanpaine vaipan yli mitataan, ja talon ilmanvaihto toimii normaalisti.



Kuva 28. Alipaineessa ilmavuoto näkyy viuhkamaisena kylmänä [5].

6.4 Sähkötekniikka

Teollisuudessa sähköpuolen kunnossapidossa lämpökamera on yleistymässä hyvää vauhtia. Vaiheiden ylikuormitukset ja huonot johtoliitokset lisäävät vastusta, mikä aiheuttaa lämmön nousua (kuva 29). Vikojen paikantaminen manuaalisesti mittaamalla on aina työturvallisuusriski. Sähkökaapissa voi olla satoja kontakteita, ja on hyvinkin työlästä mitata jokainen kontaktori erikseen. Lämpökameralla saa heti yleissilmäyksen koskematta fyysisesti laitteisiin.



Kuva 29. Sähkökaapissa kontaktoreiden huonot johtoliitokset näkyvät muilta liitoksia kuumempina [5].

Sähkömoottoreissa nykypäivänä yleistyy taajuusmuuttaja-ohjaus. Näissä moottoreissa kuormitus ja lämpötila vaihtelee ja niihin ei lämpökuvauksessa kannata keskittyä. Kiinteistönhoidon puolella kuitenkin vanhoja moottoreita, joihin pätee tietyt lainalaisuudet

joita noudattamalla vältetään pitkiltä seisokeilta. Varsinkin suurissa moottoreissa (yli 11 kW) moottoreiden toimitusajat saattavat olla hyvinkin pitkiä. Seuraamalla käämien ja laakereiden lämpötiloja säännöllisesti, voidaan ennakoida moottorin rikkoontuminen ja vaihtaa se uuteen. (kuva 30) [7]

”Pienissä moottoreissa (0,2–1,5 kW) käämin lämpenemä on tyypillisesti 35-60°C. Keskikokoisissa moottoreissa (2,2–7,5 kW) käämin lämpenemä on tyypillisesti 50 – 65°C.

Suurissa moottoreissa (11kW →) moottorin lämpenemä on tyypillisesti 60 – 85 °C.

Käämin lämpenemä = käämin ja ympäristön välinen lämpötilaero.

Moottorin pintalämpötila on yleensä 15 – 25 ° käämin lämpötilaa pienempi (empiirinen tieto), asiaan vaikuttaa moottorin runkomateriaali (alumiinilla parempi lämmönjohtavuus kuin valuraudalla), moottorin napaluku (mitä pienempi napaluku, sitä korkeampi staattorin selkä → pidempi lämmönsiirtomatka) sekä moottorin oman tuulettimen jäähdytysteho. Aivan pienissä moottoreissa, missä ei ole tuuletinta, nuo arvot eivät ole valideja.

Moottorit ovat oikosulkumoottoreita ja kuuluvat lämpötilaluokkaan B (maksimi lämpenemä 105 °C) ja eristeluokkaan F (moottorin sähköiset eristeet kestävät maksimissaan 155 °C lämpötilan)” [7]

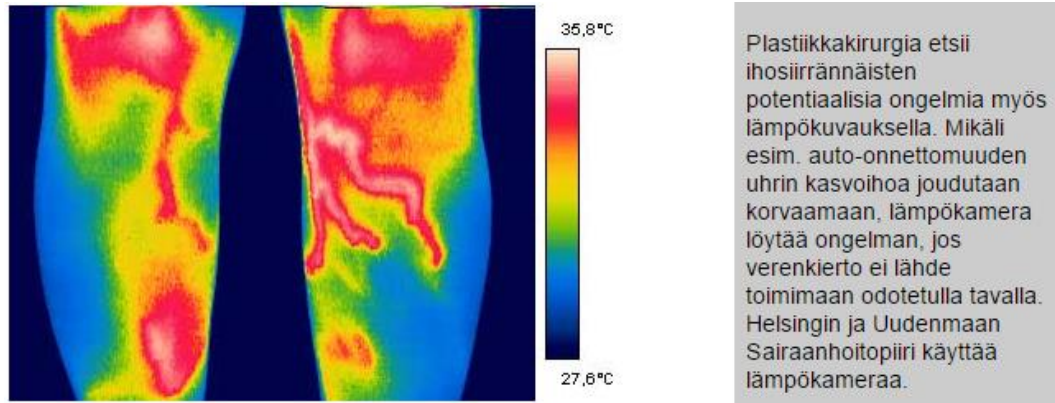


Kuva 30. Pumpun moottori normaalilämpötilassa [4].

6.5 Lääke- ja eläinlääketiede

Lääketiede hyödyntää lämpökamerakuvausta verenkiertohäiriöiden tutkimiseen (kuva 31). Ihosiirrännäisten seurannassa lämpökamerakuva paljastaa, jos siirrännäisessä ei

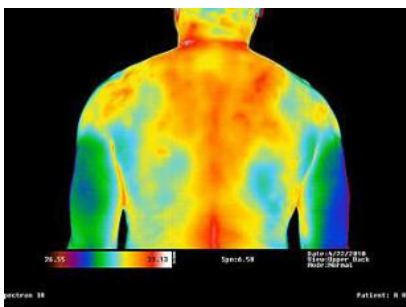
veri kierrä jo ennen kuin näkyviä oireita ilmenee. Varjoaineiden levittäytyminen verenkiertoon voidaan selvittää ennen varsinaista varjoainekuvausta. Rintasyövän havainnointia helpottaa esiseulonta röntgenkuvausta potilaalle helpommalla tavalla (kuva 32). Urheilulääketiede tutkii erilaisten harjoitteiden vaikutusta lihaksistoon, jotta löydetään maksimaalinen teho harjoitteluun (kuva 33).



Kuva 31. Verenkiertohäiriöt ja tulehdukset näkyvät lämpökuvassa [5].

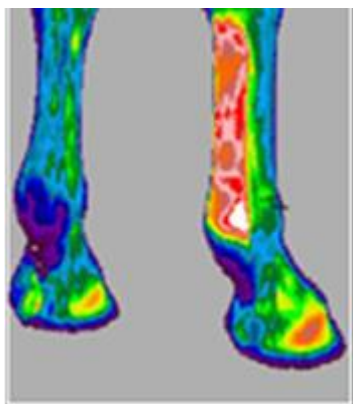


Kuva 32. Lämpökameran hyödyntäminen rintasyöpätutkimuksessa [5].

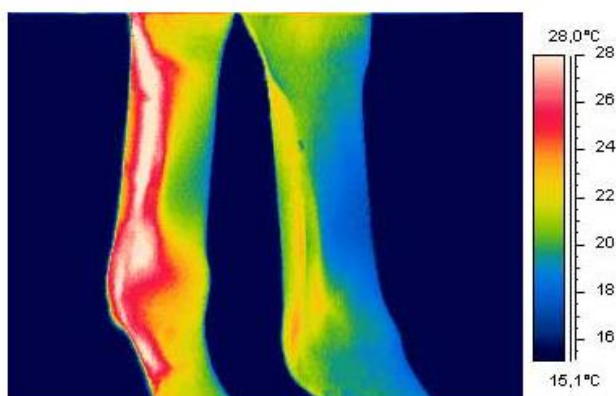


Kuva 33. Rasituksen vaikutus lihaksistoon [5].

Eläinlääketiede hyödyntää lämpökamerakuvausta tulehdusten etsimiseen. Hevosurheiluissa seurataan jatkuvasti hevosten jalkoja, jolloin hevosta voidaan lepuuttaa ennen kuin tulehdus vahingoittaa jänteitä (kuvat 34 ja 35).



Kuva 34. Jännetulehdus näkyy lämpötilan nousuna tulehdusalueella [5].



Hevoset:

Eläin ei osaa kertoa paikkaa mihin sattuu. Lämpökuvauksella löydetään mm. ravihevosten rasitusvammat.

Kuva 35. Kilpahevosilla tarkkaillaan tulehduksia [5].

6.6 Ajoneuvot

Autoon asennettava lämpökamera parantaa ajoturvallisuutta. Kamera pystyy tunnistamaan lämpölämpöjäljen usean sadan metrin päästä (kuva 36). Järjestelmä toimii hyvin kaupungissa, mutta ennen kaikkea maanteillä kamera varoittaa peuroista, hirvistä ja poroista.



Kuva 36. Jalankulkija ylittää katua vastaantulevan auton takaa [5].

7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli tutkia lämpökuvauksen soveltuvuutta LVIA-tekniisiin järjestelmiin ja tuottaa pohjamateriaalia sertifiointikoulutuksen oppimateriaaliin. Selvityksen perusteella voi päätellä, että menetelmä soveltuu lämmitysjärjestelmien vianhakuun lämmityskaudella erinomaisen hyvin. Se nopeuttaa vian rajaamista ja menetelmällä voidaan tutkia isojakin kiinteistöjä tehokkaasti. Suurin hyöty tulee kuitenkin kiinteistöhoitoon. Tiukentuvat energiatehokkuusvaatimukset ohjaavat rakennusten omistajia tehostamaan ennakivoivaa kiinteistöhoitoa. Kameroiden hinnat putoavat jatkuvasti, ja yleistarkkailuun soveltuvat kamerat ovat jo nyt kiinteistöhoitoyritysten ulottuvissa.

Lämpökuvien tulkinta asettaa vaatimuksia kuvien tulkitsijoille. Kuvaajan täytyy tuntea talotekniset järjestelmät ja mistä kannattaa ottaa kuvia sekä olosuhteiden vaikutus kuvaustilanteeseen. Myös eri materiaalien emissiivisyys on tunnettava ja esimerkiksi kuinka sinkitystä kanavasta saadaan luotettava lämpötilatieto. Näiden syiden perusteella on panostettava kuvausten suorittajien pätevyyteen koulutuksen kautta. Sertifiointijärjestelmällä varmistetaan kuvaajien ammattitaito ja jatkuva kouluttautuminen. Näin saadaan laadukkaita ja todenmukaisia raportteja helpottamaan kiinteistöjen energian hallintaa.

Lähteet

1. Valkeapää, Aki. 2016. Termodynamiikka ja virtaustekniikka, luentomateriaali. Espoo: Metropolia.
2. Vihinen, Seppo. 2015. Level1, Lämpökuvauskoulutus, Vantaa: Infradex Oy.
3. Paloniitty, Sauli. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Jyväskylä: Rakennusteollisuus RT ry.
4. Kauppi, Pekka. 2015. Oma kuvapankki. Riihimäki. Kuvattu 5.1.2016
5. Kauppinen, Timo. 2015. Lämpökuvauksen käyttösovellutukset ja esimerkkejä teollisuudesta ja muista sovellutuksista. PPT-koulutusmateriaali. VTT, Rakennusten teknologiat ja palvelut: Oulu.
6. Standardi SFS 5132. 1985. Lämmöneristäminen ja rakennuksen termografia.
7. Koponen, Mikko, 2017, Huoltoteknikko, WILO Nordic AB: Espoo, Sähköposti 11.1.2017

Eräiden aineiden emissiivisyyksiä

Taulukkoon on koottu eräitä rakennus- ja talotekniikkaan liittyvien materiaalien emissiivisyyksilukuja [3].

Materiaali	Erittely	Lämpötila	Emissiivisyys
Alumiini	eloksoitu	70	0,61
Asfaltti		4	0,97
Betoni	kuiva	36	0,95
Emali		20	0,90
Galvanoitu rauta	happettunut	20	0,28
Graniitti	karkea	21	0,88
Hiekka		20	0,90
Iho	ihmisen	32	0,98
Kaakelilaatta	lasitettu	17	0,94
Kipsi		20	0,8-0,9
Kromi	kiillotettu	50	0,1
Kuitulevy	kova, käsittelemätön	20	0,85
Kumi	kova	20	0,95
Kupari	kiillotettu	22	0,015
Kupari	hapettunut		0,88
Laasti	kuiva	36	0,94
Lyijy	hapettunut	22	0,28
Maali	muovi, musta	20	0,95
Maali	muovi, valkoinen	20	0,84
Maaperä	kuiva	20	0,92
Maaperä	kyllästetty	20	0,95
Magnesium	kiillotettu	20	0,07
Muovi	PVC, himmeä	70	0,94
Nikkeli	elektrolyyttisesti pinnoitettu rauta	20	0,11
Paperi	musta		0,90
Paperi	valkoinen		0,70-0,90

Posliini	lasitettu	20	0,92
Posliini	valkoinen, kiiltävä		0,70-0,75
Pronssi	hiottu	70	0,20
Puu		17	0,98
Rappaus	karkea pinnoite	20	0,91
Rauta ja teräs	karkea tasopinta	50	0,95-0,98
Rauta ja teräs	kuumavalssattu	20	0,77
Rauta ja teräs	pahoin ruostunut	17	0,96
Ruostumaton teräs	tyyppi 18.8 kiillotettu	20	0,16
Sinkki	ohkolevy	50	0,20
Tapetti	himmeä kuvio	20	0,85
Terva	paperi	20	0,91-0,93
Tiili	aloksi	20	0,85
Valurauta	hapettunut	38	0,63