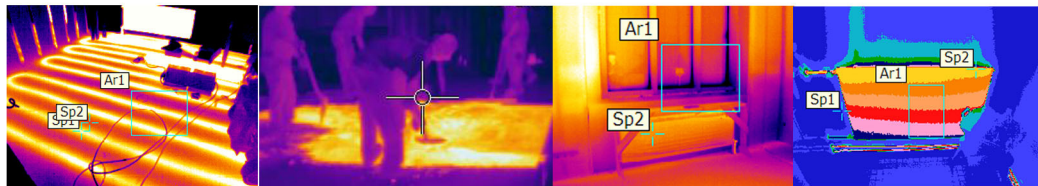


TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Rakennustekniikka

INSINÖÖRITYÖ

LÄMPÖKUVAUS LAADUNVARMISTUSTYÖKALUNA TALONRAKENTAMISESSA



Työn tekijä: Kai Kuusisto

Työn valvoja: Tapani Järvenpää

Työn ohjaaja: Jari Valo

Työ hyväksytty: __. __. 2007

Tapani Järvenpää

Laboratorioinsinööri

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Kai Antero Kuusisto	
Työn nimi: Lämpökuvaus laadunvarmistustyökaluna talonrakentamisessa	
Päivämäärä: 10.04.2007	Sivumäärä: 84 + 9 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka Suuntautumisvaihtoehto: Projektinhallinta	
Työn valvoja: Laboratorioinsinööri Tapani Järvenpää (STADIA)	
Työn ohjaaja: Laatu- ja ympäristöpäällikkö Jari Valo (NCC)	
<p>Tutkimuksen tavoitteena oli luoda NCC Rakennus Oy:lle uusi lämpökuvaus-toimintamalli, joka mahdollistaa rakentamisen ja rakennusten työvaiheiden laadunvarmistamisen entistä tehokkaammin. Tutkimuksessa käsiteltiin lämpökuvauksen perusteita, lämpökuvaustoiminnan roolia yrityksen laatujärjestelmässä ja erityispiirteitä eri työlajien laadunvarmistuksessa. Tutkimuksessa keskityttiin uudishankkeisiin toimitilarakentamisessa, asunto-, taakuu- ja korjauspuolen aiheita käsiteltiin yleisesti.</p> <p>Insinööriyön lähdemateriaalina käytettiin lämpökuvaus- ja rakennuskirjallisuutta, yleisiä rakennusmääräyksiä ja -ohjeita, haastatteluja ja lämpökuvausraportteja. Teoriaosuuden jälkeen selvitettiin NCC:n kokemuksia lämpökuvauksesta ja kohteissa havaituista lämpöteknisistä ongelmakohdista. Kokeellisia lämpökuvauksia suoritettiin lämpökuvausolosuhteiden salliessa yhteensä seitsemässä toimitilakohteessa, yhdessä rivitalokohteessa, julkisivusaneerauskohteen 14:sta kerrostaloasunnossa ja yhdessä yksityisessä paritaloasunnossa.</p> <p>Toimintamalli osoittautui erittäin tarpeelliseksi ja tehokkaaksi rakennusten lämpöteknisen tiiveyden ja talotekniikan lämmitysjärjestelmien toiminnan varmistamisessa. Toistuvien lämpökuvausten aikana selvisi mittauslaitteiston ominaisuuksien merkitys, aputyökalujen ja tutkimusajan tarve sekä työnaikaisen lämpökuvausraportin rakenne.</p> <p>Insinööriyön tuloksena syntyi lämpökuvauksen avuksi toimintamalli, josta selviää rakennusvaiheittain lämpökuvauksen vaikutustapa, paikka, tiedonkulku, lämpökuvauksessa toistuvat vaiheet, osapuolet, tehtävät ja työkalut. Lämpökuvauksen avuksi luotiin aputyökaluja, jotka ovat avaintyölajien lämpökuvausohjekortit sekä suunnittelussa ja kuvaustilanteessa käytettävä apumateriaali kuten lämpökuvauksen tilauspohja, käyttäjätiedote, mittauspöytäkirja-pohja ja valmiit lämpötilaindeksien mukaiset pintalämpötilojen ohjeavotaulukot.</p>	
Avainsanat: korjausluokka, lämpökuvaus, lämpökamera, lämpötilaindeksi.	

ABSTRACT

Name: Kai Antero Kuusisto

Title: Thermography as a production control tool in house building

Date: 10.04.2007

Number of pages: 84 + 9 attachments

Department: Civil Engineer

Study Programme: Project management

Instructor: Tapani Järvenpää, Laboratory engineer (STADIA)

Supervisor: Jari Valo, Quality and environment chief (NCC)

The aim of this study was to create a new production control and quality assurance model by using thermography. The study was done for the Nordic Construction Company Ltd (NCC) and it concentrated mainly on new office building. Guarantee and reconstruction issues were handled generally. The main issues were the basics of thermography, the role of the model in the existing quality system and special observations to be made in thermal surveys of different disciplines.

The sources of this study consist of thermography and building literature, general regulations and instructions, thermal survey reports and interviews. Experiences in thermal surveys and observed leaks and causes were researched among NCC production after the theory part research. Experimental thermography was conducted in 7 business premises, 4 row house apartments, 14 apartments in blocks of flats and one non-NCC detached house.

The working model proved to be very necessary and powerful, specially in assuring the air and heat tightness and the heating system performance. The need for specific features in measuring devices, additional help tools and the structure of thermal survey reports became more and more clear in repeatedly conducted production control surveys.

The study created a working model which shows the effects in building stages, information flow, repeated steps, parties, tasks and tools available. Additional tools were designed and created to make thermal surveys easier to plan and to conduct. The tools include thermography instruction cards for the main targets, a survey ordering form, field log, calculated surface temperature guideline values and a resident announcement.

Keywords: thermal camera, thermal imaging, thermography, thermal survey.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄSITTEISTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TAUSTATIETOA TUTKIMUKSESTA	2
2.1	Tutkimusongelma	2
2.2	Tutkimusmenetelmät	2
2.3	Tutkimustavoite ja aiheen rajaus	3
3	RAKENNUSTEN LÄMMÖNERISTÄVYYS JA LÄMPÖTEKNISET VUODOT	4
3.1	Rakennuksen lämmöneristävyden tarkoitus	4
3.1.1	<i>Lämmön siirtyminen rakennuksessa</i>	4
3.2	Rakennuksen ilmanpaineolosuhteet	4
3.2.1	<i>Ilmanpaine-erot</i>	4
3.2.2	<i>Savupiippuvaikutus</i>	5
3.2.3	<i>Ilmanvaihdon vaikutus vallitseviin ilmanpaine-eroihin</i>	5
3.3	Rakennuksen vaipassa ilmenevät lämpö- ja ilmavuodot	6
3.3.1	<i>Lämpövuodot</i>	6
3.3.2	<i>Ilmavuodot</i>	6
3.4	Lämmöneristävyden arviointi	7
3.4.1	<i>Lämmöneristävyden ja ilmatiiveyden varmistus</i>	7
3.4.2	<i>Rakennusten energiatehokkuus ja energiatodistukset</i>	8
4	LÄMPÖSÄTEILY JA EMISSIVITEETTI	10

4.1	Lämpösäteily	10
4.1.1	<i>Lämpösäteilyn heijastuminen</i>	10
4.2	Materiaalin emissiviteetti	11
5	INFRAPUNASÄTEILY, LÄMPÖKUVAUS JA LÄMPÖKAMERAT	12
5.1	Infrapunasäteily	12
5.2	Infrapunasäteilytutkimuksien historia	12
5.3	Lämpökuvaus rakennusalalla yleisesti	12
5.4	Lämpökamerat	13
5.4.1	<i>Yleistä lämpökameroista</i>	13
5.4.2	<i>Lämpökamera ulkoisesti</i>	14
5.4.3	<i>Tekniset ominaisuudet ja soveltuvuus kiinteistökuvaukseen</i>	14
6	LÄMPÖKUVAUS TALONRAKENTAMISEN LAADUNVARMISTUKSESSA	17
6.1	Lämpökuvauksen asema nykyään laadunvarmistuksessa	17
6.2	Lämpökuvaustoiminnan vaikutukset rakennushankkeisiin	17
6.3	Lämpökuvauksen ajoitus rakennushankkeessa	19
6.4	Lämpökuvaus projektisuunnittelussa ja riskianalyyseissa	20
6.5	Lämpökuvaus osana rakentamisvaiheen laadunvarmistusta	21
6.5.1	<i>Tehtäväsuunnittelu</i>	22
6.5.2	<i>Työlajin aloituspalaveri</i>	23
6.5.3	<i>Työkohteen vastaanotto</i>	23
6.5.4	<i>Malliasennus</i>	23
6.5.5	<i>Tarkistukset, mittaukset ja testit</i>	24
6.5.6	<i>Laadunvalvonta ja -ohjaus</i>	24
6.5.7	<i>Työlajin osavastaanotto ja vastaanotto</i>	24
7	RAKENNUKSEN LÄMPÖKUVAUS JA OHEISMITTAUKSET	26
7.1	Lämpökuvauksen vaiheet työlajin laadunvarmistuksessa	26
7.2	Rakennuksen lämpökuvaamiseen valmistautuminen	27
7.2.1	<i>Lämpökuvaajan pätevyyden selvittäminen</i>	27
7.2.2	<i>Kirjallinen sopimus</i>	27
7.2.3	<i>Tarvittavat taustatiedot</i>	27

7.2.4	<i>Lämpökuvauolosuhteiden varmistaminen</i>	27
7.3	Lämpökuvauksen olosuhdevaatimukset	28
7.3.1	<i>Rakennusaikaisen lämpökuvauksen olosuhdevaatimukset</i>	28
7.3.2	<i>Valmiin rakennuksen lämpökuvauksen olosuhdevaatimukset</i>	29
7.4	Lämpökameran käyttö ja oheismittaukset	30
7.4.1	<i>Lämpökameran asetukset</i>	30
7.4.2	<i>Lämpökuvan lukeminen</i>	31
7.4.3	<i>Kuvan tarkentaminen</i>	32
7.4.4	<i>Väripaletit ja lämpötilaskaala</i>	32
7.4.5	<i>Lämpökuvien jälkianalysointi</i>	34
7.4.6	<i>Kuvauskulman ja kuvausetäisyyden merkitys tuloksiin</i>	35
7.4.7	<i>Lämpökuvauksen oheismittaukset</i>	35
7.4.8	<i>Lämpökameran kalibrointi</i>	36
7.5	Lämpökuvauksen suoritustavat	37
7.5.1	<i>Lämpökuvauksen laajuus</i>	37
7.5.2	<i>Lämpökuvaustapa</i>	37
7.6	Käytettävät määräykset ja ohjeet	38
7.6.1	<i>Lämpötilojen ohjearvot ja lämpötilaindeksi</i>	38
7.6.2	<i>Lämpötilaindeksin käyttöesimerkki lämpökuvauksessa</i>	40
7.7	Lämpökuvien analysointi ja korjausluokat	42
7.7.1	<i>Lämpötekniisten vikojen ja puutteiden ominaispiirteet</i>	42
7.7.2	<i>Normaalista eroavan ilmanpaine-eron vaikutus lämpötilaindeksiin</i>	42
7.7.3	<i>Korjausluokan määrittäminen</i>	43
8	LÄMPÖKUVAUKSEN RAPORTOINTI	44
8.1	Työnaikaisen ja työnjälkeisen raportoinnin erot	44
8.2	Työnaikainen mittausraportti	44
8.2.1	<i>Mittausraportin sisältö</i>	45
8.3	Lämpökuvauksraportti	45
8.3.1	<i>Lämpökuvauksraportin sisältö ja tulkinta</i>	45
9	RAKENNUSAIKAISET LÄMPÖKUVAUSKOHTEET	47
9.1	Tärkeimmät lämpökuvattavat rakenteet, työlajit ja järjestelmät	47
9.2	Lämpökuvaukssovellukset työmaatekniikan apuna	48

9.2.1	<i>Työmaaparakkien huoltotoimenpiteiden apuna</i>	48
9.2.2	<i>Lämpökuvaus työmaasähköistyksen ylläpidon apuna</i>	48
9.2.3	<i>Rakennusaikainen vaipan tiiveys</i>	49
9.2.4	<i>Lämpökuvaus kosteuden hallinnan apuna</i>	49
9.2.5	<i>Tulitöiden valvonta ja paloturvallisuus</i>	49
9.3	Maarakennus- ja pihatyöt	50
9.3.1	<i>Raivaus- ja perustusvaihe</i>	50
9.3.2	<i>Asfalttityöt ja sulanpitojärjestelmän toiminta</i>	51
9.4	Runkotyöt	51
9.4.1	<i>Betonirunko- ja muut betonointityöt</i>	51
9.4.2	<i>Elementtirunkotyöt</i>	53
9.4.3	<i>Puurunkotyöt</i>	56
9.5	Vaipan eristystyöt	56
9.5.1	<i>Lämmöneristystyöt</i>	56
9.6	Ovi- ja ikkuna-asennukset	60
9.6.1	<i>Asennuksessa huomioitavia asioita lämpöteknisesti</i>	60
9.6.2	<i>Ikkuna-asennuksien lämpökuvaus</i>	61
9.7	Talotekniikkatyöt	62
9.7.1	<i>Lattialämmitysverkoston lämpökuvaus</i>	62
9.7.2	<i>Radiaattoreiden lämpökuvaus</i>	64
9.7.3	<i>Lämmönjakolaitteiston lämpökuvaus</i>	66
9.7.4	<i>Ilmanvaihtojärjestelmien lämpökuvaus</i>	66
9.7.5	<i>Sähköasennuksien lämpökuvaus</i>	67
9.8	Sisävalmistusvaiheen työt	67
9.8.1	<i>Pintamateriaalien asennuslämpötilojen ja kiinnityspaikan varmistaminen</i>	67
10	VIIMEISTELYN JA KÄYTÖNAIKAINEN LÄMPÖKUVAUS	69
10.1	Rakennushankkeen viimeistelyvaihe	69
10.1.1	<i>Viimeistelyvaiheen lämpökuvaus</i>	69
10.2	Takuuaikainen lämpökuvaus	69
10.2.1	<i>Lämpövuotoihin liittyvät virheet NCC:n takuukorjauksissa</i>	70
11	KORJAUSKOHTEIDEN LÄMPÖKUVAUS	71
11.1	Lämpökuvaus korjausrakentamisessa nykyään	71

11.2	Lämpökuvauskohteita korjausrakentamisessa	72
11.2.1	<i>Homevaurioiden kartoittaminen lämpökuvauksella</i>	72
11.2.2	<i>Kuuman pisteen paikallistaminen kytemistilanteessa</i>	72
11.2.3	<i>Sisälämpötilaolosuhteiden muutoksen tutkinta</i>	72
11.2.4	<i>Julkisivupintojen vaurioiden ja kosteusvaurioiden kartoitus</i>	73
11.2.5	<i>Tuholaisteneläinten paikannus lämpökuvauksella</i>	74
12	LÄMPÖKUVAUKSEN TYÖPANOKSET	75
12.1	Käytettävät resurssit ja aika	75
13	TUTKIMUKSEN TULOKSET	76
13.1	Suoritetut työnaikaiset lämpökuvaukset ja haastattelut	76
13.1.1	<i>Lämpökuvaukset</i>	76
13.1.2	<i>NCC Rakennus Oy:n henkilöstön haastattelut</i>	77
13.2	Lämpökuvaustoimintamalli	77
13.3	Avustavat työkalut	78
13.3.1	<i>Lämpökuvauksen suunnittelun muistilista ja tilauslomake</i>	78
13.3.2	<i>Mittauspöytäkirja</i>	79
13.3.3	<i>Ohjearvotaulukot</i>	79
13.4	Avaintyölajikohtaiset lämpökuvausohjekortit	80
13.5	Lämpökuvaustietopaketti	80
13.6	Lämpökuvaustietokanta	81
13.7	Jatkokehitystarpeet	81
14	YHTEENVETO	82
	VIITELUETTELO	83

LIITTEET

Liite 1. Lämpökuvaustoiminnan vaikutukset ja tiedonjakelu

Liite 2. Lämpökuvauksen projekti- ja työlajikohtaiset tehtävät sekä apu-työkalut

Liite 3. Lämpökuvauksen ohjekortit 1 - 8

Liite 4. Lämpökuvauksen tilauspohja

Liite 5. Lämpökuvauksen mittauspöytäkirja

Liite 6. Pintalämpötilojen arvotaulukko eri lämpötilaindeksille

Liite 7. Esimerkki lämpökuvauksen käyttäjätiedotteesta

Liite 8. Lämpökuvauksen suunnittelun muistilista

Liite 9. IR -tietokannan sisältö-/rakenneluonnos

KÄSITTEISTÖ

Emissiviteetillä tarkoitetaan pinnan säteilytehon Q_s suhdetta mustan pinnan säteilytehoon Q_m . Säteilytehon yksikkö on W/m^2 .

Huonelämpötila on ilmanlämpötila mitattuna mistä tahansa oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 m:n korkeudelta.

Ilmasulku tarkoittaa ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle.

IT-betoni on lyhennys itsestään tiivistyvistä betonista, jota ei tarvitse tiivistää täryttämällä.

Kastepiste on pintalämpötila, jossa ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy pinnalle eli kondensoituu. Kastepistelämpötilassa tietyn vesihöyrypitoisuuden sisältämän sisäilman suhteellinen kosteus saavuttaa 100%:a.

Kylmäsilta on rakennusosassa oleva, viereisiin aineisiin verrattuna hyvin lämpöä johtava rakenneosaa, jonka kohdalta lämpö johtuu vaipan läpi paremmin.

Oleskeluvyöhyke on tilan lattiasta 1,8 m:n korkeuteen ja tilan seinistä 0,6 m:n päästä tilan keskustaa kohti määritelty alue.

Operatiivinen lämpötila on huoneilman lämpötilan ja pintojen säteilylämpötilojen keskiarvo.

Pistemäinen lämpötila on muualla kuin oleskeluvyöhykkeellä mitattu paikallinen pintalämpötila.

Painovoimainen ilmanvaihto on IV-järjestelmä, jonka toiminta perustuu korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Lämmin sisäilma kevyempänä virtaa poistoilmakanavassa ylöspäin ja ulos rakennuksesta. Tilalle tulee ulkoilmaa ulkoilmalaitteista ja rakenteiden ilmapuotoina.

Rakennuksen vaippa käsittää rakennusosat, jotka erottavat lämpimän, puolilämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta.

Takuukorjauksella tarkoitetaan kaikkia niitä pää- ja aliurakoitsijoiden työ- ja tarvikesuorituksia, jotka kyseinen urakoitsija suorittaa sopimusten mukaisen takuovelvoitteensa perusteella rakentamassaan kohteessa veloituksetta.

U-arvo on lämmönläpäisykerroin, joka ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötila rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen.

LTO:lla tarkoitetaan lämmön talteen ottoa, joka on rakennuksen ilmastointijärjestelmän osa.

1 JOHDANTO

Rakennushankkeen lopputuloksen onnistumiseen vaikuttaa pääasiassa kolme perustekijää, jotka ovat laatu, kustannukset ja aika. Rakennusyrietykset pyrkivät kehittämään toiminnastaan tehokkaampaa näiden kolmen tekijän suhteen. Käytetty aika ja tuotettu laatutaso vaikuttavat suoraan kustannuksiin. Rakennuksen laatu vaikuttaa myös sen käyttäjään läheisesti. Rakentamisen huono laatu vaikuttaa pahimmillaan jopa käyttäjän terveyteen. Hyvällä laadulla on mahdollista koskettaa siis suoraan käyttäjään, jonka kautta rakennusyrietyksen tuotteiden eli rakennusten haluttavuuteen markkinoilla. Rakennusyhtiön tavoitteena on tuottaa rakennus laadukkaasti, kustannustehokkaasti ja nopeasti, mutta siihen tarvitaan monipuoliset työkalut. Rakennusprojektin tuotteen laatu varmistetaan ja testataan projektin useissa vaiheissa suoritettavilla laadunvarmistustoimenpiteillä.

Laatu pyritään varmistamaan tuotannon aikana osapuolia ohjaavilla, velvoittavilla ja informoivilla toimenpiteillä, joita ovat aloituskokoukset, viikkopalaverit, mallikatselmukset, osavastaanotot, työnvastaanotot, sisäiset ja ulkoiset auditointitilaisuudet sekä muut laatu prosessit. Tärkeitä projektikohtaisia laadunvarmistusmenetelmiä ovat myös konkreettinen työn valvonta ja tehdyn työn tarkastusmittaukset ja testit. Teknologian ja rakennusalan kehittyessä mittavälineet monipuolistuvat ja sitä mukaan ne soveltuvat työmaakäyttöön entistä paremmin. Uusilla mittavälineillä voidaan tarkastaa tehty työ tarkemmin, nopeammin, monipuolisemmin ja informatiivisemmin. Tässä insinöörietyössä selvitetään, vielä melko tuntemattomana pysyneen, lämpökameran käyttömahdollisuuksia rakennusaikaisessa laadunvalvonnassa mittavälineenä.

Tämän insinöörietyön tilaajana on NCC Rakennus Oy:n talonrakentamisen PD-Partnering -yksikkö (TRPD). NCC-yhtiöt Suomessa ovat osa pohjoismaista NCC-rakennuskonsernia. NCC:n asiakkaita ovat muun muassa asunnon tarvitsijat, palvelu- ja toimitiloja sekä liike- ja kauppapaikkoja tarvitsevat yritykset ja yhteisöt. Suomen NCC:n markkina-alueeseen kuuluu Suomi, Baltia ja Venäjä.

2 TAUSTATIETOA TUTKIMUKSESTA

2.1 Tutkimusongelma

NCC Rakennus Oy:ssä on havaittu tehostetut laatumittaukset ja tarkistusmittaukset tärkeäksi laatua parantavaksi osaksi rakennustoimintaa. Syksyllä 2006 valmistuneessa NCC:n TRPD toimitilaurakointiyksikön projektissa, Helsingin MAP-kirkon Temppele-projektissa käytettiin konsultin suorittamaa lämpökuvausta sekä yksikön omaa lämpökameraa laadunvarmistustyökaluna rakentamisen aikana. Ajoissa tehdyn lämpökuvauksen avulla voidaan välttyä pääasiassa lämpötekniisten työvirheiden tekemiseltä, toistamiselta ja lopuksi korjaamiselta. Lämpökuvaustuloksiin ollaan tyytyväisiä, on koettu tarpeelliseksi tutkia lämpökuvauksen suorittamista ja mahdollisuuksia työnjohdon valvonnan ja mittausten aputyökaluna. Tutkimuksen lisäksi tämän insinöörityön tekijästä on tarkoitus saada yksikölle lämpökuvausalan asiantuntija. Asiantuntija tulee suorittamaan lämpötekniisiä mittauksia työmailla tietyissä rakennusvaiheissa ja välittämään tärkeää tietoa havaituista asioista työmaiden ja osapuolien välillä sekä ohjeistamaan ja kouluttamaan työmaahenkilöstöä lämpökameran peruskäytöstä ja mahdollisuuksista.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusaineistona käytetään lämpökuvausta käsittelevää kirjallisuutta kuten oppikirjoja, tutkimuksia, ratukortteja, opinnäytetöitä, lehtileikkeitä, internetiä, lämpökuvausraportteja, lämpökuvaajien ja kuvauksien tilaajien haastatteluja, koulutustilaisuuksia, rakennusalan määräyksiä ja normeja. Tiedonhankinnan ja kirjallisuustutkimuksen lisäksi tehdään lämpökuvauksia oheismittauksineen, joiden tuloksia käytetään opinnäytetyön kuva- ja analysointimateriaalina.

2.3 Tutkimustavoite ja aiheen rajaus

Aihetta tutkitaan toimitilayksikön tarpeisiin keskittyen, mutta myös asunto- ja korjausrakentamiseen otetaan kantaa yleisellä tasolla. Lopputuloksena halutaan luoda lämpökuvauksen tehokkaan käyttöönoton mahdollistava toimintatapa, joka sisältää avaintyölajikohtaisen lämpökuvaajan apumateriaalin kuvallisin esimerkein, koulutusmateriaalin lämpökuvauksen perusteista työmaahenkilöstöä varten sekä huomioon otavat asiat uuden laatutyökalun yhdistämisessä NCC:n laatujärjestelmään. Lämpökuvauksen aiheuttamia kustannuksia ja mahdollisia säästöjä ei selvitetä, mutta lämpökuvauksen suorittamisesta luodaan esimerkki, jossa esitetään käytettävät resurssit ja ajankäyttö.

3 RAKENNUSTEN LÄMMÖNERISTÄVYYS JA LÄMPÖTEKNISET VUODOT

3.1 Rakennuksen lämmöneristävyyden tarkoitus

Rakennusvaipan lämmöneristävyyttä kehitetään ja parannetaan terveellisten sisäilmaolosuhteiden saavuttamiseksi sekä lämmitysenergian kulutuksen ja ympäristöhaittojen pienentämiseksi. Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa C3, C4, D2 ja D3 on esitetty rakenteiden toiminnalliset vaatimukset ja sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeessa sekä Rakennusteollisuuden LVI-kortissa on määritelty ohjeelliset pintalämpötilat eri käyttötarkoituksiin. Rakennuksen suunnittelussa nämä ohjearvot sekä paikkakunnan minimi-, keski-, maksimilämpötilat ja vaaditut lämmönläpäisykertoimet eli u-arvot huomioidaan ja rakennusosille määrätään käyttötarkoituksen ja tavoitellun energiatehokkuuden edellyttämät ominaisuudet. [7, s. 59 ja 66.]

3.1.1 Lämmön siirtyminen rakennuksessa

Rakennuksessa oleva ihminen on jatkuvasti kosketuksessa ympäröivään huoneilmaan sekä lattiapintaan, joiden lämpötilat ja ilman kosteus ja ilmavirtaukset riippuvat rakennuksen ominaisuuksista. Ihmiskeho vastaanottaa tai luovuttaa lämpöä kolmella eri tavalla: johtumalla (konduktio), säteilemällä (emissio) ja ilmavirtauksien eli konvektion välityksellä. Rakenteissa lämpö siirtyy samoin periaattein ja erilaisilla eristerakenteilla pyritään estämään lämmön ja ilman siirtymistä rakennusvaipan läpi. [20, s.37- 38.]

3.2 Rakennuksen ilmanpaineolosuhteet

3.2.1 Ilmanpaine-erot

Rakennukset suunnitellaan valtaosin ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta sisäilman kosteus ei pääsisi rakenteisiin synnyttämään mikrobikasvustoja ja rakenneaurioita [22, s.14.] Rakennuksen ilmapuotoja tutkittaessa tulee ymmärtää rakenteessa vallitsevat ilmanpaineolosuhteet ja mistä ne johtuvat.

Ilmanpaineolosuhteilla tarkoitetaan vallitsevia ilmanpaine-eroja rakennuksen eri osissa kuten ylä- ja alakerrassa ja eri ilmansuunnissa sijaitsevilla huoneissa ulko- sekä sisäilman välillä. Ilmanpaine-eroja sisä- ja ulkoilman välillä aiheuttavat lämpötilaerot, suurista huonekorkeuksista syntyvä savupiippu- eli hormivaikutus, tuulen suunta ja nopeus sekä käytetyn ilmastointijärjestelmän toiminta. [20, s.31 – 34.]

3.2.2 Savupiippuvaikutus

Korkeassa tilassa ja erityisesti painovoimalla toimivassa ilmanvaihtojärjestelmässä savupiippuvaikutus on oleellinen ilmaa liikuttava ilmiö. Kattoon nouseva lämmin sisäilma aiheuttaa huoneen alaosaan alipainetta ja katonrajaan ylipainetta. Kylmä tuloilma pyrkii tilan alarakenteiden vuotokohdista sisään ja lämmennyt nouseva ilma pyrkii puolestaan yläpohjarakenteiden liitoksista ja saumoista ulos. [2, s.26.]

3.2.3 Ilmanvaihdon vaikutus vallitseviin ilmanpaine-eroihin

Koneellisella ilmanvaihdolla varustetussa rakennuksessa tuloilmaventtiilien ja poistokanavien tasaisella sijoittelulla ja poistoilmamäärä säädöillä tuloilmaan nähden saavutetaan tasainen alipaine. Ilmanvaihdon avulla myös ilmankosteus ja lämpötila pystytään säätämään suunniteltuihin arvoihin. Rakennuksen sisällä vallitseva alipaine estää sisäilmassa esiintyvän kosteuden kulkeutumisen rakenteisiin. [2, s. 26.]

Ilmanvaihtolaitteiden tulee toimia oikein, jotta olosuhteet pysyvät tasaisina ja siksi IV-laitteiston suodattimien ja tulo- sekä poistoilmasäleikköjen puhtaus on erittäin tärkeä tarkastaa tasaisin väliajoin. IV-laitteiden käytössä ja huolloissa on huomattu puutteita esimerkiksi asuntojen takuuajaisissa tarkastuksissa. [14.]

Riski kosteuden kulkeutumisesta rakenteisiin on suurin märkätiloissa sekä muissa tiloissa, joissa esiintyy suuri määrä käytöstä syntyvää ilmankosteutta. Suihku- ja saunaosastojen ilmanvaihtojärjestelmien tulee olla oikein toteutettuja ja niiden käyttö hyvin opastettu, jotta vältetään väärinkäytön aiheuttamilta rakennevaurioilta. [23, s.5 – 6.]

3.3 Rakennuksen vaipassa ilmenevät lämpö- ja ilmavuodot

3.3.1 Lämpövuodot

Lämpövuodot ilmenevät Suomessa pääasiassa kylmänä vuodenaikana, kun sisätiloja lämmitetään, mutta lämpövuotoja esiintyy myös kesällä esimerkiksi ullakkohuoneistoissa esiintyen liian suurina sisälämpötiloina. Suomessa haitallinen lämpö- tai ilmavuoto aistitaan kuitenkin yleensä vetona, joka vaikuttaa suoraan asumisviihtyvyyteen ja terveyteen ja mahdollisesti rakenteisiin. Lämpötilan laskiessa paikallisesti liian alhaiseksi sisäilmassa oleva kosteus voi tiivistyä rakenteeseen ja ajan myötä kosteuden, lämmön sekä sopivan kasvualustan ansiosta rakenteeseen saattaa syntyä muun muassa ihmiselle haitallista homeetta ja muita mikrobikasvustoja. [7, s. 16 – 32.]

Lämpövuoto on yleisnimitys kylmäsiltojen ja eristevikojen aiheuttamalle lämmön johtumiselle, joka aiheuttaa selvästi ympäristöään viileämpiä kohtia rakenteeseen. Osa kylmäsilloista on hyväksyttäviä rakenteen ominaisuuksia, mutta haitallinen kylmäsilta voi johtua väärin suunnitellusta tai toteutetusta runkodetaljista. Eristevika johtuu yleensä huolimattomasta asennuksesta tai rakennemateriaali viasta tai vaurioista. [2, s. 26.] Lämpövuotoja voi esiintyä rakennuksen vaipassa tai talotekniikan lämmöneristyksissä.

3.3.2 Ilmavuodot

Rakennuksen vaipan ilmavuodot esiintyvät kylminä pintoina latioilla tai seinillä, rakennevaurioina, kylmän ilman aiheuttamana vetona ja sen oireina sekä muina terveyshaittoina. Haitallisia aineita kuten radioaktiivista radonia sisältäville maaperille rakennetuissa kiinteistöissä ilmavuodot saattavat sisältää sisäilmaan kuulumattomia ja terveydelle vaarallisia pitoisuuksia. Ihminen ei aisti radonia muuten kuin terveydellisinä haittavaikutuksina, jotka voivat olla hengenvaarallisia riittävän suurille pitoisuuksille altistumisen johdosta. [7, s.12] [22, s.6.] Rakennuksen vaipan ilmavuodot ovat siis haitallisia rakenteiden kunnolle sekä ihmisen terveydelle.

Rakennuksen vaipan tiiveyteen vaikuttaa ilmansulku- ja höyrynsulkumateriaalien, lämmöneristeiden ja tuulensuojamateriaalien asennussuunnitelmat ja asennustyön huolellinen suoritus ja valvonta.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 (Rakennuksen lämmöneristys) määritellään tavoiteltava vaipan ilmanpitävyys seuraavasti:

Rakennuksen vaipan tulee olla niin ilmapitävä, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. [10, s.4]

Vaipan ilmatiiveydelle ei siis ole asetettu noudatettavia raja-arvoja, mutta C3:ssa suositellaan rakennuksen ilmanvaihdon kannalta ilmanpitävyydeksi eli ilmavuodoksi 50 Pascalin ilmanpaine-erossa yhtä rakennuksen ilmatilavuutta tunnissa. [10, s.4.]

3.4 Lämmöneristävyyden arviointi

Rakennuksen lämmöneristävyyttä voidaan arvioida yleisesti rakennuksen kuluttaman lämmitysenergian, asumis- ja työviihtyvyyden ja rakenteiden kunnon avulla. Automaatiossa, lämmitysjärjestelmässä, rakenteissa tai rakennuksen käytössä on vikaa, jos lämmitysenergiaa kuluu enemmän kuin on suunniteltu tai asumisviihtyvyys on jotenkin heikentynyt. Rakennuksen lämpöteknisen toimivuuden tutkijalla täytyy olla selvillä rakennuksessa käytetty lämmitysjärjestelmä ja rakennetyypit, kun tutkimuksia ryhdytään suorittamaan. Lämpöteknisesti toimiva rakennus on siis energiatehokkaampi, asumis- ja työviihtyisämpi ja rakenteellisesti kestävämpi. [2, s. 12–13.]

3.4.1 Lämmöneristävyyden ja ilmatiiveyden varmistus

Lämpökuvaus on yleisesti käytetty tutkimusmenetelmä rakennuksen vaipan lämmöneristävyyden ja ilmatiiveyden varmistamisessa. Lämpökuvaus on nopea ja rakenteita rikkomaton optinen tutkimusmenetelmä, jolla tutkitaan pääasiassa rakennusten ulkovaippaa sekä lämmöneristeiden ja ilman- ja höyrynsulkujen kuntoa ja talotekniikan toimintaa.

Rakennuksen tiiveyttä voidaan tutkia myös erilaisilla virtausantureilla varustetuilla puhaltimilla, joiden avulla mitataan vuotavan ilman tilavuutta tietyssä ajassa. Vaipan yli vaikuttavaa ilmanpaine-eroa tulee yleensä vahvistaa käyttötilanteesta, jotta ilmavuodot voidaan havaita lämpökuvauksella.

Normaalissa käyttötilanteessa ilmanpaine-ero on suuruudeltaan noin 5-10 Pascalia (Pa) ja tehostettuna ilmastoinnilla tai oveen tai ikkunaan asennettavalla lisäpuhaltimella voidaan saavuttaa tiiviystutkimuksissa käytettävä 50 Pa:n ilmanpaine-ero [2, s.28.] Tehokkain tutkimusmenetelmä vaipan tiiveyden selvittämiseksi on suorittaa lämpökuvaus ja puhaltimen avulla tehtävä tiiveyskoe samanaikaisesti, jolloin vuotokohtat paikannetaan välittömästi [2, s.58 – 59.]

Kattavien ilmatiiveysmittauksien suorittaminen on toimitilarakentamisessa käytännössä erittäin vaikeaa, kun taas asuntopuolella pienemmät tilat mahdollistavat kattavat tutkimukset. Toimitilarakentamisessa erityisen ilma- ja äänitiiviiden huoneiden kuten kokous- tai erikoistuotantotilojen laadunvarmistuksessa lämpökuvausta voidaan hyödyntää tiiveyskokeen yhteydessä. Lämpimänä vuodenaikana kuvausolosuhteet voidaan saavuttaa luomalla riittävä lämpötilaero tilaan tehokkaan lämmityksen tai jäähdätyksen avulla. Lämmin tai viileä ilma pyrkii rakenteiden huonosti tiivistetyistä kohdista läpi ja lämpökameralla vuotokohtat paikannetaan helposti.

3.4.2 Rakennusten energiatehokkuus ja energiatodistukset

Rakennukset on suunniteltava sellaisiksi, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä lämpötila voidaan ylläpitää käytön aikana energiatehokkaasti [22, s.5.] Ympäristöministeriön suunnitelmien mukaan lähitulevaisuudessa pientalotalouksien ja asunto-osakeyhtiöiden tulee todistaa kiinteistönsä riittävä energialuokka energiatodistuksella rakennuslupa-, osto- ja vuokraustilanteessa. Energiatodistuksessa esitettävä arvosana kuvaa rakennuksen teknistä energiankulutusta niin, että kuluttajavaikutukset on vakioitu ja mahdollinen uusi ostaja saa näin rakennuksen energiataloudesta käyttäjästä riippumattoman arvion [9, s. 27.] Energiatodistuksessa energiatehokkuutta kuvataan luokittelusteikolla A-G, jossa A on energiatehokkain ja G tehottomin sekä asteikon yksikkönä käytetään kWh/brm²:ä.

Energiatehokkuusluokan määrittämiseksi täytyy selvittää seuraavien rakennusosien ja teknisten järjestelmien energiatekninen kunto:

- rakenteet (ulkoseinät, ulko-ovet ja ikkunat, yläpohja ja alapohja)
- lämmitysjärjestelmä
- lämminkäyttövesijärjestelmä
- ilmanvaihto-/ilmastointijärjestelmä
- valaistus
- sähköiset erillislämmitykset
- muut järjestelmät, joilla on merkitystä energiatehokkuuteen.

[24, s.6 – 10.]

Edellä mainittujen rakennusosien ja teknisten järjestelmien kunnonkartoittamisessa lämpökuvaus on yksi käytettävistä mittausmenetelmistä varsinkin, jos lämmitysenergiaa todetaan kuluvan liikaa lämmitysjärjestelmien toiminnasta riippumattomasta syystä.

4 LÄMPÖSÄTEILY JA EMISSIVITEETTI

4.1 Lämpösäteily

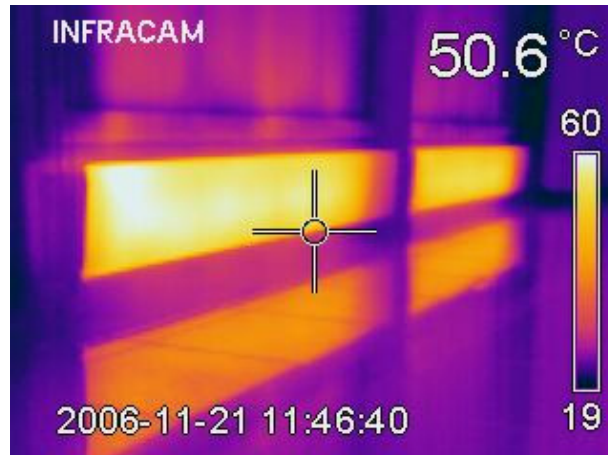
Kaikki pinnat lähettävät lämpösäteilyä, jonka voimakkuus riippuu pintalämpötilasta ja pinnan emissiokertoimesta eli kyvystä lähettää lämpösäteilyä. Pintojen kyky säteillä ja heijastaa lämpöä tulee erottaa toisistaan, sillä heijastuminen tarkoittaa tutkittavan kappaleen pinnasta heijastuvaa ympäristön lämpösäteilyä. Lämpökuvaan vaikuttaa myös mahdollinen kohteen läpäisevä taustasäteily, joka tulee myös huomioida kuvia tulkitessa. [2, s.16 – 17.] Taustasäteilynä tulee ottaa huomioon rakenteen takana sijaitsevat säteilijät kuten esimerkiksi seinän takana sijaitseva lämmönjakolaitteisto, vesikatteen sisällä olevat talotekniikka laitteet tai seinän sisälle sijoitettu hormi.

4.1.1 Lämpösäteilyn heijastuminen

Lämpösäteilyn heijastuminen tarkoittaa kohteeseen säteilevän ulkopuolisen säteilyn heijastumista. Kiiltävät ja hyvin tasaiset pinnat heijastavat säteilyä hyvin. Hyviä heijastajia ovat muun muassa metalli-, kivipinnat, ikkunat ja peilit. Lämpösäteilyn heijastuminen tulee aina huomioida kuvatessa esimerkiksi:

- ikkunoita
- kylpyhuoneita
- kivilattioita
- peltikattoja
- kiiltäviä metallijulkisivuja.

Lämpösäteilyn heijastuminen korostuu eli kuvattavan pinnan emissiokerroin laskee, kun kohdetta joudutaan kuvaamaan loivassa kulmassa. Esimerkiksi kiiltävä kivilattia toimii lähes lämpösäteilyn peilinä loivassa kulmassa kuvattuna (kuva 1).



Kuva 1. Kiiltävästä kivilattiasta heijastuvaa patterin lämpösäteilyä

4.2 Materiaalin emissiviteetti

Materiaalin emissiviteetti kuvaa prosentuaalisesti kuinka suuri osa pinnan säteilystä on materiaalin omaa energiaa tai pinnasta heijastuvaa ympäristön säteilyä. Mustakappaleen eli täydellisen säteilijän emissiokerroin on 1, jolloin 100 prosenttia on kappaleen omaa energiaa ja nolla prosenttia on heijastuvaa ympäristön energiaa. Useiden yleisesti käytettyjen rakennusmateriaalien emissiokertoimet ovat arvojen 0,70 - 0,97 välillä ja siksi rakennuksien pintoja tutkittaessa lämpökuvauksella käytetään rakennusmateriaaleille keskiarvoa 0,95. Hyvin heijastavien pintojen emissiokerroin on pieni eli arvojen 0 - 0,5 välillä. [20, s. 37.]

Emissiokerroin määritetään lämpökameran asetuksissa, jolloin kamera ottaa pintalämpötilan laskennassa huomioon tutkittavan pinnan emissiviteetin. Pienen emissiokertoimen omaava pintamateriaali näyttää lämpökuvassa kylmemmältä kuin todellisuudessa jos kameran emissiokerrointa ei muuteta ja ympäristö on tutkittavaa pintaa viileämpi.

5 INFRAPUNASÄTEILY, LÄMPÖKUVAUS JA LÄMPÖKAMERAT

5.1 Infrapunasäteily

Infrapunasäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on suurempi kuin näkyvän valon, mutta pienempi kuin mikroaaltojen. Infrapunasäteilyn eli lämpösäteilyn aallonpituus on siis 700 nm:n ja 1 mm:n välillä. [15.]

5.2 Infrapunasäteilytutkimuksien historia

Infrapunasäteilyn tutkinnan juuret ovat peräsin 1800-luvulta saksalaissyntyisen William Herschelin valospektritutkimuksista. Ensimmäinen niin sanottu lämpökuva mahdollistui vuonna 1840. 1900-luvun alussa keksijät patentoivat laivojen, henkilöiden ynnä muiden kohteiden havaitsemistarkoitukseen erilaisia infrapunatekniikkaa hyödyntäviä mittausvälineitä. Ensimmäisen maailmansodan osapuolet aloittivat salaisia tutkimusprojekteja vihollisen havaitsemiseksi lämpökuvaustekniikan avulla. Myöhemmin tekniikan kehittyessä toisen maailmansodan aikaan infrapunasäteilyn tutkimus- ja kehitystyö rajoitettiin vain sotilaallisiin tarkoituksiin. Vasta 1950-luvun puolivälissä sen salailu alkoi väistyä ja lämpökameroiden sarja valmistus alkoi vuonna 1958 AGA Infrared AB:n toimesta. Lämpökameroiden sarjatuotannon alusta lähtien infrapunasäteilyä on hyödynnetty siviili- ja teollisuuskäytössä. Viime vuosikymmeninä infrapunasäteilyn sovellukset ovat yleistyneet myös talouksien käyttöön kaukosäätimien ja muiden langattomien tiedonsiirtolaitteiden myötä. [8, s. 59 - 62.]

5.3 Lämpökuvaus rakennusalalla yleisesti

Rakennuksia on lämpökuvattu Suomessa 1970-luvun lopulta lähtien. Vuonna 1997 lämpökuvausalan mullisti käyttöön tulleet uudet jäähdyttämättömät eli käytännössä pienemmän kokoiset ja matriisi-ilmaisimilla varustetut lämpökamerat. Aikaisemmin suuri kokoinen lämpökuvauskalusto oli raskas liikutella ja hidas käyttää.

Tekniikan kehitys on ollut nopeaa lämpökameroiden koon, ominaisuuksien, lämmön erottelukyvyn ja kuvien tarkkuuden ja tallennus sekä jälkikäsitteilymahdollisuuksien saralla.

Kehityksen seurauksena lämpökuvauslaitteiston hinnat ovat laskeneet ja yhä useampi taho kykenee hyödyntämään lämpökuvaustekniikkaa. Viime aikoina useat rakennusyrietykset ovat ottaneet kohteiden lämpökuvauksen osaksi laadunvarmistuskäytäntöään. Lämpökuvauus soveltuu usean asian tutkimiseen rakentamisessa, mutta yleisimmin sitä käytetään rakennuksen vaipan lämpö- ja ilmateknisen toimivuuden tarkasteluun.

Lämpökuvauusta voi myös käyttää apuna muun muassa kosteusvaurioiden kartoittamisessa ja talotekniikkalaitteiden ja kanavien tutkimisessa kuten lattialämmityskanavien paikantamisessa ja lämmityspattereiden lämmönjakautumisen tarkastelussa. Tuotantotekniikan apuvälineenä lämpökuvauus on myös kätevä työkalu. Tuotannossa voidaan esimerkiksi:

- havaita talvella väliaikaisten peite-, kate- ja ovirakenteiden vuotoja
- varmistaa tasoitus-, rappaus- ja betonointiolosuhteita yms.
- seurata betonin liikkeitä ahtaissa ja suurissa muoteissa
- tutkia lämmityslaitteiden kuten radiaattori-, lattia- ja ikkunalämmityksen toimintaa
- tarkistaa sähkö- ja kaasulaitteiden kuten roudan sulatusmattojen toimivuus jne..

Lämpökuvauksen käyttökohteita käsitellään tarkemmin kappaleissa 9, 10 ja 11.

5.4 Lämpökamerat

5.4.1 Yleistä lämpökameroista

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvattavan kohteen pinnasta säteilevän infrapunasäteilyn voimakkuutta. Rakennusten lämpökuvauksessa suositellaan käytettäväksi niin sanottuja pitkäaaltokameroita, jotka toimivat 8 - 12 μm :n infrapuna-aaltoalueella.

Kamera muuntaa lämpösäteilyn voimakkuuden matriisitekniikalla pistemäisiksi lämpötilatiedoiksi, joista muodostuu digitaalisesti lämpöjakaumakuva kameran muistiin ja näytölle. Jokainen kameran mittaama piste vastaa tiettyä kuvausetäisyydestä riippuvaa aluetta kohteesta. Kuvausetäisyyttä kasvattamalla kuvattavan kohteen yhtä mittauspistettä vastaava alue kasvaa, eli kaukaa kuvaaminen heikentää siis lämpökameran erottelutarkkuutta. Kamera ei tarvitse toimiakseen valoa vaan toimii vastaanottaen lämpösäteilyä.

5.4.2 Lämpökamera ulkoisesti

Lämpökameran osia ovat akku, objektiivi, infrapunaosoitin ja näyttö ohjainäppäimineen. Kameroiden objektiivien linssit on valmistettu herkästi vaurioituvasta materiaalista, joten objektiiveista tulee pitää erityistä huolta, käyttää linssisuojausta sekä huoltaa kameraa ohjekirjan ohjeiden mukaisesti.

5.4.3 Tekniset ominaisuudet ja soveltuvuus kiinteistökuvaukseen

Uudet lämpökamerat ovat hyvin työmaakelpoisia eli tarpeeksi pieniä, akkukäyttöisiä ja niihin voidaan tallettaa kymmenistä satoihin kuvaa, joita voidaan katsella kameran lcd-näytöllä heti kuvaustilanteessa (kuva 2). Kameran rekisteröimä lämpötila-alue riippuu kameramallista, mutta kuvattavat kohteet voivat olla lämpötilaltaan noin $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ja $+1500\text{ }^{\circ}\text{C}$:n välillä. Pintalämpötiloja voi tutkia kiinteän pisteen tai vapaasti valittavan alueen ja pisteen avulla riippuen kameramallin ominaisuuksista.



Kuva 2. Nykyajan lämpökameramalleja

Rakennusten lämpökuvaamiseen käytettävä lämpökamera määritellään Rakennus tiedon (RT) tuottamassa ohjekortissa seuraavasti:

Rakennusten lämpökuvauksessa käytettävän kameran tulee olla mittaava, tasapainotettu ja kuvantava mittalaite. Mittaavalla kameralla voidaan mitata suoraan pintalämpötiloja. Kuvantava mittalaite tarkoittaa sitä, että kamera muodostaa kuvattavasta kohteesta lämpökuvan, joka esittää kohteen pintalämpötilajakauman. Tasapainotuksella tarkoitetaan sitä, että kameran rungon lämpötilavaihtelut eivät vaikuta mittaustulokseen. [2, s.19.]

Lämpökameroiden tekniikka vaihtelee paljon. Nykyään kameroiden tekniikka vaihtelee käyttäjän tarpeiden ja hinnan mukaan. Perus kameramallien hinnat alkavat noin 5000 eurosta ja vaativampaan ammattikäyttöön soveltuvat noin 20 000 eurosta ylöspäin. Kameramallista riippuen muuttuvia teknisiä ominaisuuksia ovat kuvan tuottamis-, esitys-, mittaus- ja tallennusominaisuudet sekä optiikka vaihtoehdot, laserosoittimen tyyppi, virtalähde, sallitut käyttö/varastointiolosuhteet, fyysiset mitat sekä liitäntävalmiudet. [25.]

Lämpökameroiden kuvantuotto-ominaisuuksissa vaihtelee:

- kuvan tarkkuus eli pikselien määrä
- lämpötilaherkkyys (0,03 - 0,2 °C)
- kuvataajuus (30 - 60Hz)
- tarkennustapa (manuaalinen ja/tai automaattinen)
- minimi tarkennusetäisyys
- mitattavan säteilyn aallonpituus. [25.]

Lämpökameroiden mittausominaisuuksissa vaihtelee:

- lämpötila-alue (- 40 °C...+2000 °C)
- mittaustapa (kiinteä piste, liikkuva(t) pisteet ja aluemittaus)
- menuvalikko (paletit ja auto/manual väriskaala, teksti- ja äänikommentit)
- hälytystoiminnot (tavoitearvo, minimi- maksimilämpötila ja kastepiste)
- korjausarvoasetukset (emissiokertoimen säädön tarkkuus, valmiit materiaalien emissiokertoimet ja heijastuvien lämpötilojen syöttö). [25.]

Lämpökameroiden kuvien esitystekniikassa eroaa vain näyttöjen tai etsimien koko ja tarkkuus ja video ulostulojen tyyppi. Tallennustapa lämpökameroissa on joko sisäinen muisti ja/tai muistikortti.

Tallennuskapasiteetti sisäisessä muistissa vaihtelee noin 50 kuvasta 300 kuvaan ja muistikortillisissa kameroissa vain kortin koko rajoittaa kuvamäärää. [25.]

Joissain kameramalleissa objektiiveja voi vaihtaa, esimerkiksi käyttämällä laajakulmaobjektiivia voi suurentaa kuva-alaa, mikä mahdollistaa työskentelämisen ahtaissa olosuhteissa. Ahtaisiin työskentelyoloihin on suunniteltu myös lisävarusteena saatava, irrotettava lisänäyttö, jonka avulla kameraa voi käsitellä ahtaissa tai hankalissa paikoissa kuten välipohjissa ja samalla nähdä kuvattavan kohteen mainiosti lisänäytöltä. [25.]

Tutkimuksen aikana suoritettujen lämpökuvauksen perusteella voidaan todeta seuraavien ominaisuuksien helpottavan dokumentoidun kiinteistölämpökuvauksen tekoa merkittävästi:

- sisäinen muisti yli 100:lle kuvalle
- aluetyökalu (minimi-, maksimi- ja keskiarvolämpötila)
- kuvien jälkianalysointimahdollisuus
- hälytystoiminto asetetulle minimi tai maksimi lämpötilalle
- lämpötilaindeksin määräämän ohjearvon laskuri
- objektiivin vaihtomahdollisuus (+laajakulmaobjektiivi)
- lisävarusteena kenttätyöskentelyyn soveltuva olkalaukku.

6 LÄMPÖKUVAUS TALONRAKENTAMISEN LAADUNVARMISTUKSESSA

6.1 Lämpökuvauksen asema nykyään laadunvarmistuksessa

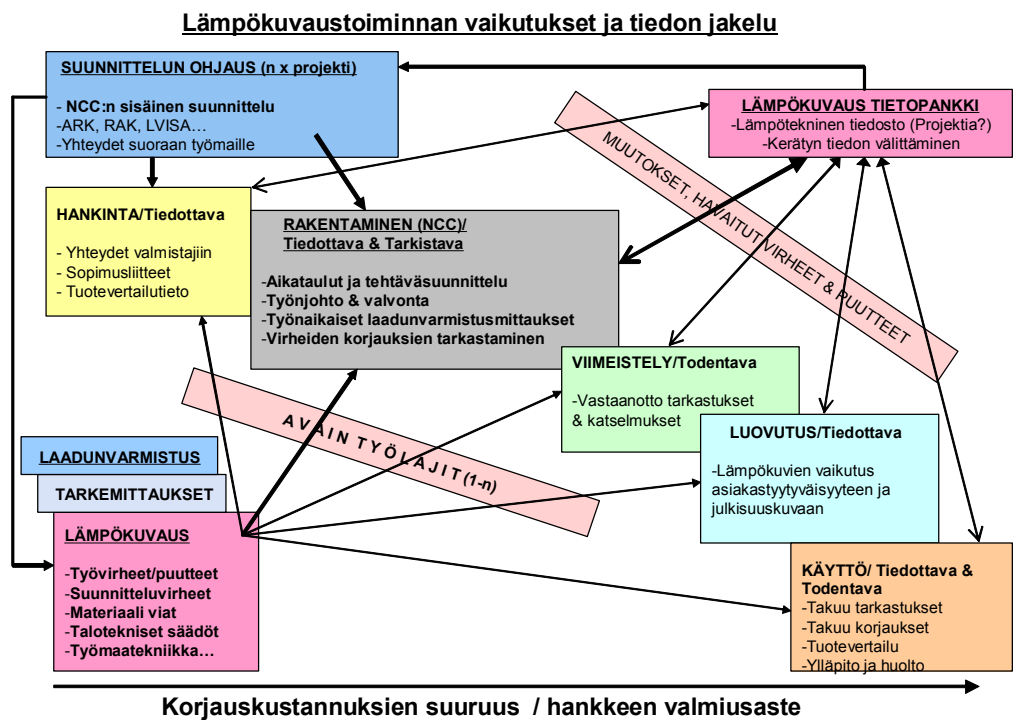
Vielä nykyään lämpökuvausta käytetään rakennusprojekteissa enimmäkseen pelkästään viimeistelyvaiheen niin sanottuna laadun todentavana työkaluna ja työnaikainen lämpökuvaus on vielä melko harvinaista. Viimeistelyvaiheen aikana pyritään varmistumaan rakennuksen laadusta erilaisilla mittauksilla ja katselmuksilla. Viimeistelyvaiheessa tilat ovat kalustettuja sekä pinnat ovat usein valmiita. Rakennuksen valmiusasteen kasvaessa, lämpötekniisten virheiden korjauskustannukset kasvavat, siksi lämpökuvausta tulee hyödyntää mahdollisimman aikaisin laatu-, aika- ja kustannustavoitteiden saavuttamiseksi.

6.2 Lämpökuvaustoiminnan vaikutukset rakennushankkeisiin

Laadunvarmistaminen kuuluu nykyään jokaiseen rakennusprojektiin ja laadunvarmistustoimenpiteiden ajoitukset ja suoritustavat ovat vakiintuneet rakennusprojektissa. Lämpökuvaus laadunvarmistustoimintana liittyy pääasiassa rakentamiseen, mutta havainnollistavien tuloksiensa myötä siitä voidaan hyötyä useissa rakennushankkeen tehtävissä kuten suunnittelussa ja hankinnassa sekä jopa käytön aikaisissa tarkastuksissa ja korjauksissa..

Rakennushankkeen avaintyöläjien laatuun kiinnitetään erityishuomiota, sillä niissä tehdyt virheet vaikuttavat koko projektin onnistumiseen. Avaintyöläjit tarkoittavat tietynlaisissa hankkeissa kuten toimitilarakennushankkeissa toistuvien, samankaltaisten rakenneosien asennuksia. Avaintyöläjien avulla rakennukseen luodaan rakennuksen ja sen käyttäjän perustarpeet mahdollistavat ominaisuudet. Tärkeimmät ominaisuudet, joiden avulla rakennus ja käyttäjä pysyvät terveinä, ovat rakennuksen vaipan lämmöneristävyys, ilmatiiveys, vesitiiveys ja lämpöä sekä puhdasta ilmaa tuottava talotekniikka.

Rakentamisen ja rakennuksen käytön aikana tehtyjen lämpökuvaustutkimusten avulla suunnittelua, hankintaa, rakennus tuotantoa sekä käytön aikaista huoltoa voidaan kehittää ja estää virheiden toistaminen. Lämpökuvausten tulokset täytyy välittää kaikille tarvittaville osapuolille hallitusti ja järjestelmällisesti dokumentoimalla, tallettamalla ja jakelemalla tieto yhteisen ja kaikille avoimen kanavan kuten projektipankin kautta. Lämpökuvaustoiminta voidaan jakaa tiedottavaan, tarkistavaan ja todentavaan käyttöön. Tiedottava käyttö tarkoittaa tutkimustuloksien ja menettelyn esittelyn avulla vaikuttamista suunnittelun ja sopimusten sisältöön sekä vaikuttamista vallitseviin asenteisiin. Tarkistava ja todentava käyttö ovat konkreettista laadun tarkistamista sekä toteamista lämpökuvauksella. Tarkistava käyttö ei aiheuta juuri lainkaan lisäkustannuksia kun taas todentava käyttö aiheuttaa korjaustapauksesta riippuvan suuruisia lisäkustannuksia (kuva 3 ja liite 1).



Kuva 3. Lämpökuvausten vaikutukset ja tiedonkulku rakennushankkeessa

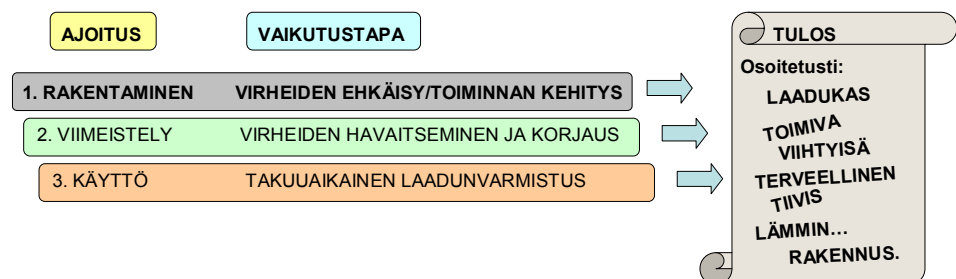
6.3 Lämpökuvauksen ajoitus rakennushankkeessa

Lämpökuvauksen ajoitus vaikuttaa menetelmästä saataviin hyötyihin, mittausmenettelyihin, tuloksien luotettavuuteen sekä muihin epäsuoriin vaikutusmahdollisuuksiin. Tehokkain tapa on liittää lämpökuvaus rakentamiseen, viimeistelyyn sekä käytön aikaisiin huolto-, tarkastus- ja korjaustöihin, jolloin saavutetaan laadukkain lopputulos.

Rakentamisaikainen lämpökuvaus mahdollistaa suurimmat aika- ja kustannussäästöt, koska lämpökuvauksen avulla havaittuihin virheisiin ja puutteisiin voidaan reagoida ajoissa. Lämpökuvauksen suorittaminen rakentamisaikana on haastavaa ja ajoittain mahdotonta sekä erittäin riippuvaista työmaan muuttuvista olosuhteista kuten työmaa-aikaisesta lämmityksestä.

Viimeistelyvaiheen lämpökuvaus suoritetaan lähes käyttövalmiissa rakennuksessa, joka vastaa toiminnaltaan valmista. Tehdyt havainnot ovat tärkeää tietoa, koska halutaan varmistua tuotteen lopullisesta laadusta. Mahdolliset havaitut puutteet ja virheet saattavat osoittautua niin suuriksi, että kohteen luovutus viivästyy korjaustöiden vuoksi ja kustannukset nousevat merkittävästi.

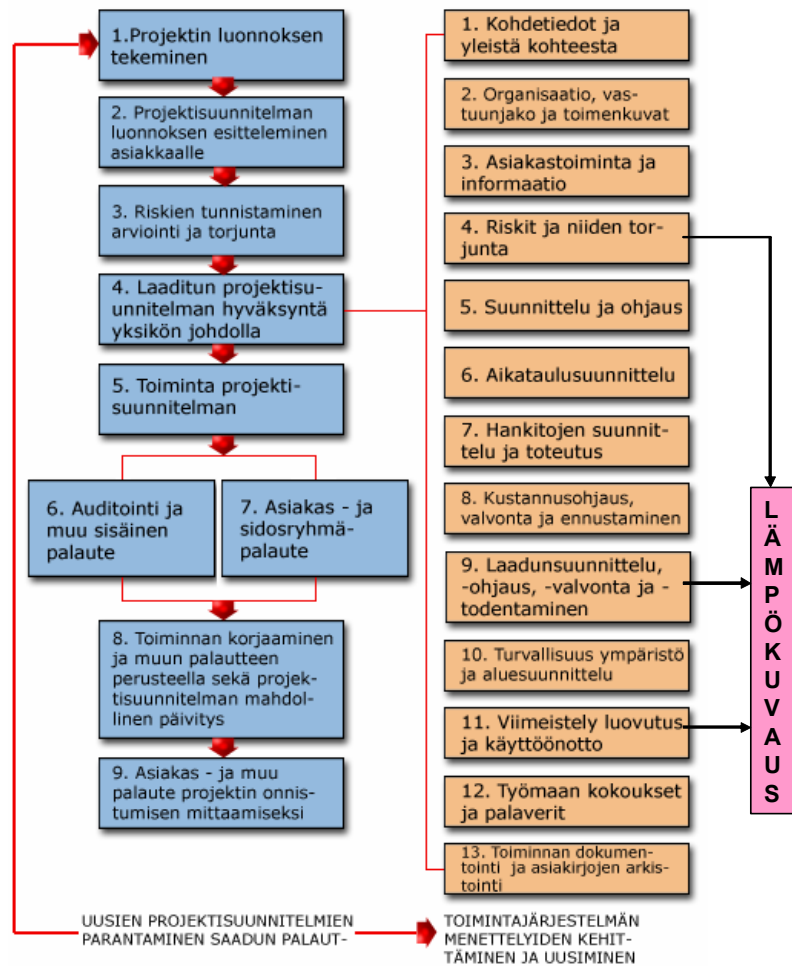
Kun rakennusprojektin lämpökuvauksella tarkastettavat työlajit ajoittuvat lämpimälle vuodenajalle, tulisi lämpökuvaus suunnitella tehtäväksi käyttöönoton jälkeen. Käytön aikana saatujen tuloksien perusteella voidaan kehittää myös uusien vastaavanlaisten kohteiden tuotantoa.



Kuva 4. Rakennushankkeen vaiheittain suoritettun lämpökuvauksen lopputulos

6.4 Lämpökuvaus projektisuunnittelussa ja riskianalyysissa

Jokaisesta rakennusprojektista tehdään projektisuunnitelma, jossa määritellään kuinka projektikohtaiset menettelyt toteutetaan yksikön toimintajärjestelmän mukaisesti. Projektisuunnitelma sisältää kaikki työmaatoiminnan keskeiset osa-alueet, jotka liittyvät työmaan kustannuksiin, ajanhallintaan, laadunohjaukseen ja työmaa-alueeseen. Projektisuunnitelman sisältö, käyttö ja kehittäminen ovat esitetty kuvassa 5. [16.]



Kuva 5. Projektisuunnitelman sisältö ja käyttö [16]

Projektisuunnitelma on tarkoitettu työmaaorganisaation, yksikön laatuvas-
taavan, rakennuttajan edustajan ja tilaajan käyttöön. Projektisuunnitelman
noudattamisesta sekä suunniteltujen toimenpiteiden johtamisesta vastaa
työmaan johto. Projektisuunnitelman toteutuminen varmistetaan järjestämäl-
lä sisäisiä ja ulkoisia auditointitilaisuuksia sekä työmaan seurantalavereit-
tä. Projektisuunnitelman sisältöä päivitetään projektin aikana saadun palaut-
teen, projektikohtaisten merkittävien muutosten ja toimintajärjestelmän kehi-
tyksen mukaisesti. [16.]

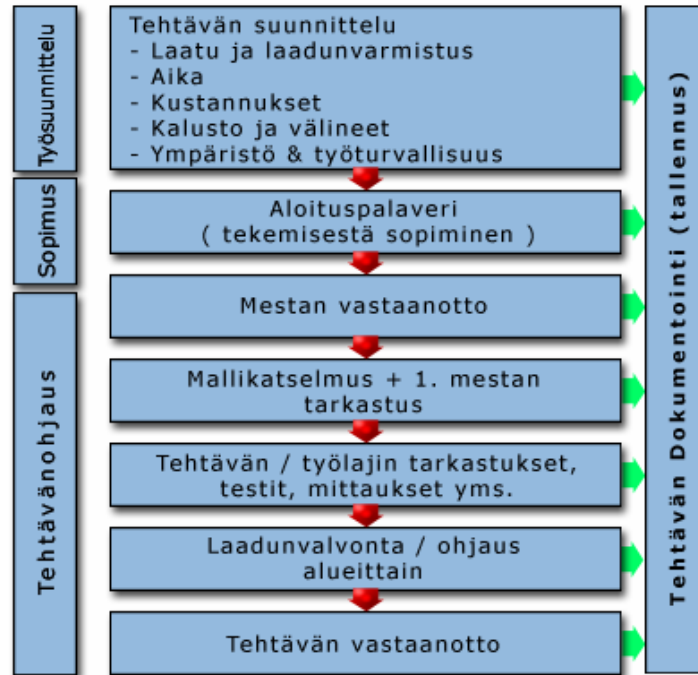
Projektisuunnitelma luodaan osittain potentiaalisten ongelmien analyysin
(POA) eli riskianalyysin perusteella. Riskianalyysissa mietitään toteutettaval-
le kohteelle ominaiset riskit, joihin projektisuunnittelussa ratkaistaan ehkäi-
sevät toimenpiteet. Yksi tärkeimmistä projektisuunnitelman osista on laa-
dun suunnittelu, jolla pyritään keskittämään laadun ohjaus, -valvonta ja to-
dentaminen projektin lopputuloksen laadun kannalta tärkeisiin työvaiheisiin
eli avaintyölajeihin. Lämpökuvaus liittyy rakennuksen tiiveyden kannalta tär-
keiden avaintyölajien laadun valvontaan ja laadun todentamiseen tarkastuk-
sien, mittauksien sekä testien muodossa. Esimerkiksi, jos riskianalyysissa on
havaittu riski uuden rakenneratkaisun lämpövuodosta, se käsitellään projek-
tisuunnittelun laatuosassa määräämällä työnaikaiseksi laadunvarmistusme-
netelmäksi lämpökuvaus.

6.5 Lämpökuvaus osana rakentamisvaiheen laadunvarmistusta

Rakennusten tärkeiden ominaisuuksien kuten lämmöneristävyyden ja ilma-
tiiveyden mittaaminen on aikaisemmin ollut sopivan menetelmän puutteessa
epäjärjestelmällistä ja melko harvinaista, satunnaisia poikkeuksia lukuun ot-
tamatta. Laadunvarmistus on perustunut usein vain silmämääräiseen tarkas-
teluun. Lämpökuvauksen avulla laatu voidaan varmistaa tehokkaasti ja lähes
aukottomasti, mutta vain suorittamalla kuvaus ammattitaidolla ja hyväksi-
käyttäen osapuolten tietotaitoja avoimesti.

Työlajien laadunvarmistustoimenpiteitä ovat tehtäväsuunnitelma, aloituspa-
laveri, työkohteen vastaanotto, malliasennus ja mallikatselmus, tarkemitta-
ukset, osavastaanottokatselmus ja vastaanottokatselmus.

Avaintyöläjien laadunvarmistustoimenpiteet esitetään projektisuunnitelman osaksi luodussa laadunvarmistusmatriisissa, johon on osoitettu työlajikohtaiset laadunvarmistustoimenpiteet ja tarkastukset, kokeet, testit ja mittaukset. Laadunvarmistusmatriisi pidetään työmaalla esillä ja siihen merkitään suoritettut toimenpiteet sekä huomioitavat asiat. Kuvassa 6 on esitetty tehtäväkohtainen laadunvarmistus vaiheittain. [16.]



Kuva 6. Toistuva tehtävänohjaus [16]

6.5.1 Tehtäväsuunnittelu

Lämpökuvaus on laadunvarmistustoimenpiteenä tarkemittaus, joka täytyy kuitenkin huomioida muissa laadunvarmistustoimenpiteissä. Tehtäväsuunnittelussa täytyy huomioida lämpökuvauksen vaatimat olosuhteet, jotta lämpökuvaus on mahdollista suorittaa ja saavuttaa luotettavia mittaustuloksia.

Lämpökuvaus tulisi lisätä aikatauluun näkyväksi tehtäväksi tehtäväsuunnitelmassa luotujen välitavoitteiden perusteella, jotta kuvausolosuhteiden luonti ja itse lämpökuvaus kyetään sijoittamaan tiukkoihin aikatauluihin. Esimerkiksi julkisivujen lämmöneristyksien lämpökuvaus tulee tehdä ennen julkisivumuurausta.

6.5.2 Työlajin aloituspalaveri

Työlajien aloituspalavereihin osallistuu työtä suorittavan aliurakoitsijan edustajat, työnjohtaja ja niin sanottu nokkamies ja työkokonaisuutta johtava työkohtemestari sekä yleensä kohteen vastaavamestari. Aliurakan aloituspalaverissa käsitellään yhtenä asiana laadunohjauksen toimenpiteet ja laatukriteerit. [17.]

Laatutavoitteet saavutetaan parhaiten, kun ne ovat alusta lähtien selvät kaikille osapuolille. Työntekijöille ja työnjohtajille tulisi esittää aloituskokouksessa aikaisemmin lämpökuvauksella havaittuja lämpötekniisiä virheitä työnaikaisten lämpökuvauksuraporttien avulla. Esitettyjen esimerkkitapausten avulla estetään virheiden toistaminen. Lämpökuvauksen kuuluminen kyseisen työlajin valvontaan on siis tärkeää tuoda esille ja kirjata pöytäkirjoihin heti työn alusta lähtien, jolloin lämpökuvauksella voidaan vaikuttaa rakennushankkeessa jo työtä ennakoivalla tavalla.

6.5.3 Työkohteen vastaanotto

Työkohteen vastaanottotilaisuudessa lämpökuvauksella voidaan vielä varmistaa tulevan rakenteen alle jäävien rakenteiden laatu, jos sitä ei ole tehty. Esimerkiksi ennen ikkunoiden karmiliitosten tai elementtien saumausta voidaan lämmöneristykset tarkastaa lämpökuvauksella.

6.5.4 Malliasennus

Malliasennusten ja mallikatselmusten tarkoitus on:

- varmistaa tiettyjen työkokonaisuuksien suunnitelmien toteutuskelpoisuus
- arvioida työryhmän kyky toteuttaa laatuvaatimukset
- arvioida teknisen ratkaisun kelpoisuutta käyttötarkoitukseen
- arvioida ratkaisun visuaalisia tekijöitä
- toimia vertailutasona työvaiheen tekemisen aikana. [16.]

Yleisesti malliasennustoiminnalla pyritään luomaan yhteinen näkemys oikeasta sovitusta laadusta osapuolten välille. Työmaan malliasennukset suunnitellaan työkokonaisuuden laadunvarmistusmatriisiin, ja joissain tapauksissa laaditaan erillinen malliasennussuunnitelma.

Malliasennus tehdään sovitussa laajuudessaan, joka voi käsittää eri yksikköjä kuten kappalemäärän tai pinta-alan. Malliasennus voi olla esimerkiksi malliasunto, mallihuone tai yksittäinen työnäyte. Malliasennuksen jälkeen pidetään mallista katselmus ja tarvittaessa voidaan liittää katselmukseen tarkistusmittauksia kuten ikkunakarmien lämmöneristysten lämpökuvauksia. [16.] Malliasennuskatselmuksen pöytäkirjan liitteeksi voidaan lisätä lämpökuvauksen mittauspöytäkirja, jossa todetaan hyväksytyt pintalämpötilat vallinneissa olosuhteissa.

6.5.5 Tarkistukset, mittaukset ja testit

Lämpökuvauksia kuuluu toteutuksen kannalta virallisesti tarkastusten, mittausten ja testien joukkoon, mutta lämpökuvauksen suunnittelu, toteutus ajankohdat ja tuloksien esittäminen liittyvät kaikkiin laadunvarmistustoimenpiteisiin. Muita lämpökuvauksen kaltaisia mittauksia ovat esimerkiksi vesieristeen kalvonpaksuusmittaus, askelääneneristysmittaukset tai rakennuksen vaipan ilmatiiveysmittaus. Lämpökuvauksen kuuluminen työajin laadunvarmistustoimenpiteisiin merkitään laadunvarmistusmatriisissa kuitenkin myös tarkemmittausten kohtaan ja mittauksen sisältö selitetään erikseen. [16.]

6.5.6 Laadunvalvonta ja -ohjaus

Jatkuva tehtävän laadunvalvonta ja ohjaus kuuluu työnjohdon jokapäiväisiin tehtäviin. Laadunvalvontaa voidaan tehostaa käyttämällä apuvälineitä kuten lämpökameraa tai vatupassia tai muuta vastaavaa. Jatkuvalla laadunvalvonnalla ja ohjauksella voidaan vaikuttaa vallitseviin asenteisiin ja estää tehokkaasti toistuvia virheitä. Tehtävän ohjauksen apuna lämpökameralla voidaan esittää työntekijälle välittömästi ja erittäin havainnollisesti havaitut virheet tai puutteet.

6.5.7 Työajin osavastaanotto ja vastaanotto

Urakka voi olla niin laaja, että urakan aikana täytyy tehdä osavastaanottoja. Osavastaanottotilaisuudessa osapuolet kiertävät vastaanotettavan osan kokonaislaajuudesta ja tarkastavat onko työsuoritus suunnitelmien mukainen sekä sopivat mahdollisten virheiden korjaamisesta.

Osavastaanoton päätteeksi tilaisuudesta tehdään pöytäkirja, josta käy ilmi osavastaanoton lopputulos huomautuksineen kirjallisesti kaikkien osapuolten hyväksymänä. Ennen osavastaanottoja olisi syytä tehdä työkohteen lämpökuvaukset, jotta materiaali olisi käytettävissä tilaisuuden aikana. Jos lämpökuvauksista ei ehditä tehdä, voidaan sopia erikseen sen suorittamisesta tai suorittaa mahdollisesti kuvaukset osavastaanottokierroksen yhteydessä. [16.]

Työsuoritus kokonaisuudessaan tulee varmistaa sopimuksen määräysten mukaiseksi työlajin valmistuttua, eli järjestää osavastaanoton kaltainen työnvastaanottotilaisuus. Vastaanotto on joko osavastaanottojen summa tai yksi vastaanotto koko aliurakan laajuudelta. Osavastaanotot ja niissä vaaditut korjaukset tarkastetaan tehdyiksi sekä lisäksi suoritetaan kokonaisvaltainen kierros, jossa todetaan mahdolliset uudet virheet ja puutteet ja sovitaan vastaanottokorjauksien suorittamisesta. Lopuksi työ todetaan vastaanottopöytäkirjaan suoritetuksi ja laskutus- sekä loppuselvityskelpoiseksi. [16.] Lämpökuvaukset tulisi suorittaa vastaanottoa ennen, jotta mahdolliset virheet saadaan korjattua ajoissa, jolloin välttyään takuu- sekä vuosikorjauksilta.

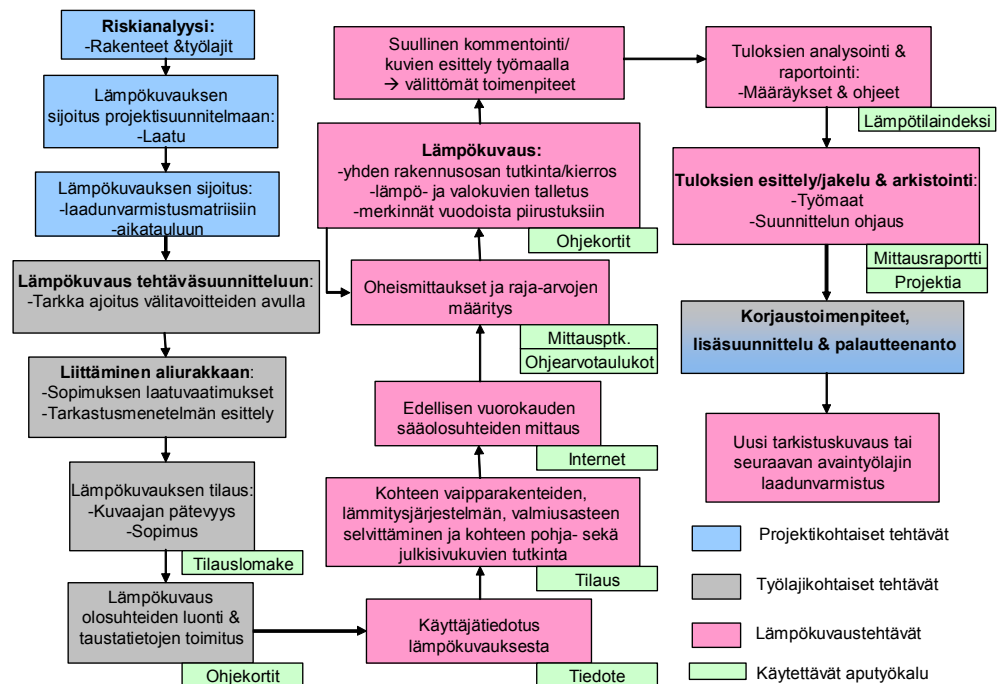
7 RAKENNUKSEN LÄMPÖKUVAUS JA OHEISMITTAUKSET

7.1 Lämpökuvauksen vaiheet työlajin laadunvarmistuksessa

Lämpökuvauksen liittäminen onnistuneesti rakennushankkeen laadunvarmistukseen edellyttää projekti-, aliurakka-, lämpökuvauskohtaisten tehtävien suorittamista ja tehtäviin suunniteltujen aputyökalujen järjestelmällistä käyttöä (kuva 7 ja liite 2). Projektikohtainen lämpökuvaus jakautuu neljään päävaiheeseen, jotka ovat:

- lämpökuvauksen sisällyttäminen projektisuunnitteluun
- lämpökuvauksen liittäminen aliurakkakohtaisiin sopimus- ja valvontamenettelyihin
- lämpökuvauksen suoritus ja tulosten esittely/jakaminen
- kuvaustuloksiin reagoiminen korjaustoimenpiteillä ja lisäsuunnittelulla.

Lämpökuvauksen projekti- ja työlaikohtaiset tehtävät sekä aputyökalut



Kuva 7. Lämpökuvauksen osapuolien tehtävät ja aputyökalut

7.2 Rakennuksen lämpökuvaamiseen valmistautuminen

7.2.1 Lämpökuvaajan pätevyyden selvittäminen

Rakennuksen lämpökuvauksesta tehdyn RT-kortin mukaan viranomaismääräykset ja -ohjeet eivät edellytä lämpökuvaajalta osoitettua pätevyyttä. Yleisenä ammattitaitovaatimuksena voidaan pitää, että rakennuksen lämpökuvaajalla on sekä lämpökuvauksen että rakennustekniikan asiantuntemus [5, s.2.] Kuvaajan pätevyys voidaan kysyttäessä esittää lämpökuvauksen perustutkintotodistuksella eli Level 1-sertifikaatilla sekä VTT:n myöntämällä lämpökuvaajan henkilösertifikaatilla.

7.2.2 Kirjallinen sopimus

Kun lämpökuvauksen suorittava taho on konsultti, lämpökuvauksen tilaajan on suositeltavaa tehdä kuvauksesta kirjallinen sopimus, josta käy ilmi kohteen ja osapuolten tiedot, kuvauksen ja raportin laajuus, kuvaustapa, erikoistapaukset, noudatettavat ohjeet ja kustannukset sekä osapuolten sitovat allekirjoitukset. [5, s.8.]

7.2.3 Tarvittavat taustatiedot

Kuvattavasta kohteesta tulisi olla käytettävissä viimeisimmät pohjapiirustukset, tarvittavat rakenneleikkaukset ja tiedot lämmitys- sekä IV-järjestelmästä, jotta rakenteiden toiminta voidaan ymmärtää jo ennen lämpökuvausta. Eriytyisen tärkeää on tietää kyseessä olevan rakennuksen ala- ja yläpohjan sekä ulkoseinien rakennusosien liitosdetaljit, jotta tiedetään lämpövuodoille riskialttiit paikat. Lämpökuvaus on siis suunniteltava etukäteen tutustumalla rakenteisiin ja lämmitys- ja ilmastointijärjestelmään. [5, s.4.]

7.2.4 Lämpökuvausolosuhteiden varmistaminen

Kohteen kuvattavuus täytyy varmistaa ajoissa ennen kuvauspaikalle saapumista ilmoittamalla työmaan työnjohdolle vaadituista olosuhteista. Rakennusvaiheessa olevassa kohteessa tulee varmistaa, että:

- kuvattavaa tilaa lämmitetään ajoissa
- ikkunat ja aukot suljetaan ja eristetään

- kuvattavat rakenneosat ovat esteettömästi kuvattavissa eli työkoneet, telineet ja seinien viereen varastoidut rakennusmateriaalit sekä roskat on siirrettävä pois tieltä.

Valmis rakennus, jossa ei ole vielä käyttäjiä, on vaivattomin valmistella lämpökuvauksista varten. Valmiissa ja tiiviissä rakennuksessa tarvitsee vain pitää verhot ja ikkunat kiinni sekä talotekniikka kuvaustavasta ja etsittävästä asiasta riippuvassa tilassa. Takuuajaisen lämpökuvauksen suorittamisessa on tärkeää informoida tilan käyttäjää etukäteen tiedotteella (Liite 1), jossa kerrotaan kuvauksen tarkoitus, aikataulu, asukkaan valmistelevat toimenpiteet ja kuvaajan yhteystiedot. Valmistelujen määrä riippuu tutkittavasta rakenteesta, jos esimerkiksi tutkitaan välipohjaliitoksia tai laajoja seinäpintoja, silloin joudutaan todennäköisesti siirtämään huonekaluja kuten pöytiä ja hyllyjä pois tutkittavalta alueelta. [5, s.9.]

7.3 Lämpökuvauksen olosuhdevaatimukset

7.3.1 Rakennusaikaisen lämpökuvauksen olosuhdevaatimukset

Kun lämpökuvauksista käytetään urakoitsijan omassa rakennusaikaisessa laadunvalvonnassa, ei mittausolosuhteille ole asetettu vaatimuksia [1, s.49.] Perusohjeena lämpökuvauksen olosuhteista voidaan pitää sitä, että tarvitaan riittävä, noin 15 °C:n lämpötilaero ero rakennuksen vaipan yli ja lievä alipaine kuvattavassa tilassa, jotta saadaan lämpötilaindeksiin verrattavia tuloksia. Riippuen rakennuksen valmiusasteesta ja sisäilmaolosuhteiden vakaudesta rakennusaikainen lämpökuvauksista perustuu pääasiassa lämpötilojen vertailuun, mutta lisäksi tuloksien analysoinnissa voidaan käyttää apuna asumisterveysohjeen lämpötilaindeksejä, jos kuvausolosuhteet todetaan sopiviksi. Rakennusaikaisten lämpökuvauksista suorittajan tulee tietää olosuhteet, jotka edesauttavat lämpökuvauksista onnistumista ja luotettavien tulosten saantia.

7.3.2 Valmiin rakennuksen lämpökuvauksen olosuhdevaatimukset

Valmis rakennus on rakenteellisesti ja taloteknisesti käyttövalmis tai jo käytössä oleva rakennus. Valmiiden rakennusten lämpökuvausta tehdessä vaaditaan seuraavia olosuhteita:

- Vähintään 12 tunnin aikana ennen kuvauksen suorittamista ei ulkoilman lämpötila saa poiketa enempää kuin ± 10 °C lämpökuvauksen aloittamisajan lämpötilasta.
- Vähintään 12 tunnin aikana ennen lämpökuvausta ja sen aikana ilman lämpötilaero ulkovaipan yli ei saa alittaa lukuarvoa $3/U$, jossa U on rakennusosan teoreettinen lämmönläpäisykerroin $W/(m^2,K)$. Lämpötilaero ei saa olla alle 15 °C.
- Vähintään 12 tunnin aikana ennen lämpökuvausta ja sen aikana kuvattava osa ei saa olla alttiina auringon säteilylle. Jos niin on tapahtunut, on se merkittävä raporttiin ja säteilyn vaikutus on otettava huomioon tuloksia tulkitessa.
- Lämpökuvauksen aikana ei ulkoilman lämpötila saa poiketa enempää kuin ± 5 °C eikä sisälämpötila saa poiketa enempää kuin ± 2 °C lämpökuvauksen aloittamisajankohdasta.
- Kuvattavan rakennuksen sisätiloissa tulee olla lievä alipaine ulkoilmaan verrattuna. Rakennuksen katonraja on yleensä ylipaineinen ulkoilmaan nähden tiloissa joissa on painovoimainen ilmanvaihto. Se on otettava huomioon tuloksia tulkitessa. Alipaine ei saa olla yli 15 Pa:a. Jos alipaine poikkeaa 0-15 Pa:n arvosta, kysymyksessä ei ole normaali käyttötilanne, vaan on selvitettävä mistä suuri paine-ero johtuu. [5, s.3.]

Edellä esitettyjen 12 tunnin lämpötilojen tasaantumisaikojen sijasta tulee käyttää vähintään 24 tuntia raskaissa rakenteissa kuten:

- umpitiili-rakenteissa
- siporex-rakenteissa
- sandwich-rakenteissa.

Tärkeimmät vaadittavista toimenpiteistä ja olosuhteista ennen lämpökuvausta ovat:

- lämpötilat ja ilmastointi on pidettävä rakenteesta riippuen vakiona puolesta vuorokaudesta vuorokauteen
- rakennuksen tulee olla alipaineinen ulkoilmaan nähden
 - normaalissa käyttötilassa saa olla enintään - 15 Pascalia alipainetta
- vaadittu lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä on 15 °C:ta
- lämpökuvausta ei suoriteta, kun
 - yön aikana ennen kuvausta ulkolämpötila muuttuu yli ± 10 °C
 - kuvauksen aikana sää muuttuu enemmän kuin ± 5 °C.
- auringon säteilyn pääsy kuvattaville pinnoille estetään verhoilla

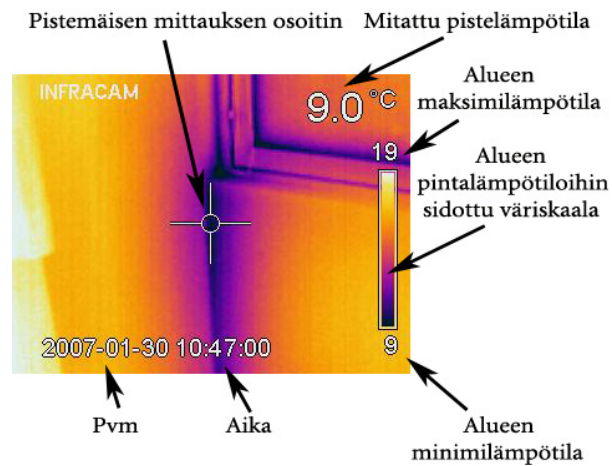
7.4 Lämpökameran käyttö ja oheismittaukset

7.4.1 Lämpökameran asetukset

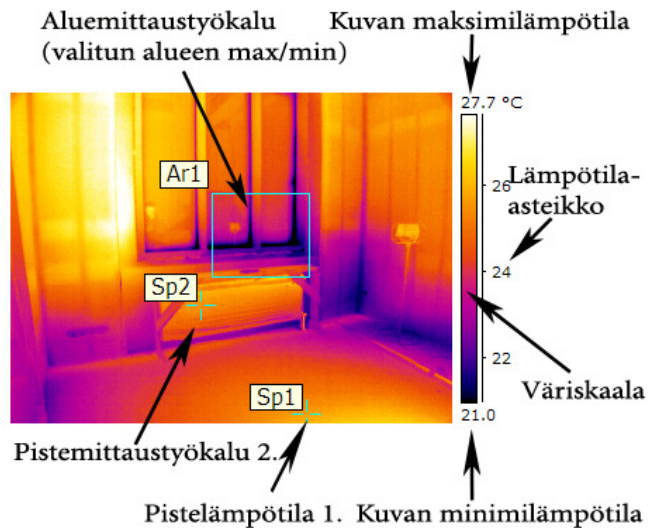
Ennen kuvauksen aloittamista täytyy kameran asetukset varmistaa oikeiksi. Tärkein lämpökameran asetuksista on kuvattavien pintojen emissiokertoimen asetus. Rakennusmateriaalien emissiokertoimista on laadittu valmiita taulukoita sekä osassa lämpökameroista on eri materiaaleille määritetyt kertoimet sisäisessä muistissa. Kun lämpökameralla tutkitaan vain tiettyä materiaalia on järkevää käyttää juuri oikeaa taulukon antamaa kerrointa. Yleisesti käytetty emissiokerroin kiinteistölämpökuvauksessa on 0,95. Kameran väripalettia on myös hyvä kokeilla vaihtaa värillisestä mustavalkoiseen, joka voi joissain tilanteissa olla havainnollisempi vaihtoehto.

7.4.2 Lämpökuvan lukeminen

Lämpökuvan sisältämien objektien merkitys on esitetty kuvissa 8 ja 9. Kuva 8 on otettu edullisemmalla Flir IfraCam-mallilla ja kuva 9 on otettu ammatti-käyttöön valmistetulla Flir Thermacam PM 695-mallilla.



Kuva 8. lämpökuvan lukeminen (Infracam)



Kuva 9. Lämpökuvan lukeminen (Thermacam PM 695)[11]

7.4.3 Kuvan tarkentaminen

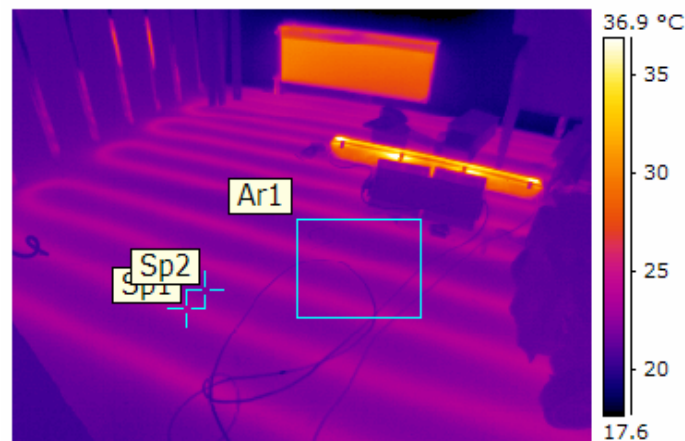
Osa lämpökameroista tarkentaa kuvan haluttaessa täysin automaattisesti, mutta edullisemmissa kameramalleissa kuvan tarkennus tulee tehdä käsin. Lämpökuvaa täytyy tarkentaa huolellisesti, koska tarkennuksella asetetaan etäisyys mitattavasta pinnasta. Väärin tarkennettu kuva antaa virheellisiä tuloksia eikä ole visuaalisesti havainnollinen.

7.4.4 Väripaletit ja lämpötilaskaala

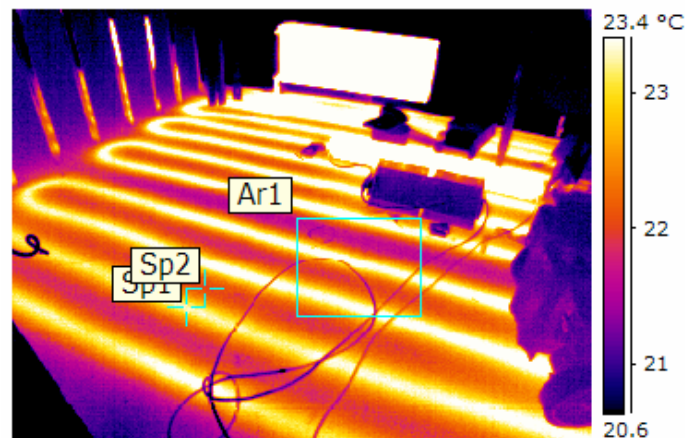
Lämpökamera tuottaa kohteesta pintalämpötilajakaumakuvan. Lämpökuvan oikeassa laidassa esitetään väriskaalan sekä mitattujen pintalämpötilojen minimi- ja maksimiarvojen yhteys kamerasta riippuvalla tarkkuudella. Erilaisien väripalettien avulla voidaan värejä verrata lämpötila-asteikkoon ja luoda nopea käsitys tutkittavan kohteen lämpötiloista. Useissa tapauksissa värillinen paletti on visuaalisin, mutta mustavalkoisen paletin tai muiden väri vaihtoehtojen käyttöä kannattaa kokeilla hankalissa tapauksissa.

Kamera säätää lämpöjakaumakuvan lämpöskalan automaattisesti kohteen minimi- ja maksimilämpötilojen mukaan, jolloin kuvasta erottaa hyvin esimerkiksi huoneen muodot. Tutkittava lämpötilaskaala on mahdollista asettaa myös manuaalisesti, joka mahdollistaa kapeamman lämpötila-alueen tarkastelun.

Kapeaa lämpötilaskaalaa käytettäessä erottaa tietyn tutkittavan lämpötilan omaavat kohteet ja pienet lämpötilaerot paremmin. Kehittyneiden lämpökameramallien kuvien lämpötilaskaalat voidaan muuttaa kuvauksen jälkeisessä jälkianalysoinnissa tutkimuskohteen mukaan. Jälkianalysointi nopeuttaa itse kuvaustilannetta merkittävästi, koska jokaista kuvaa ei tarvitse säätää kuva-
tessa manuaalisesti. Esimerkiksi tutkittaessa lattialämmityksen toimintaa tai puurungon sijaintia rakenteessa, kapea lämpötila-alue on huomattavasti havainnollisempi (kuvat 10 ja 11).



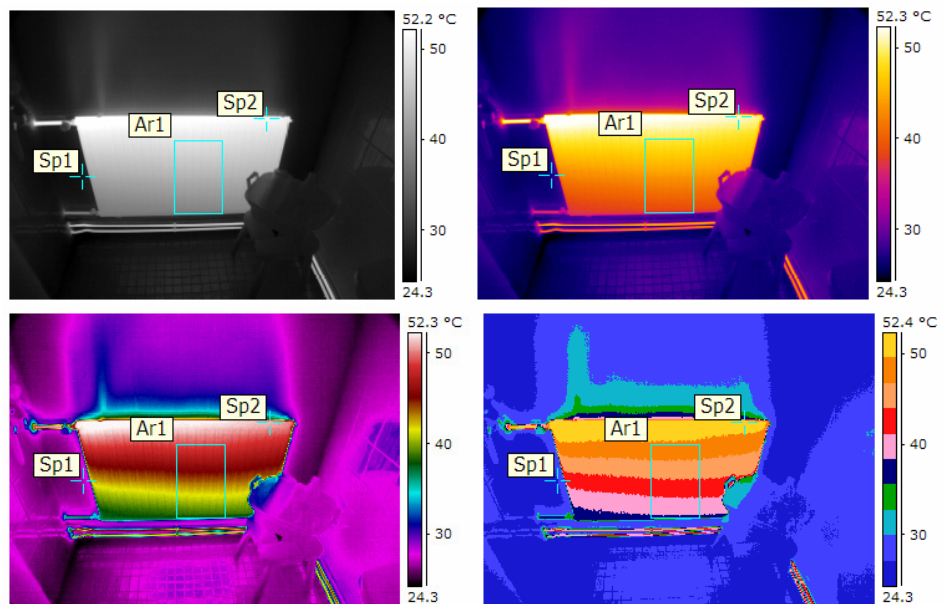
Kuva 10. Lämpökameran automaattinen laaja lämpötila-alue [11]



Kuva 11. Manuaalisesti säädetty kapea lämpötila-alue [11]

7.4.5 Lämpökuvien jälkianalysointi

Jälkianalysointiominaisuus lämpökamerassa nopeuttaa kuvaustilannetta huomattavasti sekä helpottaa informatiivisempien ja havainnollisempien lämpökuvien ja raporttien luomisessa. Parempien lämpökameroiden kuvia voidaan jälkianalysoida monipuolisesti tietokoneohjelmilla, joiden avulla saadaan muutettua aluetyökalun rajaaman alueen kokoa ja paikkaa sekä pistemittaustyökalun pisteiden paikkaa. Jälkianalysoitavasta kuvasta voidaan määrittää valitun alueen keski-, maksimi- ja minimilämpötiloja sekä pistelämpötiloja koko lämpökuvan alueelta. Paletteja voidaan myös skaalata havainnollisemmiksi niin, että pienetkin lämpötilaerot eli mahdolliset rakennevirheet ja vauriot erottuvat kuvasta selvemmin. Väripalettien käytöllä on suuri ero esimerkiksi lämpöpatterin lämpöjakauman tutkimisessa (kuva 12).



Kuva 12. Erilaisten väripaletti vaihtoehtojen vaikutus kuvan havainnollisuuteen [11]

Edullisimmat kameramallit eivät tue jälkianalysointia, siksi lämpökameran hankinnassa tulee asia ottaa huomioon käyttötarkoituksesta riippuen. Rakentamisaikaiseen laadunvalvontaan sopii yksinkertainen lämpökamera, jolla voidaan pääasiassa vain verrata pintalämpötiloja yhden mittauspisteen ja lämpöjakaumakuvan avulla. Ammattimaisessa lämpökuvauksessa jälkianalysointi on tärkeä työvaihe, jolloin asiakkaalle annettavasta kuvamateriaalista saadaan mahdollisimman selkeä ja havainnollinen.

7.4.6 Kuvauskulman ja kuvausetäisyyden merkitys tuloksiin

Kuvauskulman vaikutusta tuloksien tarkkuuteen on tutkittu ja on todettu, että kuvauskulma tulisi pitää kohtisuorana tai enintään 45° kulmassa kuvattavan pinnan kanssa kohtisuorasta, jotta tuloksien virhemarginaali pysyy ± 1 °C:ssa. Loivat kuvauskulmat kasvattavat virhettä jopa yli 2 °C:ta ja mahdollistavat häiritsevien heijastuksien esiintymistä. Kohdetta tulisi pyrkiä kuvaamaan aina mahdollisimman kohtisuoraan. [2, s.20.] Kuvausetäisyytenä on hyvä pitää noin 2-4 metriä sisätiloissa ja ulkona maksimissaan 10 metriä, riippuen kameramallista ja käytetystä optiikasta.

7.4.7 Lämpökuvauksen oheismittaukset

Lämpökuvaajan varusteisiin kuuluu lämpökameran lisäksi elektroninen lämpömittari, kosketuslämpömittari, paine- ja suhteellisen kosteuden mittari, ilmanvirtausmittari ja mahdollisesti savuampulleja sekä tietysti dokumentointivälineitä kuten digitaalikamera ja kirjoitusvälineet. [2, s.61.]

Tarvittavia tietoja rakennuksessa vallitsevasta tilasta ovat sisä- ja ulkoilman paine-erot, lämpötilaerot, tuulen suunta ja voimakkuus sekä sisäilman suhteellinen kosteus ja pistelämpötiloja. Jokaisen lämpökuvauksen yhteydessä tulee varmistaa lämpötilat myös muilla lämpömittareilla kuten infrapuna- tai pinta-anturilla varustetulla kosketuslämpömittarilla. [5, s.3.]

Huonelämpötila tulee mitata noin metrin korkeudelta tutkittavan tilan oleskeluvyöhykkeellä. Tarkkoja lämpökuvaustutkimuksia tehtäessä huoneilman lämpötilan sijasta lämpökuvaajan tulee määrittää tilan operatiivinen lämpötila, jos tilassa on:

- kaksilasinen ikkuna
- lattiasta kattoon ylettyvä yli metrin levyinen ikkuna
- huoneessa on lattia-, katto-, tms. säteilylämmitys
- työpisteeseen kohdistuu suoraa auringon säteilyä
- huoneessa on useita huonosti eristettyjä ulkoseiniä.

[26, s.7][6, s.19.]

Ilmanpaine-erojen mittaus tulee tehdä elektronisella painemittarilla ainakin yhdestä huoneesta jokaista eri ilmansuuntaa kohti ja samoin jokaisesta kerroksesta. Ilmanpaine-ero voidaan mitata tuuletusikkunan kautta niin, että painemittarin toinen letku viedään raollaan olevan ikkunan välistä ulos ja teipataan ikkunarako tiiviiksi, jonka jälkeen sisäpuolinen letku pidetään samalla korkeudella ulkopuolisen letkun kanssa ja mahdollisimman kaukana ikkunasta, jolloin lopulta mittaus voidaan suorittaa. Normaalikäytössä olevan rakennuksen ilmanpaine-ero pitäisi olla arvojen -5 Pa ja -30 Pa välillä.

Sisäilma ei saa olla pysyvästi liian kostea eikä kosteutta saa kondensoitua rakenteiden pinnoille [22, s.6.] Mittaamalla sisäilman suhteellinen kosteus voidaan määrittää sisäilman sisältävän kosteuden kastepistelämpötila eli lämpötila, jossa kosteus kondensoituu pinnoille. Kastepisteen määrittämiseen käytetään apuna kostean ilman Mollier-käyrästä. Lisäksi sisäilman suhteellisen kosteuden avulla voidaan arvioida rakennusaikaisen kosteuden määrää ja tehostaa kuivausta ja lämmitystä sen mukaisesti.

Sisäilman suhteellinen kosteus tulisi olla tavoitearvojen mukaan:

- talvella 25 - 45 %
- kesällä 30 - 60 %.

[7, s.14.]

Ulkoilman olosuhteet mitataan ja kirjataan ylös yksi tai kaksi päivää ennen kuvausta, juuri ennen kuvausta ja kuvauksen jälkeen. Kirjattavat olosuhteet ovat ulkoilman lämpötila, tuulen suunta ja voimakkuus sekä pilvisuus. Myöhemmin lämpökuvaustuloksia analysoidessa voidaan arvioida kuvausta edeltävien sääolosuhteiden vaikutusta rakenteiden lämpötiloihin.

7.4.8 Lämpökameran kalibrointi

Lämpökameran tuloksien luotettavuus tulee varmistaa kalibroimalla kamera tasaisin väliajoin. Kameran kalibroidaan valmistuksen jälkeen tehtaalla, mutta kuljetuksessa tai käytössä kamera voi vaurioitua ja sen vuoksi saattaa antaa virheellisiä tuloksia. Lämpökamera on kalibroitava vähintään kahden vuoden välein valmistajalla, maahantuojalla tai kalibrointiin valtuutetulla laitoksella. [5, s.3.]

7.5 Lämpökuvauksen suoritustavat

7.5.1 Lämpökuvauksen laajuus

Yleisesti laajuutta voidaan kuvata kolmella eri tasolla, joista ensimmäinen on suppein ja kolmas laajin. Tason 1 lämpökuvaus sisältää rakennuksen ulkoseinien kuvauksen sisä- ja ulkopuolelta kuvaustulosteineen ilman kirjallista lausuntoa. Tason 2 lämpökuvaus sisältää koko rakennuksen lämpöteknisen toiminnan tarkastuksen ja kirjallisen raportin. Taso 3 käsittää laajan lämpöteknisen toimivuuden tutkimisen sisäilmaolosuhteiden ja kosteusvaurioiden kannalta ja sisältäen tarvittavat muut mittaukset. Lämpökuvauksen laajuus voidaan ja kannattaa sopia tapauskohtaisesti riippuen kohteesta.

7.5.2 Lämpökuvaustapa

Lämpökuvaus tehdään yksivaiheisena tai kaksivaiheisena. Yksivaiheisena kuvaus tehdään normaali käyttötilassa ja kaksivaiheisena kahdessa eri painesuhteessa. Kaksivaiheisen ensimmäinen kuvauskerta tehdään nollatilassa, jolloin ilmastointi on ollut suljettuna useita tunteja ennen kuvausta ja toinen kuvaus tehdään mahdollisimman suuressa alipaineessa ilmastointikoneen tai erillisten puhaltimien avulla. [2, s. 78.] Lämpökuvauksella voidaan tutkia rakennuksen vaipan lämpövuotoja normaalissa hieman alipaineisessa tilassa sekä vaipan ilmapuotoja tehostetussa alipaineessa.

Lämpökuvaus suoritetaan yleensä rakenteen alipaineiselta puolelta, jolloin vuoto esiintyy pintalämpötilaerona. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetussa rakennuksessa vallitsee yleensä alipaine alakerroksessa ja yläkerroksessa ylipaine johtuen savupiippuvaikutuksesta. Rakennuksen alakerroksien vuodot havaitaan yleensä sisältä ja yläkerroksien ja yläpohjan liitoksien vuodot havaitaan paineolosuhteiden vaikutuksesta puolestaan ulkopuolelta. [2, s. 27-28.]

Kuvat voidaan nimetä paikan mukaan tai kirjata pohjapiirustukseen kuvauksen kulku. On suositeltavaa kiertää rakennus järjestelmällisesti myötä- tai vastapäivään ja ottaa jokaisesta mahdollisesta rakennevirheestä lämpökuva sekä valokuva. On suositeltavaa ottaa lämpökuvia myös virheettömästä rakenteesta, jotta hyvän ja huonon rakenteen eroa voidaan käyttää kuvien analysoinnin apuna ja lisäksi esitellä eroa asiakkaalle myös visuaalisesti.

7.6 Käytettävät määräykset ja ohjeet

Lämpökuvauksen suorittamiseksi ja tuloksien tulkitsemiseksi tulee tietää mitkä ovat rakenteiden ja asumisen kannalta hyväksyttäviä lämpötiloja. Suomen rakentamismääräyskokoelma eivätkä viranomaisohjeet anna selviä raja-arvoja sallittujen pintalämpötilojen suhteen. [5.]

Sosiaali- ja terveysministeriö antaa ohjeita terveydensuojelulain 32 §:n nojalla lämpötiloista ja muista fysikaalisista sekä kemiallisista ja biologisista tekijöistä kiinteistöissä. [6.]

Terveydelliset viranomaismääräykset ja ohjeet löytyvät seuraavista lähteistä:

- Terveydensuojelulaki
- Sosiaali- ja terveysministeriön opas 1:2003 Asumisterveysohje
- Sisäilmayhdistyksen julkaisu 5: Sisäilmastoluokitus 2000

Rakenteelliset viranomaismääräykset ja ohjeet löytyvät seuraavista lähteistä:

- RakMK C3 Lämmöneristysmääräykset 2003.
- RakMK D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003.
- RakMK D3 Rakennuksen energiatalous Määräykset ja ohjeet 1978/Luonnos 2006.
- RT 07-10144 Rakennuksen sisäilmasto.

7.6.1 Lämpötilojen ohjearvot ja lämpötilaindeksi

Asumisterveysohjeessa on esitetty taulukkona (taulukko 1) huonetilojen ja huoneilman ohjearvot. Huoneella tarkoitetaan pysyvästi asuintarkoitukseen suunniteltua ja rakennettua tilaa. Lämpötilaindeksin käyttö perustuu asuintilojen ja niihin verrattavien tilojen sisäilman olosuhteiden arviointiin. Ohjearvoja ei sovelleta muiden tilojen kuten aputilojen ja kellareiden terveydelliseen arviointiin, mutta muissa kuin asuintiloissa lämpötilaindeksiä voi käyttää tutkimuksen tukena ja antamaan vertauskohtia tutkimukselle.

Pintalämpötilojen ohjearvojen lähtökohdana on, että rakennuksen pintalämpötilat eivät saa laskea kastepistelämpötilaan tai sen alapuolelle.

Taulukon 1 lämpötilojen ohjearvot on luotu mittausolosuhteille, joissa ulkoilmanlämpötilaksi oletetaan -5 °C ja sisäilmalle $+21\text{ °C}$. Usein lämpötilaolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista ja tällöin pintalämpötilojen arvioinnissa tulee käyttää lämpötilaindeksiä, joka määritetään laskemalla sisäilman, sisäpinnan ja ulkoilman lämpötilojen avulla. [5, s.5.]

Lämpötilaindeksi voidaan laskea kaavasta 1:

$$TI = \frac{(T_{sp} - T_o)}{T_i - T_o} \times 100[\%] \quad (1)$$

Lämpötilaindeksin laskukaavan tekijät ovat:

- TI = Lämpötilaindeksi
- T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C
- T_i = sisäilman lämpötila, °C
- T_o = ulkoilman lämpötila, °C

Taulukko1. Lämpötilojen, lämpötilaindeksien ja ilman virtausnopeuden ohjeellisia arvoja [6]

Asunto ja muu oleskelutila	Välttävä taso	TI	Hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) ¹⁾	18 ^{1) 2)}		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 ²⁾		20	
Seinän lämpötila (°C) ³⁾	16 ⁶⁾	81	18 ⁶⁾	87
Lattian lämpötila (°C) ³⁾	18 ^{2) 6)}	87	20 ⁶⁾	97
Pistemäinen pintalämpötila (°C)	11 ^{4) 6)}	61	12 ⁶⁾	65
Ilman virtausnopeus ⁵⁾	Vetokäyrä 3		Vetokäyrä 2	

Asumisterveysohjeen taulukkoon (taulukko 1) viittaavat poikkeukset ja selitykset ovat seuraavat:

1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää 23 – 24 °C.

2) Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso 19 °C.

3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä, kun ulkoilman lämpötila on – 5 °C ja sisäilman lämpötila + 21 °C. Jos mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksiä.

4) Lämpötilaindeksiä 61 % vastaava pistemäinen pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaa-
van mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45 % vastaava kaste-
pistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on – 10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C. Ikkunoiden, seinännurkkien ja putkien läpi-
viennin alin hyväksyttävä pistemäinen pintalämpötila.

5) Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyristä.

6) Jos huoneilman lämpötila on < 21 °C pintalämpötiloja mitattaessa, seinän ja lattian sekä pistemäisen pintalämpötilan arvioina käytetään mittaustuloksista laskettua lämpötilaindeksiä, jota verrataan taulukon 1 arvoihin. [6, s.17.]

7.6.2 Lämpötilaindeksin käyttöesimerkki lämpökuvauksessa

Hyvän tason alittavat lämpötilaindeksin mukaiset lämpötilat ovat hyödyllistä tietoa kaikkia erilaisia tiloja tutkittaessa, vaikka lämpötilaindeksiä ei asumisterveysohjeen mukaan sovelleta suoraan muihin kuin asuin- ja hoitorakennuksiin. Mittausolosuhteet ovat harvoin niin optimaaliset, että voidaan käyttää rakenteiden lämpötilojen arvioinnissa valmiiksi laskettuja asumisterveysohjeen taulukossa 1 ilmoitettuja rajalämpötiloja.

Lämpötilaindeksin avulla voidaan laskea sallittu minimilämpötila vallitsevissa olosuhteissa. Kuvaustilanteen alussa on hyvä laskea vallitsevien olosuhteiden määräämä raja-arvo tutkittavan alueen kuten ikkunaliitoksien lämpötilalle, jotta tiedetään milloin lämpökuva on syytä tallentaa raportointia varten. Pistelämpötilan raja-arvo lasketaan välttävän ja hyvän tason indeksin raja-arvon 65:n varmalle puolelle lämpötilaindeksille 70.

Raja-arvo pistelämpötilalle voidaan laskea kaavasta 2:

$$T_{sp} = \frac{TI(T_i - T_o)}{100} + T_o \quad (2)$$

Raja-arvon laskukaavan tekijät ovat:

- TI = lämpötilaindeksi
- T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C
- T_i = sisäilman lämpötila, °C
- T_o = ulkoilman lämpötila, °C

Oletetaan, että esimerkiksi:

- sisäilman lämpötila on 19 °C
- ulkoilman lämpötila on – 8 °C
- raja-arvo lämpötilaindeksille on 70

Sijoittamalla arvot kaavaan 2, sisäpinnan lämpötilan raja-arvoksi saadaan:

$$T_{sp} = \frac{70(19^{\circ}\text{C} - (-8)^{\circ}\text{C})}{100} + (-8)^{\circ}\text{C} = 10,9^{\circ}\text{C}$$

Laskukaavasta tulokseksi saatu 10,9 °C:ta on esimerkkitapauksen pistemäisen pintalämpötilan raja-arvo, jonka alittavat pistemäiset pintalämpötilat tulee raportoida. Työmaaolosuhteissa sisälämpötilat vaihtelevat, siksi on hyvä selvittää raja-arvot usealle sisälämpötilalle valmiiksi. Valmiiksi lasketut lämpötilataulukot ovat nopeuttavat kuvausta (liite 6). Kaikissa kameramalleissa ei voi asettaa automaattista minimilämpötilahälytystä vaan lämpötila täytyy merkitä muistiin.

7.7 Lämpökuvien analysointi ja korjausluokat

Lämpökuva talletetaan, kun kohteelle asetettu minimilämpötila alittuu tai havaitaan jotain muuten normaalitilanteesta poikkeavaa. Paikallinen lämpötila-eron aiheuttava rakennevika tulee yrittää tutkia jo kuvaustilanteessa ja kirjata muistiin analysointia varten. Jos havaitun virheen syy ei selviä kuvaustilanteessa, se voidaan myöhemmin selvittää rakennedetalji- ja leikkauspiirustusten, työnjohtajien tietojen tai muiden jatkotutkimuksien avulla.

7.7.1 Lämpötekniisten vikojen ja puutteiden ominaispiirteet

Erilaisille lämpötekniisille puutteille ominaisia piirteitä lämpökuvassa ovat:

- ilmapuodoille on ominaista muodostaa ilmapirran suuntainen viuhkamainen kylmä pinta vuotokohtaan liittyvälle pinnalle kuten sisäkaton rajaan
- kylmäsilta ja eristepuute erottuvat selkeästi ympäristöään kylmempänä kohtana koko kylmäsilan tai eristepuutteen alueella
- kosteusvaurio lämmöneristyksissä näkyy epätasaisen muotoisena alueena viileämpänä tai lämpimämpänä ympäristöönsä nähden riippuen olosuhteista

7.7.2 Normaalista eroavan ilmanpaine-eron vaikutus lämpötilaindeksiin

Kun lämpökuvattavan tilan ilmanpaine-ero ulkovaipan yli ei ole normaali -5 Pascalia ja paine-eroa ei saada korjattua ilmastointiventtiilien säädöllä, tulee epänormaali paine-ero ottaa huomioon lämpötilaindeksin laskennassa. Paine-eron vaikutusta ilmapuotokohdian ympäristön pintalämpötiloihin on tutkittu vielä vähän, mutta tehtyjen tutkimusten mukaan alipaineen vaikutus vuotokohdan lämpötiloihin on melko suoraviivainen, kun paine-ero on alle -30 Pascalia. Alipaineen ylittäessä -30 Pascalia lämpötilan muutos pinnoilla ei ole enää hallinnassa ja ilmanvaihdossa on vika joka tulee korjata. Testien mukaan yhden Pa:n muutos paine-erossa aiheuttaa lämpötilaindeksiin laskettuna keskimäärin yhden Pa:n indeksimuutoksen. Esimerkiksi, jos vallitseva ilmanpaine-ero olisi -20 Pa:a, silloin alipainetta olisi suunniteltuun -5 Pa:n ilmanpaine-eroon nähden 15 Pa:a liikaa, jolloin laskettuun lämpötilaindeksiin voitaisiin lisätä 15 yksikköä.

7.7.3 Korjausluokan määrittäminen

Lämpökuvissa esiintyvät minimilämpötilat tarkastellaan laskemalla niille vallitsevien lämpötilojen mukaiset lämpötilaindeksit. Lämpötilaindeksejä määritettäessä raja-arvoina käytetään pistemäisen pintalämpötilan arvoa, kun tutkittavan alue on tilan seinillä tai seinien liitoskohdissa eli oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella. Lämpökuvien analysoinnin aikana määritetään löydettyjen lämpöteknisten ongelmien korjausluokka.

Korjausluokitus perustuu lämpötilaindeksiin ja se on jaettu neljään luokkaan 1-4. Korjausluokkaa käytetään lämpökuvausraportoinnissa löydettyjen ongelmien kriittisyyden esittämiseen. Asuin- ja oleskelutilojen korjausluokat määritellään seuraavasti:

- 1. Korjattava, $TI < 61$ %
 - Pinnan lämpötila ei täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa (ilmavuoto, eristevika). Heikentää oleellisesti rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa (esim. kosteusvaurio).
- 2. Korjaustarve selvitettävä, $TI = 61 - 65$ %
 - Korjaustarve on erikseen harkittava. Täyttää Asumisterveysohjeen välttävän tason, mutta ei täytä hyvää tasoa.
- 3. Lisätutkimuksia, $TI > 65$ %
 - Täyttää Asumisterveysohjeen hyvän tason vaatimuksen, mutta piilee tilan käyttötarkoitusta huomioiden kosteus- ja lämpöteknisen toiminnan riski. On tarkasteltava rakenteen kosteustekninen toiminta tai tehtävä muita lisätutkimuksia (esim. tiiviysmittaus).
- 4. Hyvä, $TI > 70$ %
 - Täyttää hyvän tason vaatimuksen. Ei korjaustoimenpiteitä. [5, s.5.]

Lämpökuvia analysoidessa tulee huomioida lämpötilaindeksien ja korjausluokituksen lisäksi tapauskohtaisesti vallitsevat olosuhteet ja rakenteet, jotta vältetään turhilta korjaustoimenpiteiltä.

8 LÄMPÖKUVAUKSEN RAPORTOINTI

8.1 Työnaikaisen ja työnjälkeisen raportoinnin erot

Työnaikaista raporttia voi kutsua mittausraportiksi, joka on suppeampi ja palvelee dokumenttina vain työn aikana. Työnjälkeinen raportti on virallinen lämpökuvausraportti, joka on yksityiskohtaisempi ja se palvelee rakentajia sekä käyttäjää myös takuuajana ja sen jälkeen. Työnaikainen raportti tulee olla tarpeeksi yksinkertainen ja nopea tuottaa, jotta lämpökuvauksen tuloksia päästään hyödyntämään mahdollisimman nopeasti tuotannon kehittämiseen.

Lämpökuvausraporttia varten suoritettu lämpökuvaus tulee suorittaa perusteellisesti ja yleisten määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Lämpökuvaaajilla ei ole vakiintunutta yhtenäistä raportointitapaa ja siksi raporttien laadussa ja havainnollisuudessa on paljon eroja. Lämpökuvaaajalta voi pyytää esimerkin raportointitavasta. Suositeltavaa on käyttää laitevalmistajien valmiita apuohjelmistoja raporttien luomisessa. Apuohjelmistojen avulla kuvien siirto ja tarvittavien lämpötilojen sekä lämpötilaindeksien laskutoimitukset voidaan automatisoida. Lämpökuvaaajan tulee aina pyytää tilaajalta suostumus lämpökuvausraportin jatkokäyttöön kuten koulutustarkoituksiin.

8.2 Työnaikainen mittausraportti

Työnaikaisen lämpökuvauksen raportti on syytä tehdä myös huolellisesti ja selkeästi, jotta kolmaskin osapuoli kuten virheiden korjaaja pystyy käyttämään raporttia apunaan. Mittausraportin ulkoasu riippuu käytettävästä kameramallista ja ohjelmistoista, mutta tärkeänä yleisohjeena voidaan neuvoa esittämään lämpökuvat riittävän suurina eli maksimissaan noin 2 - 3 kuvaa/A4-arkki, selkeästi havaintojen positiot kuvien yhteydessä ja tutkitun tilan oheismittaus tulokset. Mittausraportin jakelun yhteydessä on tärkeää varmistaa asioiden ymmärtäminen, siksi paras vaihtoehto on käydä mittausraportti kuvauksen tilaajan kanssa yhdessä läpi.

8.2.1 Mittausraportin sisältö

Kohteen vastaavalle mestarille ja työnjohtajille luovutettavassa kirjallisessa raportissa tulee olla seuraavat asiat:

- kuvauskohteen yhteystiedot ja kuvauksen tarkoitus
- kuvausolosuhteet (sää ja oheismittaukset)
- mittauskalusto
- asumisterveysohjeen lämpötilaindeksin käyttöohje
- korjausluokitus menettelyn selitys
- lämpökuvattujen kohteiden kuvaus
- sisälämpötilojen määritetyt raja-arvot ja tallennetut lämpökuvat
- mahdolliset valokuvat
- kommentit havaitun lämpötekni­sen puutteen syystä ja kriittisyydestä
- korjaus ja jatkotoimenpiteet
- liitteenä pohja- ja/tai julkisivupiirustukset merkinnöillä.

8.3 Lämpökuvausraportti

Lämpökuvaajan on raportoitava kaikista rakenteessa havaituista poikkeamista, jotka voivat olla lämpö-, kosteusteknisiä vaurioita tai muuten virheelliseen toteutukseen tai suunnitteluun viittaavia. Mahdollisia raportoitavia poikkeamia ovat eristepuutteet, -virheet, ilmansulkujen vuodot, suuret lämpötilaerot, ilmavuodot sisäilmasta rakenteisiin (ylipaine), ilmavuodot ulkoilmasta sisätiloihin (radon- ja mikrobivuodot), vetoa aiheuttavat sisäpinnat, kosteusvaurioepäilyt ja talotekniikka viat ja puutteet.

8.3.1 Lämpökuvausraportin sisältö ja tulkinta

Lämpökuvausraportti voi sisältää seuraavat otsakkeet:

- kohteen yleistiedot
 - kohde ja osoite
 - tutkimuksen tilaaja ja suorittaja
 - tutkimuksen tavoite ja tutkimusajankohta
 - kuvaus kohteesta

- lähtöarvot
 - mittausmenetelmät
 - ulko- ja sisäilman olosuhteet
 - ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmä
 - rakenteet
- noudatettavat ohjeet ja määräykset
 - terveydelliset ohjeet ja määräykset
 - rakenteelliset ohjeet ja määräykset
- raja-arvot
 - asumisterveysohjeen pintalämpötilaohjeet ja niiden tulkinta
 - muut kohteeseen sovellettavat kriteerit
- lämpökuvauksen tulokset ja johtopäätökset
 - vikojen taulukointi ja korjausluokitus sekä kirjallinen yhteenveto jatkotoimenpiteistä
 - arvio myös muista pintalämpötiloihin vaikuttavista tekijöistä
 - lämpökuvatulosteet kommentteineen eli mittausraportti
- pohjapiirustukset

9 RAKENNUSAIKAISET LÄMPÖKUVAUSKOHTEET

9.1 Tärkeimmät lämpökuvattavat rakenteet, työlajit ja järjestelmät

Lämpökuvaus tulee liittää rakennusten rakennusfysikaalisten ominaisuuksiin, tuotannon tarpeiden ja tutkittujen lämpökuvausmahdollisuuksien perusteella laadunmittausmenetelmänä pääasiassa seuraaviin rakennushankkeen avaintyölajeihin:

- runko- ja lämmöneristystyöt
 - vaipparakenne-elementtien lämmöneristävyys ja saumojen tiiveys
 - rakennusvaipan lämmöneristys, tuulensuojaus ja ilman-/höyrynsulku
- ikkuna-asennukset
 - ikkunaliitoksen tiiveys vaipparakenteeseen
 - ikkunakarmien tiiveys
 - ikkunatiivisteiden tiiveys
 - ikkunalasien lämmöneristävyys
- vesikattotyöt
 - läpiviennit ja rakenneosien liitoskohdat
 - räystäsrakenteet
 - kattoikkunoiden tiiveys
 - kermikatteen vedenpitävyys
- talotekniikka-asennukset
 - lämmitysjärjestelmän toiminnan tarkistus
 - ilmastointiasennuksien toiminnan tarkistus
 - sähköasennuksien toiminnan tarkistus

RAKENTAMISAIKAINEN LÄMPÖKUVAUS		
TYÖMAATEKNIikka (Huolto, ylläpito ja muut sovellukset)		
Runko ja vaippa	Ikkunat, ovet & aukot	Talotekniikka

Kuva 13. Tärkeimmät lämpökuvattavat kohteet

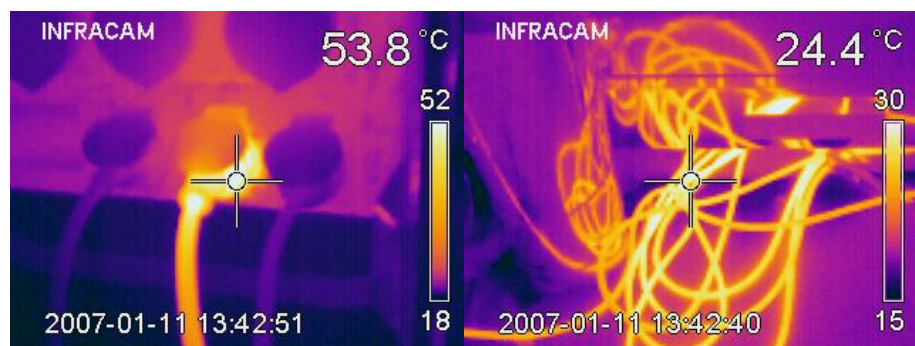
9.2 Lämpökuvaussovellukset työmaatekniikan apuna

9.2.1 Työmaaparakkien huoltotoimenpiteiden apuna

Rakennustyömailla on väliaikaisia tiloja, joita käytetään varastoina, pukutiloina, sosiaalitaloina ja toimistoina. Yleisin tilaratkaisu on parakki, jossa on viemäri-, sähkö- ja tietoliikenneliitännät. Talvipakkasilla ulkopuoliset viemäriputket voivat jäätymä tai työpisteissä saattaa esiintyä vetoa puutteellisten parakki-liitosten tai vaurioiden vuoksi. Esimerkiksi viemäriputken jäätynyt osa voidaan sopivissa olosuhteissa paikantaa lämpökameran avulla ja työolosuhteet työmaalla saadaan palautettua sujuvammin ennalleen.

9.2.2 Lämpökuvaus työmaasähköistyksen ylläpidon apuna

Työmaan sähkökalusto on kovassa käytössä ja vaativissa olosuhteissa välillä sateessa tai suuren pölykerroksen kyllästämänä. Sähköverkossa ilmenevät ongelmat syntyvät yleensä ylikuormituksista tai epäkunnossa olevien sähkölaitteiden käytöstä. Työmaan sähköistysjärjestelmän ylläpitäjälle lämpökamerasta on apua muun muassa löyhien ja ylikuumien sähköliitosten sekä jakokeskusten löytämisessä. Sähköliitoksille ja sulakkeille ei ole säädetty yleisiä ohjelämpötiloja, siksi lämpökameralla tulee verrata lämpötiloja toisiinsa ja reagoida huomattaviin lämpötila eroihin samankaltaisten liitosten kesken (kuva 14).



Kuva 14. Hetkeä aikaisemmin kuormitettu sähköjohto

9.2.3 Rakennusaikainen vaipan tiiveys

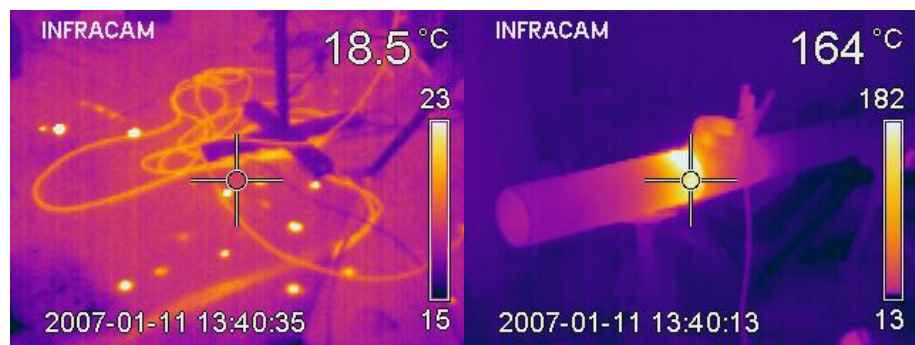
Suomessa rakennetaan paljon kylmien säiden armoilla ja siksi lämmitetään, eristetään sekä rakennetaan väliaikaisia rakenteita riittävien rakennuslämpötilojen saavuttamiseksi. Julkisivun aukkojen peittäminen, tukkiminen ja eristäminen ovat normaaleja toimenpiteitä. Väliaikaiset eristykset on helppo tarkastaa lämpökuvauksella. Maksimoimalla rakennuksen väliaikaisen vaipan tiiveys säästetään lämmityskustannuksissa ja parannetaan työiihtyvyyttä sekä edesautetaan rakenteiden nopeampaa stabiloitumista. [12.]

9.2.4 Lämpökuvaus kosteuden hallinnan apuna

Rakennusmateriaalien kuivuminen aiheuttaa pintojen halkeilua ja vaikuttaa sisäilman olosuhteisiin. Rakennettava kohde tulisi saada mahdollisimman aikaisin normaalitilaan eli rakenteet kuiviksi ja lähelle tulevaa käyttölämpötilaansa sekä sisäilman olosuhteet lähelle suunniteltuja käyttövaiheen arvoja. Lämpökuvausta voidaan käyttää rakentamisen aikana kosteudenhallinnan tehostamisessa paikantamalla kosteuden laajuus ja paikka rakenteissa joista se on muuten vaikeaa erottaa.

9.2.5 Tulitöiden valvonta ja paloturvallisuus

Tulitöiden aikana saattaa ympäröiviin rakenteisiin ja ympäristöön päästä tulipalon aiheuttavia kipinöitä. Tulityön valvontaa voidaan tehostaa käyttämällä lämpökameraa, mutta lämpökameran reagoima maksimilämpötila on syytä selvittää ennen todella kuumien kohteiden kuten hitsausliitosten tarkkojen lämpötilojen määrittämistä (kuva 15).

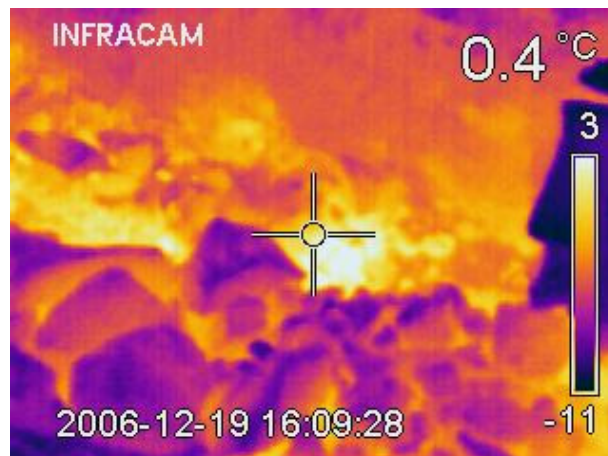


Kuva 15. Jäähtyneitä hitsausroiskeita, sähköjohto ja tuore hitsiliitos

9.3 Maarakennus- ja pihatyöt

9.3.1 Raivaus- ja perustusvaihe

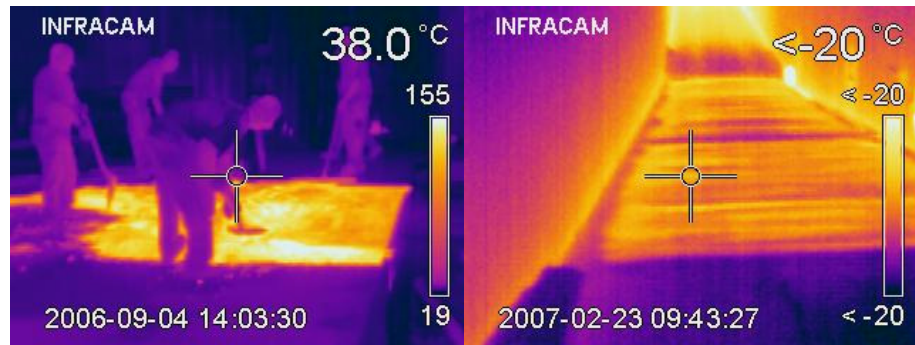
Rakennushankkeen rakentamisvaihe alkaa tontin raivauksella, maarakennuksella ja perustustöillä. Lämpökuvauksen avulla voidaan erottaa tarkekuvien puutteessa kaukolämpöverkkoja ja kaivoja sekä havaita maan kaivamisen yhteydessä esimerkiksi routaraja (kuva 16). Perustuksia ei voi rakentaa jäätyneen maan varaan. Maan täytyy olla sulaa perustustason alapuolella, kun perustuksia valetaan tai asennetaan. Maaperää voidaan pitää sulana eristämällä se heti kaivannon jälkeen tai lämmittämällä. Maan sulattaminen myöhemmin on kalliimpi vaihtoehto kuin sulana pitäminen. [12, s.30] Maan lämpötilaa ja eristeiden toimivuutta on kätevä tarkastella lämpökameran avulla.



Kuva 16. Ojakaivannon sula pohja

9.3.2 Asfaltitöyt ja sulanpitojärjestelmän toiminta

Pihatöiden yhteydessä voidaan tarkastella tuoreen asfalttimassan lämpötilaa ja sen jäähtymistä. Asfalttimassan tulee olla lähes 200 °C, jotta rakenteesta tulee kestävä. Pihakivetyksien ja betoniliuskosten alle ja sisään asennettujen sulanpitojärjestelmien toiminta voidaan tarkastaa myös kätevästi lämpökuvauksella (kuva 17).



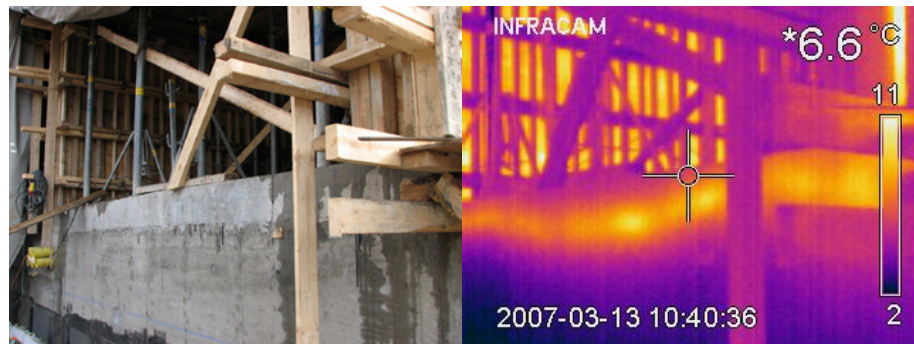
Kuva 17. Asfalttimassan lämpötilan tarkistus ja katkennut sulanpitoverkko

9.4 Runkotyöt

9.4.1 Betonirunko- ja muut betonointityöt

Betonityöt ovat erittäin tärkeitä suorittaa ja valvoa oikein kylmissä sääolosuhteissa. Tuore betoni synnyttää lämpöä sitoutuessaan ja virheellisen betonityön suorituksen tuloksena jäätyessään menettää huomattavasti lujuuttaan. Lujuuden menetys voi aiheuttaa suuria rakenteellisia vaurioita ilmentyessään myöhemmin. Talvella betonirakenteiden lujuudenkehitystä seurataan ja varmistetaan betonivaluun asennetuilla dataloggereilla, joiden keräämistä lämmönkehitystiedoista betonivalmistajat ja työnjohtajat analysoivat lujuuden kehitystä.

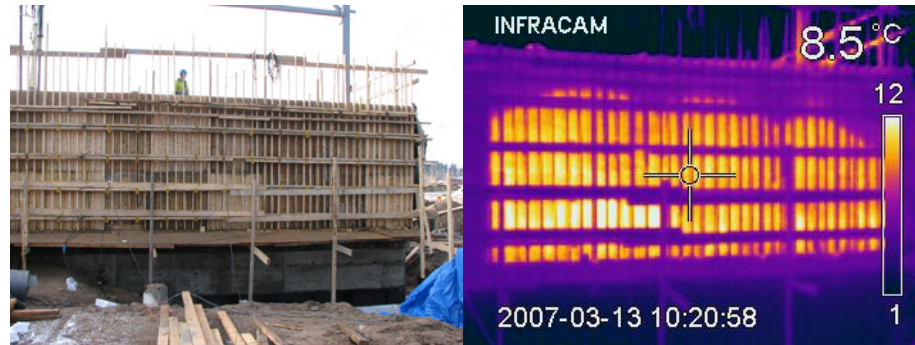
Betonivalumuotin ja siihen liittyvän ympäristön kuten pilarin alapuolisen anturan lämpötila tulee olla riittävä betonin lujuuden kehitykselle. Muotteja lämmitetään talvella ajoissa ennen valua lämminilmapuhaltimilla tai halogeenivaloilla ja sitoutumisen aikana betonia lämmitetään raudoitteisiin kiinnitetyillä sähköistetyillä lämmityskaapeleilla (kuva 18). Lämpö pyritään säilyttämään muotissa usein myös eristemateriaaleilla kuten pakkaspeiteillä ja eristelevyillä [12, s.33 – 35.]



Kuva 18. Sokkelin yläreunaa lämmittää rakenteen sisäinen sähkökaapeli

Betonin sitoutumiseen vaadittuja lämpötilaolosuhteita voidaan varmistaa lämpökuvauksen avulla tarkistamalla muotin sisäpinnan tai muun valualustan pintalämpötila. Kylmissä ja epätasaisen lämpötilan omaavissa tiloissa voidaan betonointitöissä arvioida suurien valualueiden jähmettymistä ja betonin lujuudenkehitystä vertaamalla alueiden pintalämpötiloja. Muotin ulkopinnan lämpötilajakaumien perusteella arvioida mahdollisen lisäeristämisen tai lämmityksen sijoitusta, suuntaa tai tarvetta erityisesti kriittisillä nurkka- ja reuna-alueilla sekä seurata betonin lämmönkehityksen tasaisuutta.

Massiivisissa betonivaluissa ja IT-betonivaluissa ja painemuottivaluissa lämpökuvausta voi käyttää massan liikkumisen ja lämmönkehityksen seurantaan (kuvat 19 ja 20).



Kuva 19. VSS:n seinämuotti lähes täynnä betonia



Kuva 20. VSS:n seinämuotti on täyttynyt tasaisesti betonilla

9.4.2 Elementtirunkotyöt

Elementeillä tarkoitetaan rakennusosaa kuten seinää, joka on valmistettu muualla ja toimitettu rakennuskohteeseen vain asennettavaksi. Elementtien hyödyntäminen rakentamisessa on yleistä ja elementtejä valmistetaan materiaaleista kuten betonista, kivistä, puusta, lasista ja metalleista sekä näiden erilaisista yhdistelmistä.

Asennetun elementtirakenteen tulee omata samat ominaisuudet kuin vastaavan paikalla valmistetun rakenteen. Mahdolliset elementtitehtaalla aiheutuneet lämmöneristyspuutteet elementtien sisällä on mahdollista erottaa lämpökameralla ja saatua tietoa voidaan hyödyntää elementti tuotannon kehittämiseksi. Elementtiasennuksen laadullisen onnistumisen edellytyksenä ovat mittatarkkuus ja lämpötekniisesti tiiviit liitokset.

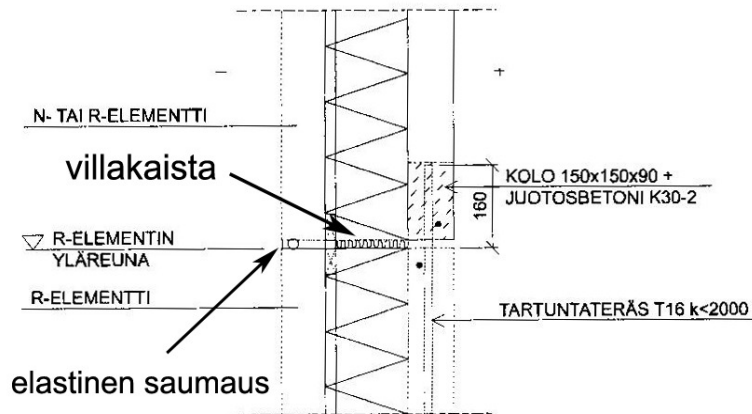
Nykyään esimerkiksi metallirunkoiset lasiseinäelementit ovat yleisiä toimitilakohteissa, mutta niiden rakenteet sekä liitokset ovat haastavia suunnitella ja toteuttaa lämpötekniisesti oikein. Lasiseinäelementtien kustannukset ovat joissain hankkeissa huomattava kustannuserä, siksi laatu- sekä kustannustietous ovat tärkeitä. Rakennushankkeen hankintainsinöörit hyötyisivät, jos heidän käytettävissään olisi elementtitoimittajien ja asennusurakoitsijoiden työn laadusta mitattua dokumentoitua vertailutietoa.

Lämpökuvauksen dokumentoinnin avulla voidaan työnaikaisen laadunvarmistuksen lisäksi vaikuttaa tulevien urakoitsijoiden valintaan. Lämpökuvauksen tuloksia voidaan parhaiten hyödyntää, kun rakennetaan usean toimistorakennuksen ryhmää, jossa toistuu lähes sama rakenne ja voidaan verrata toisiinsa tehokkaasti kuvaustuloksia hankinnan apuna.

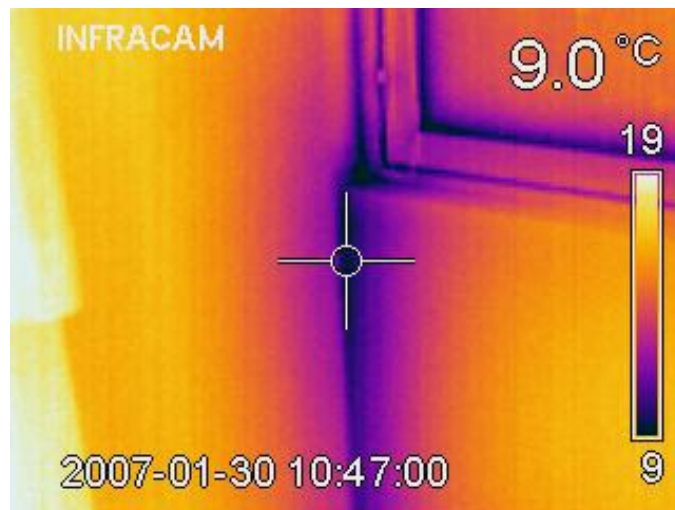
Betonielementtiasennuksen huolimattoman suorituksen ja valvonnan vuoksi elementtirakenteisissa rakennuksissa voi esiintyä huomattavia lämpövuotoja elementtien saumojen läheisyydessä. Viime aikoina on korjaustyömailla löydetty selviä elementtien saumapuitteita 1970-luvun elementtikerrostalojen julkisivuelementti- ja lämmöneristysremonteissa. [14.]

Betonielementtiasennuksen betonointityössä eli elementtien saumauksessa ja seinäelementtien lämmöneristeen jatkuvuuden varmistamisessa voidaan hyödyntää lämpökameran tarkkuutta. Elementtisaumausta tehdään painevaluna, pumpattavalla saumabetonilla tai kuivasullontamenetelmällä. Ontelolaattojen saumausta tehdään notkealla betonilla. Jokaisessa menetelmässä on mahdollisuus sille, että täytettävä sauma ei täyty täydellisesti. Lämpökameran avulla voidaan seurata sauman täyttymistä vertaamalla saumojen lämpötilajakaumia.

Elementtien lämmöneristyksen jatkuminen tulee varmistaa asentamalla liitokseen riittävän paksu villakaista ja varmistettava lämmöneristeen jatkuvuus elementtiasennuksen aikana ja viimeistään ennen elastista saumaus-työtä lämpökuvauksella, jos olosuhdevaatimukset täyttyvät (kuvat 21 ja 22).



Kuva 21. Rakenneleikkaus nauha-elementin liitoksesta



Kuva 22. Lämpövuoto puutteellisesti eristetyssä elementtisaumassa

Muita elementtirakenteen lämpötekniseen toimivuuteen vaikuttavia asioita ovat:

- elementtien lämmöneristeen pinnan on oltava puhdas
- suunniteltujen tuuletusrakojen toteutumisen varmistus
- sandwich-elementtien työaikainen suojaus kosteudelta
- elementin ja paikallavalurungon lämmöneristeiden kohtaaminen

9.4.3 Puurunkotyöt

Puurunkotöissä tehdyt työvirheet ja puutteet voidaan havaita lämpökameralla vasta, kun rakennuksen vaippa on muuten tiivis ja saavutetaan riittävät lämpötila- ja ilmanpaine-erot sisä- ja ulkoilman välillä. Puurunkotöiden aikana lämpökuvauksella on siis tiedottava tehtävä ja myöhemmin se toimii laadun toteavana laadunvarmistustyökaluna. Lämpöteknisten detaljien huolellisen suorituksen tarkastusta tulee painottaa esittelemällä lämpökuvauksen havainnollisesti aliurakan aloituspalaverissa. Työn aikana laadunvarmistus tulee toteuttaa muiden toimenpiteiden avulla.

Puurungon liittyminen betonisiin tai muista kivimateriaaleista valmistettuihin rakenteisiin kuten sokkeleihin ovat detaljeja, joiden virheellinen toteutus aiheuttaa paljon lämpövuotoja. Sokkelidetaljin toteutuksessa yleinen virhe on oikean eristemateriaalin puuttuminen sokkelin ja alajuoksun välistä. [14.]

Puurungon alajuoksun ja sokkelin väliin jää rakoja, koska sokkelin yläpintaa ei ole hierretty tasaiseksi tai tasoitettu erikseen ja puinen alajuoksu muuttaa muotoaan kuivuuksaan eli käyristyy ja kutistuu. Sokkelin ja alajuoksun väliin asennettavan eristeen tulisi olla riittävän paksu ja muotoutuva, jotta se täyttää kaikki pienetkin epätasaisuudet. [14.]

9.5 Vaipan eristystyöt

9.5.1 Lämmöneristystyöt

Lämmöneristämisen tavoitteena on saada rakennuksen vaipalle yhtenäinen ja toimiva lämmöneristekerros. Lämpökuvauksen on varmasti lämmöneristystöiden laadunvarmistamiseen tehokkain tapa, jos työt vain ajoittuvat riittävän viileälle ajalle ja riittävä ulko- ja sisäilman lämpötila sekä ilmanpaine-ero saavutetaan. Lämmöneriste voi olla pehmeää tai kovaa ja se voidaan asentaa paikalleen eri muodoissa, paloina tai esimerkiksi ruiskutettuna. Lämmöneristystöissä noudatettavat työohjeet löytyvät materiaalintoimittajilta, rakennussuunnitelmista ja yleisistä rakennusohjeistoista.

Mahdollisten korjauskustannusten minimoimiseksi lämmöneristystyön lämpökuvaukset suoritetaan ennen julkisivurakenteen asennusta ja sisäpinnan taivutus- ja maalaustöitä, kun lämmöneristysurakoitsija on ilmoittanut työn valmiiksi kuvattavalta osalta ja kuvausolosuhdevaatimukset täyttyvät. Kesken-eräisten rakenteiden lämpökuvien analysoinnissa tulee vertailla pääasiassa vain samankaltaisten rakenteiden välisiä lämpötilaeroja ja soveltaa lämpötilaindeksiä vasta valmiissa rakenteessa.

Lämmöneristystä lämpökuvataan yleensä sisäpuolelta, mutta yläpohjan lämmöneristystyöt on ilmanpaineolosuhteiden vuoksi syytä kuvata myös kylmältä puolelta eli ullakolta, tuulettuvasta välitilasta tai ulkopuolelta, jos se on mahdollista. Huomiota tulee kiinnittää suurien pintojen lisäksi saumoihin, kulmiin ja läpivienteihin. Julkisivurakenne voi olla runkorakenteen kanssa yhtenäinen tai erotettuna ilmaraolla. Tuuletusrako vaikuttaa olennaisesti mahdollisuuksiin tutkia julkisivua lämpökuvauksen avulla. Yhtenäisen julkisivurakenteen lämpötekniistä tiiveyttä voidaan tarkastella monipuolisemmin lämpökuvauksella.

Ilmaraolisessa julkisivurakenteessa julkisivun pintalämpötila on yleensä tasainen ja lähellä ympäristön lämpötilaa ja ulos kulkeutuvan lämmön havaitseminen lämpökameran avulla ulkopuolelta on lähes mahdotonta. Julkisivun pintarakenteen kuntoa kuten rapautumista voidaan tutkia lämpökuvauksella molemmissa rakennetyypeissä.

Toimitilarakentamisen rakenteissa lämmöneristysten toteutus eroaa paljon pientalojen rakenteista. Paikalla rakennetuissa puurakenteisissa pientaloissa lämpövuotojen ehkäisemiseksi täytyy varmistaa useamman rakenteen lämpötekniinen toteutus kuin elementtitekniikkaan perustuvassa toimitilarakennuksissa. Huolimaton eristystyön toteutus voi aiheuttaa vaippaan merkittäviä ilmavuotoja. Rakennuksen tiivis vaippa luodaan tekemällä huolellista työtä ja tarkistamalla useita asioita. Vaipan tiiveyteen vaikuttavat asiat ja yleisimmät vuotokohdat ovat lämpökuvaajalle tärkeää tietoa, jotta lämpökuvaaja osaa arvioida havaitsemiensa lämpövuotojen syitä.

Rakennuksen vaipan tiiveyteen vaikuttavia tehtäviä ja ominaisuuksia ovat:

- höyrynsulkumateriaalin 150 mm limittäminen ja teippaus ilmastointiteipillä
- ehjä ja yhtenäinen höyrynsulku
- seinän ja katon höyrynsulun limittäminen ja teippaus
- ehjät eristys- ja runkomateriaalit
- riittävän suuret lämmöneristyslevyt (noin 10 – 20 mm ylimittaiset)
- tuulensuojalevyjen huolellinen kiinnitys ja saumojen teippaus tai tiivistys
- ilmastointiputkien lämmöneristys
- läpivientikappaleiden käyttö
- yläpohjan painumavaran mukainen lisäpuhallusvilla (jopa +20 %)
- puhallusvillan liikkumisen estämiseksi kovan villalevyn asennus
- tuuletusvälin toimivuus
- räystäiden läheisyydessä aluskatteen toteutus
- työnaikainen rakenteiden ja rakennusmateriaalien sääsuojaus.

Yläpohjien ja seinien yleisimpiä vuotokohtia ovat:

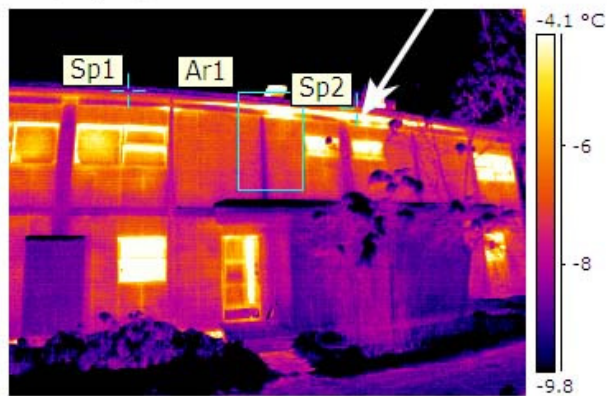
- IV- ja hormiläpiviennit
- ulkoseinien ja yläpohjan liitoskohdat
- sähkörasia asennukset

Yläpohjien ja seinien yleisimpiä lämpövuotojen aiheuttajia ovat:

- kierot tai vajaakanttiset runkotoipat
- pieni rako rungon ja eristeen välillä
- rikkoutunut eriste
- liian tiiviisti sullottu eriste
- tuulensuojassa rakoja, jotka aiheuttavat ilman virtausta eristeissä
- puutteita höyrynsulussa. [4, s.13.]

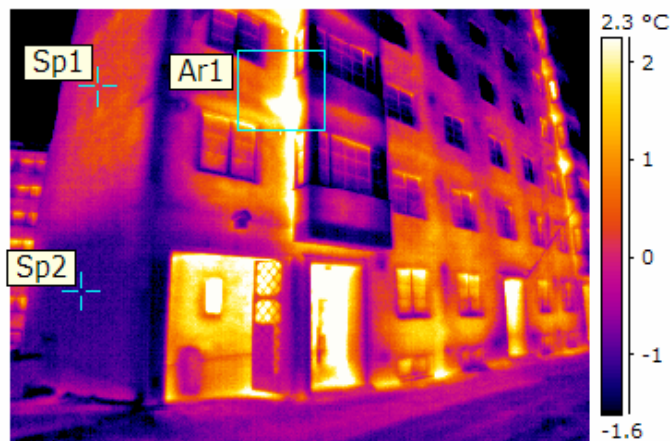
Läpivientien höyrynsulkuna tulisi käyttää läpivientien tiivistämiseen tarkoitettuja tuotteita, jotka ovat muotoiltu valmiiksi oikeaan malliin. Huonosti tehdyt läpivientien tiivistykset ilmenevät ilmapuotoina, jotka aiheuttavat erilaisia rakennevaurioita. Puurakenteisen talon ilmastointikanavien ja hormien läpiviennit lämpökuvataan sisäpuolisen kuvauksen lisäksi tuulettuvan yläpohjan puolelta, koska usein katon rajaan nouseva lämmin ilma pyrkii läpivientiliitoksista kylmään välitilaan.

Yläpohjan ja seinän liitoksessa lämpövuotoa



Kuva 23. Julkisivusta havaittu yläpohjan lämpövuoto [11]

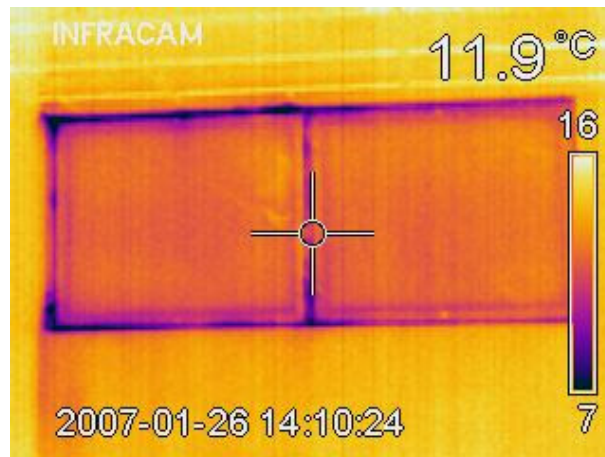
Kuten kuvasta 24 näkyy, vanhan kerrostalorakennuksen julkisivun lämpökuvasta on vuotokohtat helppo ja nopea paikallistaa.



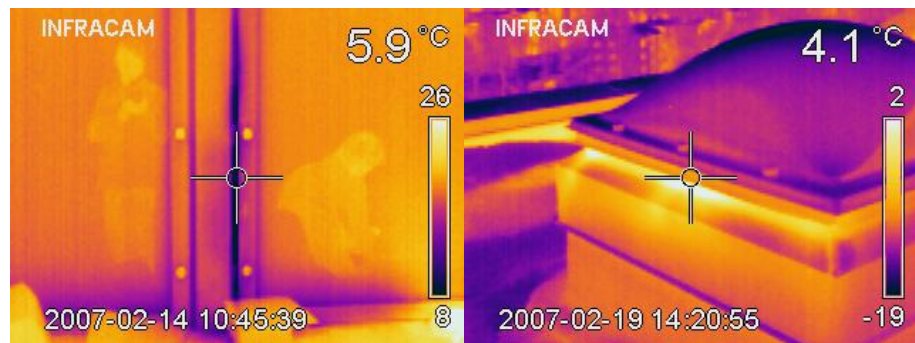
Kuva 24. Erkkeriliitoksen lämpövuoto [11]

9.6 Ovi- ja ikkuna-asennukset

Ovi- ja ikkuna-asennusten oikeanlainen suoritus on erittäin tärkeä rakennuksen lämpötekni- sen toimivuuden kannalta. Suoritettujen lämpökuvausten perusteella ovi- ja ikkuna-asennusten vuotavat liitokset vaippaan sekä tiiviste- materiaalipuutteet ovat merkittävimpiä lämpövuotojen syitä (kuvat 25 ja 26).



Kuva 25. Pienet asennusvarat aiheuttaneet karmivuotoa



Kuva 26. Puu- ja kattoikkunan tiivistevuodot

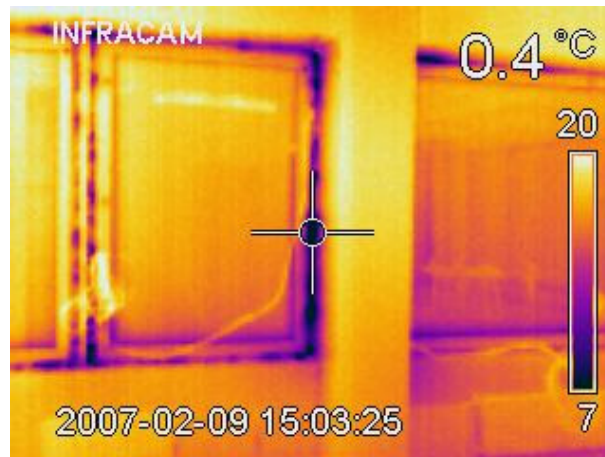
9.6.1 Asennuksessa huomioitavia asioita lämpötekni- sestä

Ovet ja ikkunat asennetaan kiilojen varaan ja säädetään oikeaan asentoon- sa jonka jälkeen karmin ja runkorakenteen välinen asennusrako tiivistetään eristevillalla tai polyuretaani vaahdolla. Tiivistemateriaalin täytyy täyttää sille varattu tila perusteellisesti.

Ovi- ja ikkuna-asennukset tulee tarkastaa tilkitsemisen jälkeen ennen sisäpuolisen saumausmassan asennusta ja lista-asennuksia. Elementtirunkoissa rakennuksissa elementtien ikkuna-aukot ovat välillä niin suuria, että ikkuna-asennuksissa käytetään apukarmeja. Puinen apukarmi kiinnitetään betonielementtiin, mutta apukarmin ja elementin väliin tulee asentaa eristämateriaali lämpövuotojen estämiseksi.

Muutamia työnjohtajien haastatteluissa esiin tulleita, ikkuna-asennuksessa tehtäviä ja tärkeitä toimenpiteitä lämpövuotojen ehkäisemiseksi ovat:

- tilkinnän tarkastus ennen kittausta (kuva 27)
- ikkunan karmieristeiden asennus kokonaisuudessaan yhdellä kerralla
- karmien ristimittojen tarkastus
- asennuskiilojen ja kiinnitysosien sijainnin tarkastus
- käytetään säätöruuveja, jotta myöhempi karmisäätö on mahdollista.



Kuva 27. Työnaikaisessa laatutarkastuksessa havaittu karmivuoto

9.6.2 Ikkuna-asennuksien lämpökuvaus

Lämpökuvaus voidaan aloittaa, kun rakennuksen vaippa on riittävän tiivis ja työmaa-aikainen lämmitys voidaan aloittaa sekä saavutetaan suurempia kuin 15 °C:n lämpötilaeroja sisä- ja ulkoilman välillä. Rakennusaikaisessa ikkuna-asennuksien lämpökuvauksessa on tärkeää huomioida savupiippuvaiikutuksen aiheuttamat ilmanpaineolosuhteet. Savupiippuvaikutus ilmenee tehokkaasti monikerroksisissa, valoaukoilla ja rappukäytävillä varustetuissa rakennuksissa.

Rakennuksen ala-, keski- ja yläkerroksiin syntyy varsin erilainen ilmanpaine, kun rakennusaikainen lämmitys on päällä ja korvausilmaa rakennukseen tulee vain vaipan kulkuaukoista ja väliaikaisesti peitettyjen ilmaa vuotavien aukkojen kautta. Lämmennyt ilma nousee nopeasti valoaukon ja avonaisten rappukäytävien kautta ylempiin kerroksiin aiheuttaen suuren ylipaineen ylimpiin kerroksiin. Rakennusaikaisessa lämpökuvauksessa tulee yrittää saada alipainetta tasaisesti kaikkiin kuvattaviin tiloihin tai suorittaa lämpökuvaus tarvittaessa osittain ulkopuolelta. Lämpökuvaus kannattaa ajoittaa niin, että valoaukot ja muut savupiippuvaikutusta tehostavat aukot on lasitettu tai peitetty ja poistoilmakanavat auki mahdollisimman monessa kerroksessa.

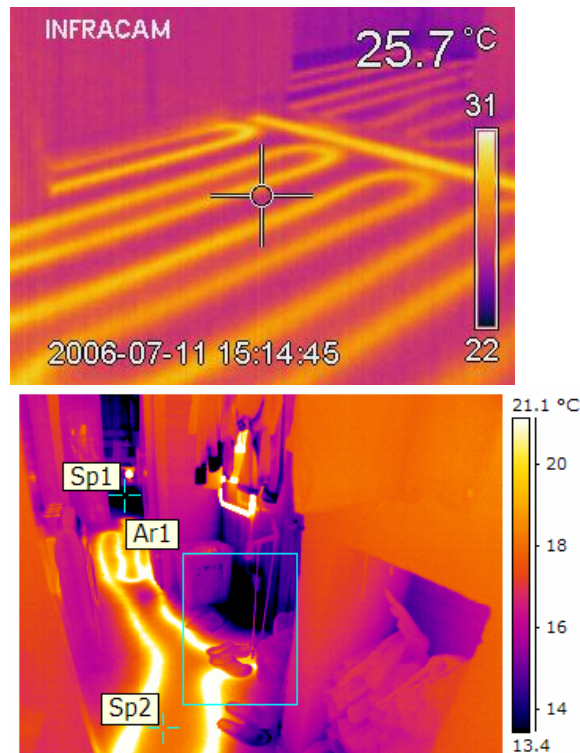
Ikkunapintojen lämpötilojen määrittämisessä lämpökameran avulla täytyy huomioida heijastuvan lämpösäteilyn vaikutus, koska ikkunat heijastavat tehokkaasti ympärillään olevien kohteiden lämpösäteilyä. Lämpökameralla mitattuihin ikkunoiden pintalämpötiloihin tulee suhtautua varauksella varsinkin ulkopuolisissa mittauksissa. Ikkunan tai muun tehokkaasti heijastavan materiaalin oikea lämpötila voidaan mitata ikkunaan kiinnitetystä mustasta teipistä, jonka emissiokerroin on suurempi kuin 0,90. [2, s.54.]

9.7 Talotekniikkatyöt

9.7.1 Lattialämmitysverkoston lämpökuvaus

Lattialämmitys on nykyään yleinen lämmitystapa muissakin kuin rakennuksen märkätiloissa ja lattialämmityksen toiminta voi vaikuttaa oleellisesti koko rakennuksen lämpötiloihin sekä viihtyvyyteen. Lattialämmitysverkostossa kiertää vesi tai glykoliseos, josta lämpö siirtyy johtumalla sitä ympäröivään materiaaliin joka yleensä on betoni tai sementtilaasti ja sen päällä lattian pintamateriaali. Kun lattialämmitys on ollut päällä pitkään, lattian pintalämpötilan pitäisi tasoittua koko alueella, jos lattialämmitys on oikein asennettu ja säädetty.

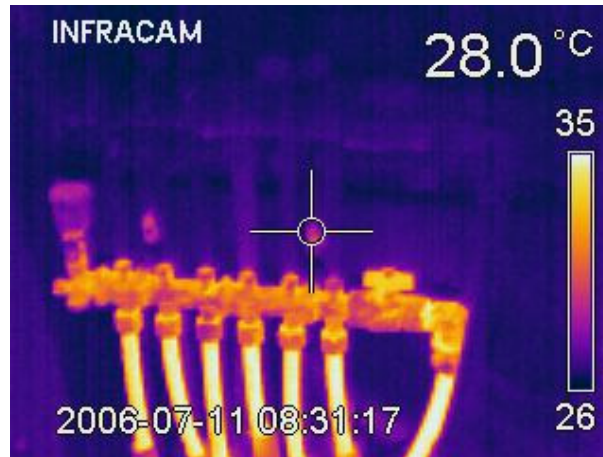
Lattialämmitysverkoston sijainti voidaan paikantaa lämpökameran avulla muutaman senttimetrin tarkkuudella. Lattialämmitysverkoston paikantamisessa on tärkeää, että verkosto kytketään jäähtyneessä lattiassa päälle hie-man ennen lämpökuvauksen alkua, jolloin lämpötila ei ole päässyt tasaantumaan betonilaatassa vaan lämmityskaapelit erottuvat tällöin selkeästi (kuva 28).



Kuva 28. Lattialämmitysverkoston sijainti betonilaatan sisällä

Kaapeleiden tarkan sijainnin voi merkitä lämpökameran laserosoitinta käyttämällä, mutta laser osoittimen näyttämän pisteen sijainti kannattaa varmistaa ohjekirjasta sekä kokeellisesti ennen sen käyttöä. Flir Systemsin Infracam-mallissa laserosoitin osoittaa neljä senttimetriä todellista mittauspistettä ylemmäksi ja siksi on suositeltavaa kuvata lattialämmitysverkostoa verkoston lenkkien suuntaisesti, jolloin laser osoittaa joka tapauksessa putkiston suuntaiselle linjalle.

Lattialämmitysverkoston toimintaa ja säätöjä tutkitaan verkoston jakotukista, jonka lämpökuvasta erottaa mahdollisesti vaurioituneen tai väärin säädetyn osion nopeasti (kuva 29 ja 30).



Kuva 29. Tasaisesti toimiva lattialämmityksen jakotukki

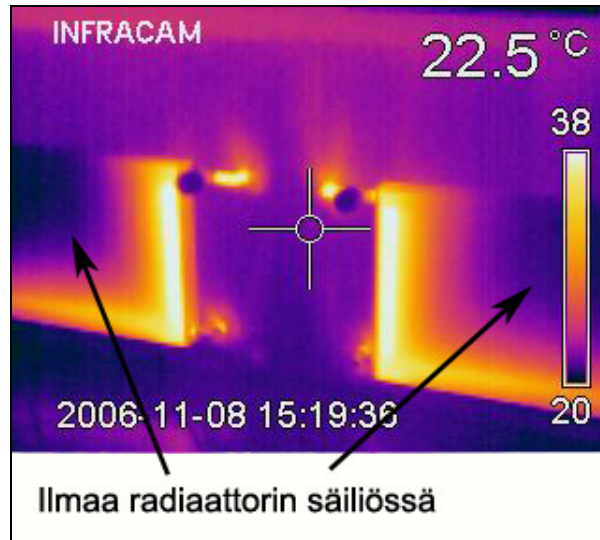


Kuva 30. Lattialämmitys verkoston jakotukissa on kylmälenkki (autotalli)

9.7.2 Radiaattoreiden lämpökuvaukset

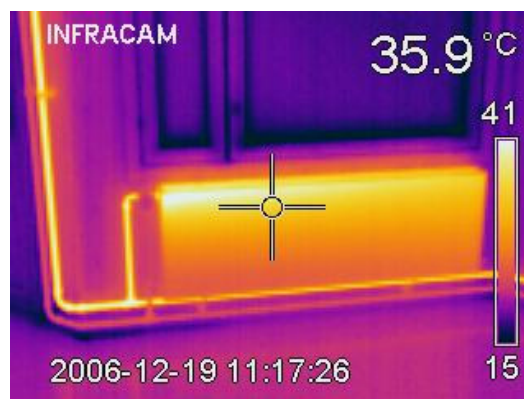
Radiaattoreiden eli lämmityspattereiden toiminta on helppo tarkastaa lämpökameralla. Radiaattorin sisälle joutunut ilma tai kaasu, joka estää säiliön täyttymisen vedellä tasaisesti, tulee poistaa ilmaamalla säiliö määräajoin.

Lämpökuvasta erottaa selvästi ilman osuuden säiliötilan sisällä viileämpänä eli tummempana alueena verrattuna lämpimään vesiosuuteen (kuva 31).



Kuva 31. Ilmaa sisältäviä radiaattoreita

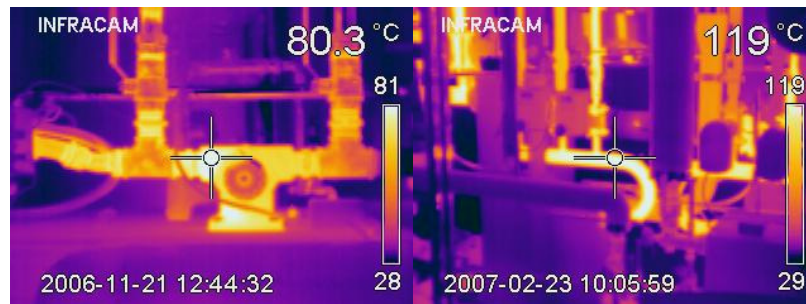
Radiaattorin tulo- ja menoveden lämpötilaa voidaan vertailla, kun tulo- ja menovesiputket ovat näkyvissä. Radiaattori on huoneen lämpöväviöihin nähden liian pieni, jos sen läpi kiertänyt vesi on menettänyt lämpötilaansa radiaattorista poistuessaan alle 20 °C:ta. Patterissa ei kierrä riittävästi vettä, jos poistuvan veden lämpötila on oleellisesti yli 20 °C:ta alaisempi kuin tulo-vesi ja lähellä huonelämpötilaa. Veden kiertoa patteriverkostossa voi estää sakan tai liittimien aiheuttamat tukkeumat, verkostoon kertynyt ilma tai termostaattiviivat (kuva 32). [18, s.31.]



Kuva 32. Oikein toimivassa patterissa tulo- ja menovesi erottuvat

9.7.3 Lämmönjakolaitteiston lämpökuvaus

Lämmönjakolaitteiston mahdollisia tukkeutumia voidaan paikantaa lämpökuvauksella ja varmistaa lämpömittareiden luotettavuus (kuva 33).



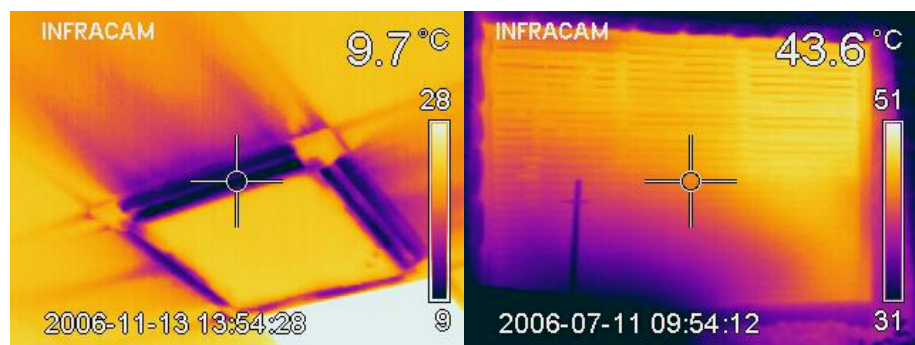
Kuva 33. Lämmönjakolaitteiden putkistojen pintalämpötiloja

9.7.4 Ilmanvaihtojärjestelmien lämpökuvaus

Ilmastointijärjestelmät tarkastetaan muilla mittausmenetelmillä kuten ilmamäärä- ja ilmavirtausmittareilla, mutta huonetilan lämpötiloja tutkittaessa on hyödyllistä tietää missä sijaitsevat tilan ilmastointikanavat ja kuinka ne vaikuttavat huoneen lämpötiloihin. Lämpökameran avulla ilmastoinnin toimintaa voi tarkastella helposti esimerkiksi huolto- ja ylläpitötöiden yhteydessä.

Lämpökameralla voidaan saada selville muun muassa:

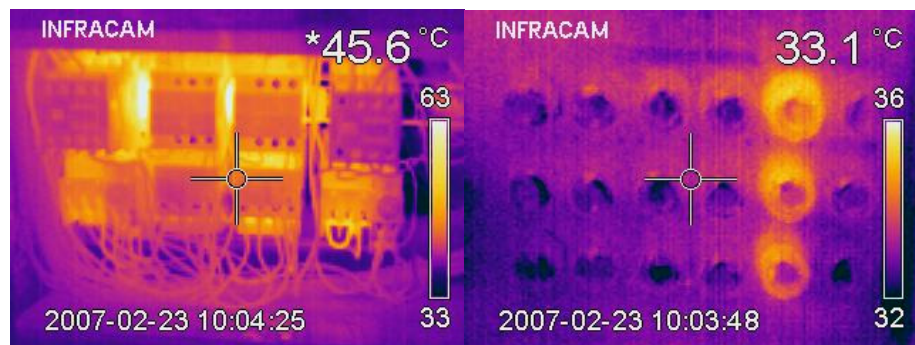
- tuloilman ja poistoilman sijainti
- tuloilman lämpötila, esilämmityksen sekä LTO:n toiminta
- kylmän ilman liikeratoja pinnoilla
- ilmanvaihtokanavien mahdolliset vuodot (kuva 34). [2, s.38.]



Kuva 34. Jäähdytinjaite ja lauhduttimen ulkoilmasäleikkö

9.7.5 Sähköasennuksien lämpökuvaus

Sähköasennuksien lämpökuvaamiseen liittyy sähkölaitteen toiminnan selvittäminen ja sähkölaitteen liitoksen tiiveys vaipparakenteeseen. Sähkölaitteiden kuormitusta voidaan vertailla lämpötilojen perusteella ja paikantaa mahdollisia irronneita liitoksia ja ylikuumentuneita komponentteja. Sähkölaitteiden lämpötiloille ei ole ohjearvoja, mutta tuloksia saa vertailemalla vastaavien laitteiden lämpötiloja ja tarvittaessa ottamalla yhteyttä laitevalmistajaan (kuva 35). Tyypillisiä sähköasennuksien aiheuttamia lämpövuotoja vaipassa ovat sähkörasioiden rikkomat ilmansulkumateriaalit seinärakenteissa tai puutteellinen eristekerros sähkörasioiden takana.



Kuva 35. Sähkäreleitä ja sulakekaappi

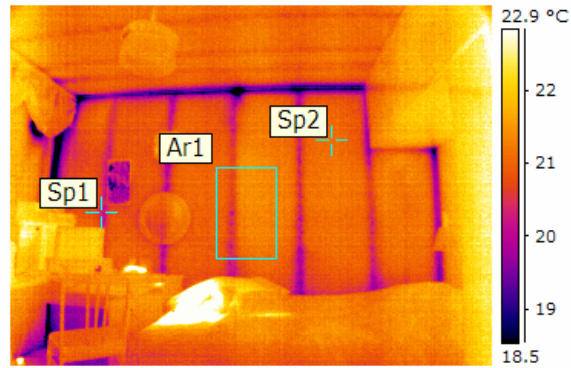
9.8 Sisävalmistusvaiheen työt

9.8.1 Pintamateriaalien asennuslämpötilojen ja kiinnityspaikan varmistaminen

Sisävalmistusvaiheessa usean pintamateriaalin asennuksessa tulee asennusalustalla olla riittävä lämpötila, jotta esimerkiksi tasoite, vesieriste tai maali sitoutuu tai kiinnittyy alustaan. Vaaditut pintalämpötilat on hyvä tarkastaa lämpökameran avulla, koska huoneilman lämpötila voi olla rakennusaikana todella erilainen kuin huoneilman lämpötila.

Rakennusmateriaalien erilaisten ominaislämpökapasiteettien vuoksi lämpökameralla on mahdollista erottaa maali- tai tasoitepinnan alla oleva rakenne tai kiinnike kuten seinän runkorangat ja ruuvit.

Rakenteeseen tulee kohdistaa ulkopuolista lämpösäteilyä, jos tutkittava rakenteen lämpötila on hyvin tasainen kuten sisätilojen väliseinissä. Lämpökameran asetuksissa tulee säätää lämpötila-asteikko mahdollisimman kapeaksi, jolloin pienetkin lämpötilaerot on helpompi havaita (kuva 36).



Kuva 36. Puurunkoisen seinän rangat erottuvat selvästi

10 VIIMEISTELYN JA KÄYTÖNAIKAINEN LÄMPÖKUVAUS

10.1 Rakennushankkeen viimeistelyvaihe

Työmaan lopussa on erikseen suunniteltu työvaihe, jota kutsutaan työmaan viimeistelyvaiheeksi. Viimeistelyn aikana tehdään paljon erilaisia tarkastuksia, kokeita, teknisiä mittauksia ja testejä sekä katselmuksia ja korjauksia, joiden avulla rakennus säädetään käyttövalmiuteen ja hyväksytään sopimusten mukaiseksi. Viranomaistarkastusten jälkeen rakennus voidaan todeta teknisesti hyväksytyksi ja viimeistelyvaihe päättyy rakennuksen käyttöönottoon.

10.1.1 Viimeistelyvaiheen lämpökuvaus

Yksi viimeistelyvaiheen aikana tehtävistä kokeista on rakennuksen lämpökuvaus, jolloin voidaan todeta luovutettavan kohteen vaipan toteutunut lämpötekninen taso. Vuonna 2006 aloitettiin NCC Rakennus Oy:n oman asuntotuotannon järjestelmällinen viimeistelyvaiheen lämpökuvaus, jonka tuloksien avulla tullaan arvioimaan lämpökuvauksen tarpeellisuutta myös rakentamisen aikana. Toimitilapuolella lämpökuvausta on käytetty viimeistelyvaiheissa satunnaisesti ja kokeilumielessä, mutta tulevaisuudessa menetelmää käytetään varmasti myös viimeistelyvaiheessa, jos se havaitaan työnaikaisten tutkimuksien lisäksi tarpeelliseksi.

Viimeistelyvaiheen lämpökuvaus suoritetaan kuten valmiin rakenteen lämpökuvaus, joten kuvausolosuhteet, mittausmenetelmät ja mittalaitteet sekä raportointitapa tulee olla yleisten ohjeiden mukaisia. Lämpimällä ajanjaksolla valmistuva kohde voidaan lämpökuvata talvella ensimmäisen takuuajan vuositarkastuksen yhteydessä.

10.2 Takuuaikainen lämpökuvaus

Tilan käyttäjä saattaa tuntea vetoa tai suuria lämpötilaeroja, jos rakennuksen lämmöneristystyössä tai muussa vaipan tiiveyteen vaikuttavassa työlajissa on tehty asennusvirheitä.

Käyttäjällä on tällöin oikeus ilmoittaa asiasta tapauskohtaisesti rakennuttaja yhtiölle tai rakennusurakoitsijalle ja vaatia selvityksiä ja virheiden korjauksia. Vuositakuukorjauksilla tarkoitetaan takuuvuoden lopulla tehtäviä työ- ja tarvikesuorituksia, jotka urakoitsija tekee käyttäjien tai asukkaiden tekemien kirjallisten ilmoitusten perusteella. Takuuajaisen lämpökuvauksen tilaaminen on yleistynyt rakenteiden kuntoa epäilevien kiinteistöjen omistajien keskuudessa. Lämpökuvauksen voi usein olla helpoin ja nopein tapa paikantaa rakennuksessa piilevät ongelmat. [19] [28, s.42-49.]

10.2.1 Lämpövuotoihin liittyvät virheet NCC:n takuukorjauksissa

NCC:n vuosikorjauksista koostetuista virhetiedoista ilmenee, että lämpövuotoihin liittyvät virheet eivät ole yleisimpien virheiden joukossa. Lämpövuotoja ei ole eritelty litterointimenettelyssä, mutta arviona lämpövuotoihin liittyviä virheitä on noin 2 - 5 %:a kaikista virheistä riippuen paljon kohteesta. Vuosittain päivitetyn sähköisen takuukorjausvirhetiedoston ja työmaahenkilökunnalle tehtyjen haastatteluiden mukaan vaipan tiiveyteen vaikuttavia työvirheitä sekä virheiden ehkäisemiseksi suoritettavia toimenpiteitä ovat:

- yläpohjan puhallusvillan liikkeet seinän läheisyydessä
 - tuulenohjauksen toteutukseen kiinnitettävä huomiota
- yksilehtisten parvekeovien lämpövuodot
 - kulmatiiivistystä ei tulisi tehdä yhdellä tiivisteellä kulmaa kiertäen
 - ristimitat eivät täsmää ja karmeja on kiristetty paikoin liian kireälle
 - tarkastetaan kynnyksien alta eristykset ja tiivistys. [14.]

Asuntotuotannon lämpövuotoja on viimeisen kymmenen vuoden aikana pyritty ennalta ehkäisemään luovutusta edeltävällä lämpökuvauksella. Lämpökuvauksen vaikutusta takuu aikaisten lämpötekniisten virheiden ilmenemiseen ei ole tutkittu ja sen tutkiminen on vaikeaa, koska lämpökuvaajan suosittelemille korjauskohteille tehtyjä korjaustoimenpiteitä ei ole dokumentoitu erikseen. Lämpökuvauksen avulla havaitun ja raportoidun lämpöpoikkeaman jatkotutkimukset ja korjaukset jäävät työmaajohdon päätettäväksi. [14.]

11 KORJAUSKOHTEIDEN LÄMPÖKUVAUS

11.1 Lämpökuvaus korjausrakentamisessa nykyään

Korjausrakentamisessa lämpökuvauksen käyttökohteet ovat osittain samoja kuin uudisrakentamisessakin, mutta korjaus- ja saneerauskohteissa voidaan lisäksi paikantaa monenlaisia rakennevaurioita ja tutkia vanhoja rakenteita. Rakennevauriot johtuvat ikääntymisestä, virheellisestä suunnittelusta, työn toteutuksesta tai rakennuksen käytöstä tai viallisista sekä sopimattomista materiaaleista. Yleisimpiä lämpötekniisiä vaurioita ovat sellaiset joista on ulkoisesti havaittavia jälkiä pintarakenteissa ja vetona sekä kylminä pintoina aistitut lämpötilamuutokset.

NCC Rakennus Oy:n korjausrakennusosastolla lämpökuvausta on käytetty pääasiassa vain asumiskäytössä olevissa korjauskohteissa. Vanhojen toimittilojen ja julkisten rakennusten korjauksissa ei lämpökuvaukselle ole ollut tarvetta ja mahdolliset lämpövuodot eivät ole haitanneet tilojen käyttäjiä. Vanhan rakenteen lämpötekniinen korjaus on usein vaikeaa, kallista, ulkoasua muuttava ja jopa haitallinen rakenteiden lämpötekniiselle toimivuudelle rakenteessa, joka on suunniteltu vastaamaan vanhoja lämmöneristävyysnormeja. [14.]

NCC:n asuntokorjauskohteissa lämpökuvauksia on suoritettu ikkunoiden, parvekkeiden takaseinien vaihdon ja julkisivukuorielementtien vaihdon ja lisälämmöneristysten yhteydessä. Uusien ikkunoiden asennustapa on haluttu varmistaa sekä estää asennusvirheiden toistuminen. Ikkunatasennuksessa havaitut virheet liittyivät lähinnä ikkunalehtien virheelliseen asemointiin, jotka aiheuttivat tiivistevuotoja ja käytävikoja. [14.]

Korjauskohteiden lämpökuvauksessa on erittäin tärkeää, että lämpökuvaaja tuntee vanhat rakenteet, materiaalit, käytetyt lämmitysjärjestelmät ja kiinteistön korjaus- ja huoltohistoriaa. Usein korjauskohteet ovat kuitenkin niin vanhoja, että suunnitelmat ovat tuhoutuneet tai kunnollisia suunnitelmia ei löydy. Lämpökuvaaja tarvitsee kunnolliset taustatiedot tai erityistä vanhojen rakenteiden tuntemusta, jotta virheellisiä johtopäätöksiä ei syntyisi.

11.2 Lämpökuvauskohteita korjausrakentamisessa

11.2.1 Homevaurioiden kartoittaminen lämpökuvauksella

Tummat pistemäiset jäljet pintarakenteessa viittaavat yleensä homeeseen, joka tarvitsee syntyäkseen kosteutta, ruokaa, lämpöä ja aikaa. Homevauriot ovat yleisiä rakennevaurioita ja niiden korjaaminen on usein välttämätöntä homeen aiheuttamien terveyshaittojen vuoksi. Homeen syntymiseen tarvittavaa kosteutta ja homeen vaurioittamia (lahoja) rakenteita voidaan jäljittää lämpökuvauksen avulla, jos rakenteessa on hometta synnyttävien tekijöiden ja vaurioiden aiheuttamia pintalämpötilaeroja.

Rakenteisiin pääsee kosteutta esimerkiksi, jos rakenteesta puuttuu höyrynsulku tai rakenteeseen pääsee sisäilmaa väärin ilmanpaineolosuhteiden, lämpötilojen, pintamateriaalien tai rakennetta rasittavan käytön vuoksi. Rakennekosteus imee ympäriltään lämpöä ja viilentää kosteaa rakennetta muuhun ympäristöön nähden. Kosteuden aiheuttamat pintalämpötilaerot ovat havaittavissa lämpökuvauksella.

11.2.2 Kuumen pisteen paikallistaminen kytemistilanteessa

Rakennuskohteessa voidaan havaita palavan materiaalin hajua eikä onnistu paikallistamaan esimerkiksi hitsaustyön liekkien aiheuttamaa kytevää tulipaloa seinärakenteen eristeissä. Tulityön aiheuttama paloturvallisuusriski kuten kytevä kuumapiste voidaan paikallistaa lämpökameran avulla. Kuitenkin laajemman palovaaran vuoksi voi tapauskohtaisesti olla parasta antaa palokunnan suorittaa palokartoitus ja sammutustyöt.

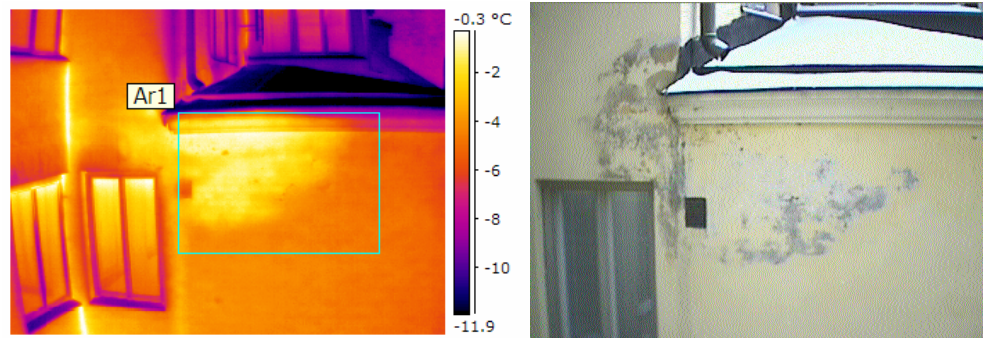
11.2.3 Sisälämpötilaolosuhteiden muutoksen tutkinta

Muuttuneet lämpötilaolosuhteet rakennuksessa vaikuttavat asumis- ja oleskeluviihtyvyyteen ja ovat helposti havaittavissa. Lämpötilaolosuhteet voivat johtua lämmitysjärjestelmän viasta tai rakennuksen vaipan eristeiden vioittumisesta. Vanhan rakennuksen lämpökuvaus suoritetaan kuten uudisrakennuksissa, mutta erityisesti ilmastoinnin toiminta tulee varmistaa. Tukettuneiden ja huoltamattomien ilmastointisäleikköjen seurauksena korvausilma saattaa tunkea sisään rakenteiden liitoksista.

11.2.4 Julkisivupintojen vaurioiden ja kosteusvaurioiden kartoitus

Rakenteeseen päässyt kosteus on yleensä vettä, jonka yksi ominaisuus on hyvä lämpökapasiteetti eli lämmönvaraamiskyky. Kosteutta omaavan rakennusosan suuremman lämpökapasiteetin vuoksi on mahdollista paikantaa kosteus suuntaamalla lämpösäteilyä kohteeseen ja antaa sitten rakenteen jäähtyä suorittaen samalla lämpökuvauus. Lämmönlähde voi olla lämmityslaitte tai luonnon tarjoama auringon lämpösäteily.

Ulkopuolisena säteilijänä toimii hyvin aurinko ja kosteutena sade tai ruiskutettu vesi. Julkisivujen kunnan tutkimuksessa on hyvä valita siis aika, jolloin voi kuvata auringon lämmittämää pintaa aamulla tai auringon lämmittämää jäähtyvää pintaa illalla. Sopivia lämpötilaeroja yön ja päivän välille syntyy aurinkoisina kevät- ja syyspäivinä. Jäähtyvästä rakenteesta otetussa lämpökuvassa vaurioitunut osa julkisivusta erottuu lämpökuvassa, koska se jäähtyy eri nopeudella kuin kunnossa oleva rakenne (kuva 37). [21, s.44 – 47.]

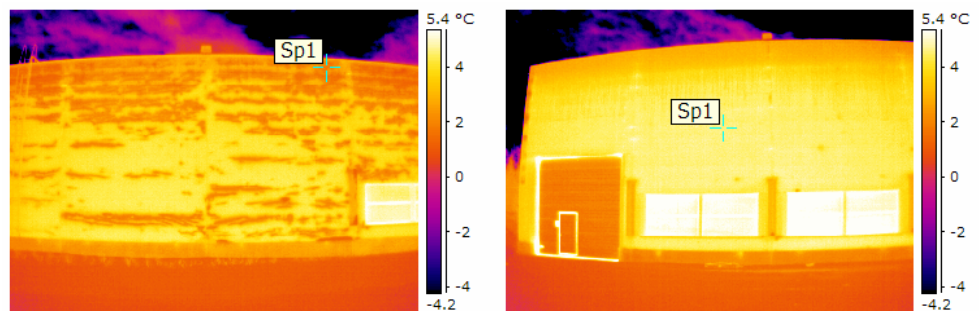


Kuva 37. Kosteuden aiheuttama pintavaurio (7,0 °C:n lämpötilaero)[11]

Esimerkiksi vesikatteiden kosteusvaurioita voidaan paikantaa, kun auringon lämmittämä katto jäähtyy illalla, jolloin eristekerroksien välissä ja mahdollisissa lämmöneristekerroksissa lämmennyt vesi erottuu lämpöä varaavana, lämpimämpänä alueena ympäristöönsä nähden. Vesikattojen lämpökuvauksessa tulee kuitenkin muistaa aina ottaa huomioon vesikatteen alapuolella sijaitsevat talotekniset asennukset. [27.]

Rappauspintojen korjaustöissä voidaan lämpökuvan avulla arvioida kiinnityspinnasta irronneen tai lohjenneen, niin sanotun kopo-rappauksen laajuutta ja sijaintia. Rapatuista massiivirakenteista ja elementtijulkisivuista voidaan havaita kastuneita rakenteita ja lämpövuotoja. Rappausvaurioiden havaitsemiseen lämpökuvauksella tarvitaan oikeita kuvausolosuhteita. Rapatusta julkisivusta irronnut rappauspinta päästää taakseen sateella kosteutta, joka sateen jälkeisenä aikana haihtuu muuta aluetta hitaammin ja vaurioalueen lämpötilaero näkyy lämpimämpänä tai viileämpänä tapauksesta riippuen.

Pinnoitettu Siporex-harkkoseinä näyttää lämpökuvassa kirjavalta, koska ohutrappaus on halkeillut ja kosteus on päässyt rakenteeseen. Seinän terve osuus näyttää yhtä lämpimältä kuin ympäröivä ilma ja kostunut seinä taas näyttää viileämmältä (kuva 38).



Kuva 38. Siporex-harkkoseinän kosteusvaurio ja terve seinä [11]

11.2.5 Tuholaisteneläinten paikannus lämpökuvauksella

Hiiret ja oravat ynnä muut pieneläimet saattavat päästä pesiytymään rakenteiden sisään suojaamattomien tuuletusrakojen kautta. Eläimet saattavat kulkea eristeiden seassa pitkään ja vaurioittaa rakenteen eristeitä ja runkoa. Lämpökuvauksen avulla tuholaiset on mahdollista paikantaa ja selvittää vaurioiden laajuus. Pieneliöiden kuten hyönteistuholaisten kartoittaminen on myös mahdollista lämpökuvauksen avulla, mutta se on monimutkaisempaa ja tuholaiskartoittajan ammattitaitoa sekä lisä välineitä vaativaa työtä. [17.]

12 LÄMPÖKUVAUKSEN TYÖPANOKSET

12.1 Käytettävät resurssit ja aika

Lämpökuvaukseen tarvitaan yksi mies, mittauskalusto, auto ja työma-olosuhteissa tarvittaessa apumies, joka auttaa siirtämään kuvauskohteiden edessä olevia tarvikkeita ja laitteita sekä toimii kirjurina. Tutkimukseen kuluvaan aikaan vaikuttaa paljon kohteen valmiusaste, sillä työaikaisissa tutkimuksissa löytyy selvästi enemmän raporttia varten dokumentoitavia asioita ja työnaikaisten lämpökuvien analysointi vaatii enemmän selvityksiä ja vertailua kuin valmiin rakennuksen lämpökuvat.

Tutkimuksen aikana tehtyjen työnaikaisten lämpökuvauksen perusteella voidaan arvioida pelkkään lämpökuvaukseen kuluvaa aikaa seuraavasti:

- kuusikerroksisen toimitilarakennuksen ikkunoiden tarkastus
 - noin neljä tuntia
- seitsemänkerroksisen toimitilarakennuksen koko ulkoseinien lämpötiiveyden tarkastus
 - noin kolme työpäivää
- 14:stä käytössä olevan kerrostaloasunnon ikkunoiden tiiveyden tarkastus
 - noin viisi tuntia

Isoihin kohteisiin kuten monikerroksisiin toimitilarakennuksiin tulee varata kuvausaikaa tutkimuksen laajuudesta riippuen noin 2–3 työpäivää ja pienemmät kohteet voidaan tutkia yhdellä kuvauskerralla. Raportointiin kuluu muutamasta tunnista yhteen työpäivään, kunhan lämpökuvaus on suoritettu selkein merkinnöin eikä kuvien analysointi kaipaakaan lisäselvityksiä.

13 TUTKIMUKSEN TULOKSET

13.1 Suoritetut työnaikaiset lämpökuvaukset ja haastattelut

13.1.1 Lämpökuvaukset

Tämän tutkimuksen yksi merkittävimmistä tutkimusmenetelmistä oli lämpökuvauksen suorittaminen, josta saatiin materiaalia ja tietoa konkreettisten tulosten luontiin. Tutkittuja työlajeja olivat pääasiassa ikkuna-asennukset, elementtiasennukset, lämmöneristystyöt ja talotekniikka-asennukset kuten lämmityslaitteet. Lisäksi tutkittiin lämpökuvauksen soveltamista työmaatekniikan apuvälineenä muun muassa erilaisten lämmitys- ja kuivausjärjestelmien toiminnan varmistamisessa ja betonitöissä. Kattavin tutkimus tehtiin kuusikerroksiselle toimitilarakennukselle, jossa oli kattavasti eri rakenteita kuten metalli- ja puuikkunoita sekä suuria lasiseiniä ja elementtirakenteita. Lämpökuvaukset tehtiin seuraavan tyyppisiin kohteisiin:

- seitsemään NCC:n toteuttamaan toimitilarakennukseen (1 – 6 kerrosta)
 - kolme rakennusvaiheessa olevaa kohdetta
 - yksi kohde, jossa tutkittiin lämpökuvauksen mahdollisuuksia betoni-valujen laadunvalvonnassa
 - kolme valmista kohdetta, jotka olivat käytössä
- yhteen asuntokohteeseen (3 asuntoa)
 - rivitalokohde, joka oli viimeistelyvaiheessa
- yhteen asuntokorjauskohteeseen (14 asuntoa)
 - ikkuna-asennuksien tarkastus käytössä olevissa asunnoissa
- yhteen omakotitaloon. (3 kerrosta)
 - yleinen lämpövuotojen kartoitus

Yhteensä lämpökuvauksista kertyi tallennettuja havaintoja noin 350 kappaletta, joista suurin osa hyödynnettiin heti tutkimuksen aikana tuotannonlaadunvarmistuksessa ja osaa käytettiin tutkimuksen kuvamateriaalina. Työnai- kaisia lämpökuvauksraportteja tehtiin neljä kappaletta, joiden avulla työnai- kaista lämpökuvauks toimintaa suunniteltiin ja samalla saatiin dokumentoitua ja jaettua erittäin hyödyllisiä tuloksia työmaiden laadunvarmistamiseksi.

13.1.2 NCC Rakennus Oy:n henkilöstön haastattelut

Haastatteluiden avulla kartoitettiin NCC:n kokemuksia ja tietoja lämpökuvauksesta, selvitettiin havaittuja lämpötekniisiä ongelmia ja tutkittiin asennoitumista uuden laadunvarmistustyökalun käyttöönottoa kohtaan. Haastateltavat henkilöt olivat työmiehiä, työnjohtajia, vastaavia mestareita, työmaainsinöörejä, työpäälliköitä ja ylempiä toimihenkilöitä. Haastattelut suoritettiin pääasiassa keskustellen työmaalla lämpökuvauksen yhteydessä.

Kokemukset lämpökuvauksesta osoittautuivat hyvin vähäisiksi ja perusteiden kouluttaminen todettiin tarpeelliseksi, jotta rakentamiskokemus ja lämpökuvauksen havainnolliset tulokset voidaan yhdistää toimivaksi laadunvarmistusmenetelmäksi. Haastatteluissa tuli toistuvasti esille käyttöarvoltaan merkittävä idea sallittujen pintalämpötilojen raja-arvojen yhdistämisestä ja lämpökuvauksen liittämistä esimerkiksi ikkuna-asennusten aliorakoihin sopimusteknisesti. Vastaaville mestareille tehdystä kyselystä tuli hyvin esille tiedostetut riskirakenteet ja detaljit, joihin tulee kiinnittää erityishuomiota. Työmaahenkilöstö osoitti positiivisesti mielenkiintoaan menetelmää kohtaan ja toivoi uuden menetelmän käyttöönottoa erityisesti aliorakoiden valvonnassa ja ohjauksessa hyödynnettävien tulosten ansiosta.

13.2 Lämpökuvaustoimintamalli

Lämpökuvaus osoittautui tutkimuksen aikana monipuoliseksi laadunvarmistusmenetelmäksi vaikutuksillaan, jotka koskettavat lähes kaikkia rakennushankkeen päävaiheita. Lämpökuvauksen asema rakentamistoiminnassa kuvattiin kaavioon (liite 1), josta selviää lämpökuvauksen merkitys eri vaiheissa, tutkimustulosten tiedonkulku ja suoritusajankohdan vaikutus korjauskustannuksiin. Toimintaan liittyvien osapuolten tehtävät, tarpeelliset aputyökalut ja laatujärjestelmään liitetyn lämpökuvauksen eteneminen vaiheittain havainnollistettiin yhteen kaavioon (liite 2), josta saa helposti yleiskäsityksen toiminnasta.

13.3 Avustavat työkalut

Rakennusten lämpökuvauksessa toistetaan lähes samat mittaustoimenpiteet jokaisella kerralla, siksi luotiin lämpökuvaajalle valmiiksi lomake- ja tukimateriaalia. Kehitetyt materiaalit pohjautuvat tutkimuksenaikaisiin lämpökuvaukokemuksiin ja kirjallisuudessa esiintyneisiin vastaaviin materiaaleihin. Lämpökuvaustoiminnan sujuvuuden kannalta tarvitaan muutama osittain valmiiksi täytetty lomake sekä käytettävien ohjelämpötilojen valmis taulukko lämpökuvauksen suunnittelun, tilauksen, suorittamisen ja analysoinnin helpottamiseksi.

13.3.1 Lämpökuvauksen suunnittelun muistilista ja tilauslomake

Lämpökuvauksen suunnittelun muistilistassa (liite 8) esitetään tutkimusmahdollisuudet, vaadittavat olosuhteet ja lämpökuvauksen ajoitukset. Lämpökuvauksen suunnittelun muistilistassa on lueteltu ne avaintyöajit, joiden laadunvarmistamisessa lämpökuvauksen on merkittävässä asemassa sekä aiheet joissa kannattaa käyttää hyväkseen lämpökuvauksen sovellusmahdollisuuksia.

Asiallisen tilauksen avulla lämpökuvaaja pystyy valmistautumaan tutkimukseen paremmin etukäteen, mikä nopeuttaa työmaalla työskentelyä. Lämpökuvauksen tilauslomake (liite 4) palvelee lämpökuvaajaa esittämällä kohteen laajuuden, valmiusasteen/aikataulun, lämmitys- ja ilmastointijärjestelmän, toteutusorganisaation ja muut kohteen erityispiirteet. Tilauksessa ilmoitetun kohteen laajuuden ja tutkittavien rakennusosien tiedoilla lämpökuvaaja pystyy aikatauluttamaan työnsä.

Valmiusasteen ja työmaatilanneilmoituksen avulla voidaan tehdä tarvittavia toimenpiteitä lämpökuvaajan pyynnöstä ennen tutkimusta. Organisaatitietojen avulla lämpökuvaaja voi hyödyntää aikaisemmin tutkittujen kohteiden tuloksia. Työnjohtajan tai vastaavan mestarin tulee täyttää tilauslomakkeeseen kohteen perustiedot ja halutut tutkimuskohteet, organisaatio ja aikataulutusvoima sekä nostolaitevalmius rakennuksen ulkopuolisia tutkimuksia varten.

13.3.2 Mittauspöytäkirja

Kuvaustilanteessa lämpökuvaaja tarvitsee sujuvan tavan suorittaa mittausmuistiinpanot. Lämpökuvaaja täyttää mittauspöytäkirjan (liite 5) osittain valmiiksi ennen kuvauksen suorittamista tehdyn tilauksen sisällön pohjalta. Mittauspöytäkirjapohjaan lämpökuvaajan on helppo ja nopea merkitä oheismittaus tulokset ja olosuhteet kuten ulko-, sisälämpötilat, suhteellinen ilmankosteus, ilmanpaine-erot eri kerroksissa ja ilmansuunnissa sekä tuulen tai auringon vaikutus mittaukseen.

Jokaista tutkittavaa rakennusosaa kuten ikkuna-asennusta ja seinäelementtejä kohden tulee täyttää oma mittauspöytäkirjansa. Mittauspöytäkirjan kopiota voi tällöin laittaa liitteeksi kyseessä olevan työlahin suorittaneelle urakoitsijalle. Raportoitavat havainnot lämpökuvaaja merkitsee pohja- tai julkisivukuviin omalle paikalleen ja laskee havainnot jokaista ilmansuuntaa kohden jokaisen mitatut kerroksen päätteeksi. Laskettujen havaintojen lukumäärän lämpökuvaaja merkitsee sille varatulle paikalle mittauspöytäkirjaan.

13.3.3 Ohjearvotaulukot

Lämpökuvauksessa käytettävä minimilämpötila tutkittavalle pinnalle tulisi määrittää laskemalla lämpötilaindeksiin laskukaavan avulla. Lämpökuvauksen aikana varsinkin työmaaolosuhteissa sisäilmanlämpötila voi muuttua olennaisesti ja uusi raja-arvo täytyy määrittää nopeasti. Nopeaan pintalämpötilan raja-arvon määrittämiseen voidaan käyttää valmiiksi laskettuja lämpötilaindeksiin perustuvia lämpötilataulukoita (liite 6) [29.].

Liitteen 6 taulukot ovat tehty normaaliin sisälämpötilaan ja muutamaan alhaisempaan sisälämpötilatapaukseen. Lämpökuvaaja pitää taulukoita työmaalla mukana mittauspöytäkirjojen yhteydessä.

Tutkittavan tilan sisäilman kastepisteen määrittämiseksi voidaan käyttää elektronisia mittalaitteita tai ilmankosteusmittaria sekä kostean ilman Mollier-käyrästä. Mollier-käyrästä avulla voidaan määrittää sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla lämpötila, jossa ilmankosteus saavuttaa 100 %:a eli kondensoituu. Kastepiste toimii hyvänä raja-arvona varsinkin silloin, kun tutkitaan tiloja joissa lämpötilaindeksiä ei voida soveltaa.

13.4 Avaintyölajikohtaiset lämpökuvausohjekortit

Avaintyölajikohtaiset lämpökuvauksen ohjekortit (liite 3) on suunniteltu NCC:n rakennusaikaisen lämpökuvauksen suorittavan tahon apuvälineeksi ja työsuoritusohjeeksi. Jokainen ohjekortti sisältää lämpökuvauksen ajoitus-suosituksen, esimerkkilämpökuvan tutkittavasta työlajista, vaaditut erityisvalmistelut, kuvauksen aikana huomioitavat asiat ja tuloksien analysointiin ja raportointiin liittyvät asiat. Työlajikohtaisten lämpökuvausohjekorttien laatiminen osoittautui vaativaksi tehtäväksi, koska työnaikainen lämpökuvausmenettely riippuu paljon vaihtelevista työmaaolosuhteista. Ohjekortit pyrittiin tiivistämään A4-kokoon, siksi vain tärkeimmät huomiot voitiin esittää. Ohjekortit luotiin seuraavista työlajeista, rakenteista ja järjestelmistä:

1. elementtiasennukset
2. lämmöneristystyöt
3. ikkuna-asennukset
4. yleinen julkisivujen tutkinta
5. kosteusvauriot ja julkisivupintojen vauriot
6. lämpöpatterit
7. lattialämmitykset
8. sähköasennukset ja työmaasähköistys.

Ohjekortteja ei ehditty testata ja käyttää tutkimuksen aikana, siksi ohjekortteja tullaan kehittämään toimintamallin käyttöönoton jälkeen.

13.5 Lämpökuvaustietopaketti

Lämpökuvauksesta tiivistettyä tietopakettia voidaan hyödyntää henkilöstön koulutukseen ja menetelmän esittelyyn eri osapuolille, joiden työpanos vaikuttaa rakennushankkeen laatuun. Tietopaketti luodaan lämpökuvausmenettelmän käyttöönoton aikana ja lähteinä käytetään tutkimustuloksista saatuja palautteita, Level 1 lämpökuvaajakoulutus materiaalia sekä tätä tutkimustyötä. Tietopaketin sisältöä suunniteltiin alustavasti, lämpökuvaustietopaketti tulee sisältämään havainnollista tietoa muun muassa seuraavista aiheista:

- lämpösäteilystä
- pintojen emissiviteetistä
- lämpökameroista ja niiden käytöstä

- menetelmän liittymisestä laadunvarmistukseen
- suoritettavista oheismittauksista
- vaadituista kuvausolosuhteista työmailla
- pintalämpötilojen raja-arvoista indeksilaskennan ja kastepisteiden perusteella
- lämpökuvausraporttien tulkinnasta.

Tietopakettiin voidaan lisäksi liittää audiovisuaalista materiaalia kuten opastavia video-otteita toiminnasta. Tietopaketista tulee tehdä eri versiot kullekin kohderyhmälle kuten aliurakoitsijoille ja omalle työnjohdolle. Aliurakoitsijoille on tärkeintä esittää menetelmällä tehtyjä havaintoja ja laadunvarmistusmenetelmän tehokkuutta. Työnjohdolle on tärkeää koko toiminnan perusteiden ymmärtäminen.

13.6 Lämpökuvaustietokanta

Toimintajärjestelmään liittäminen tarkoittaa lämpökuvaustietokannan luomista toimintajärjestelmään ja lämpökuvauksen liittämistä mahdollisesti osioihin kuten laadunvarmistamiseen. Tietokannan rakenne ja sisältö tulee suunnitella loppuun ja ohjelmoida käytettäväksi. Tietokannan avulla kaikki lämpökuvausmateriaali olisi kaikkien NCC:n toimintajärjestelmäkäyttäjien hyödynnettävänä tietoverkossa. Tietokanta sisältäisi muun muassa havaitut riskit, tehdyt muutokset suunnitelmiin, suoritettavat korjaustoimenpiteet sekä lämpökuvausraportit ja tukimateriaalia (liite 9).

13.7 Jatkokehitystarpeet

Tutkimuksen aikana tuli esille muutamia toimintaa kehittäviä asioita, joiden selvittäminen vaatii lisätutkimustyötä. Jatkotutkimuksena tälle insinööriyölle olisi hyödyllistä selvittää:

- mahdollisuudet varmistaa rakennuksen/tilojen vaipan ilmatiiveys ja lämpökuvattavuus rakennusaikana erillistä alipainepuhallusta käyttäen
- tutkia lämpökameran käyttömahdollisuuksia lämpimänä vuodenaikana
- selvittää mahdollisuus liittää lämpökuvauksella osoitettavat rakenteiden pintalämpötilat aliurakkasopimukseen laatuvaatimuksina.

14 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda NCC Rakennus Oy:lle uusi lämpökuvaus-toimintamalli, joka mahdollistaa rakentamisen ja rakennusten työvaiheiden laadunvarmistamisen entistä tehokkaammin. Konkreettisenä tulostavoitteena oli luoda apumateriaalia lämpökuvausten suorittamiseen ja ohjeita avaintyö-lajien lämpökuvaukseen, koulutusmateriaalia lämpökuvauksen perusteista työmaahenkilöstöä varten sekä luoda kuvaus lämpökuvaustoiminnasta sekä sen yhdistämisestä NCC:n laatujärjestelmään.

Tutkimustuloksina syntyneitä kirjallista ohjemateriaalia ja lomakepohjia ei ehditty testata vielä tutkimusaikana kunnolla, mutta varsinaisena mittausmenetelmänä työmaalla lämpökuvausta ehdittiin testata melko monipuolisesti. Tehtyjen lämpökuvausten perusteella voidaan todeta lämpökuvauksen soveltuvan rakennusten lämmöneristävyyden, ilmatiiveyden sekä talotekniikka-järjestelmien tutkimiseen mainiosti. Menetelmä osoitti havainnollisten tulok-sien ja uusien havaintojen myötä todellista hyötyarvoa, mitä muilla menetel-millä ei voida saavuttaa. Työmaille tehtyihin työnaikaisiin lämpökuvauksiin oltiin tyytyväisiä ja toimintamalli on saanut hyvää palautetta jo ensiaskeil-laan.

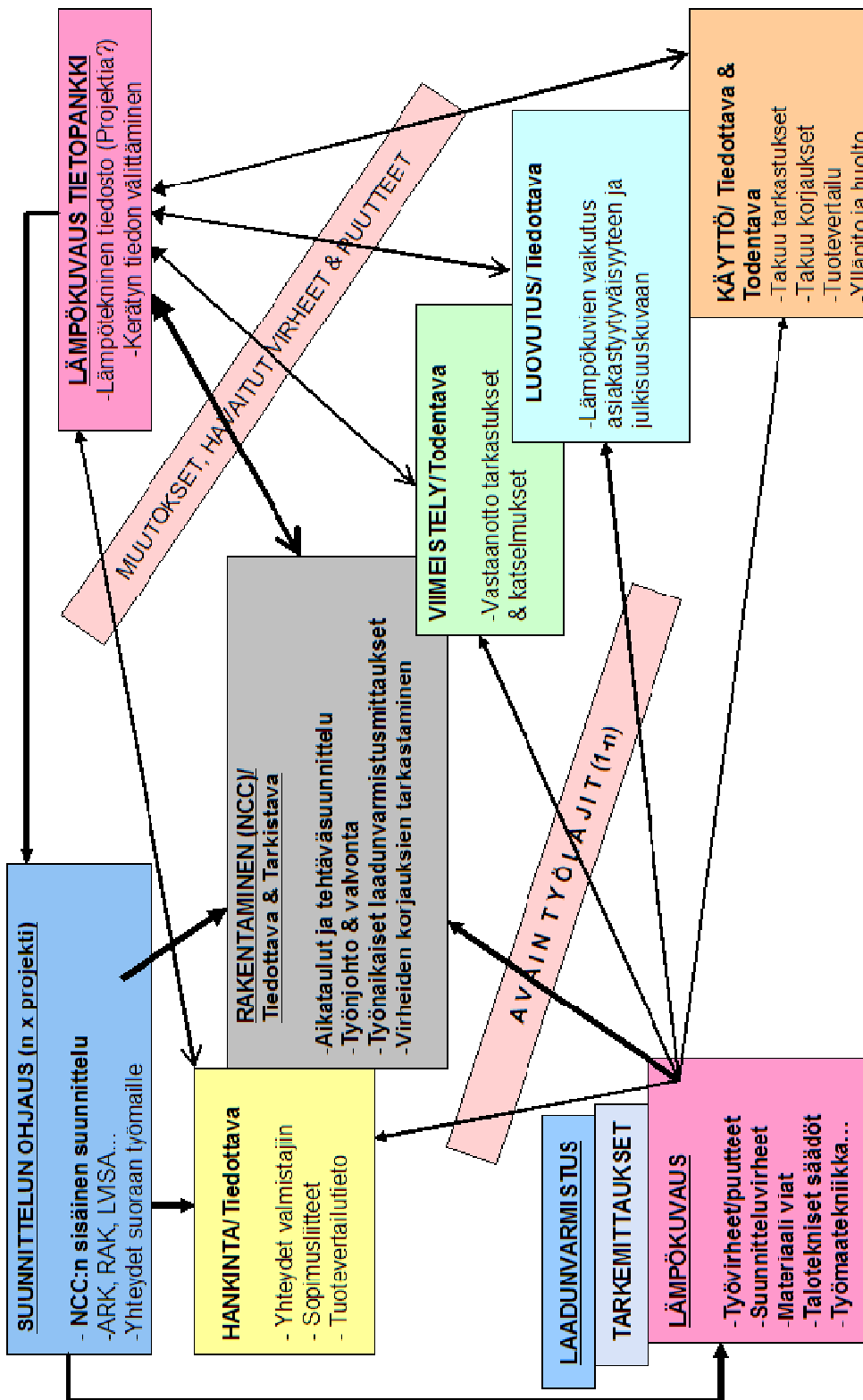
Toimintatavan onnistunut ja tehokas käyttöönotto vaatii saavutettujen tulok-sien hyödyntämisen lisäksi vielä toiminnan konkreettisen liittämisen NCC:n toimintajärjestelmään, tutkimustulosten eli ohjekorttien ja apulomakkeiden testausta ja mahdollista jatkokehitystä sekä työmaahenkilöstön yleiskoulu-tusta toiminnasta. NCC:n toimitilarakentamisen PD-Partnering -yksikkö ottaa toimintamallin ylpeänä käyttöön ja jatkokehitykseen edistäen laadukasta suunnittelunohjausta ja rakentamistaan.

VIITELUETTELO

- [1] Paloniitty Sauli. Rakennuksen lämpökuvaus. Julkaisu C:2/2004
- [2] Paloniitty Sauli & Kauppinen Timo. Rakennusten lämpökuvaus. 2006.
- [3] Pohjaranta Pasi. Lämpökamerakuvaus talonrakennuksessa. Insinööriyö TKU AMK. 1995
- [4] Ruuhilahti Kari. Rakennusten lämmöneristystöiden laadunvarmistus lämpökamerakuvauksella. Insinööriyö Satakunnan AMK. Rakennustekniikan koulutusohjelma. 2005.
- [5] Rakennuksen lämpökuvaus. Suunnitteluohje 1213-S Ratu, kesäkuu 2005.
- [6] Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön opas. 2003.
- [7] Seppänen Olli ja Matti. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä. 1996
- [8] Flir Systems. InfraCam. Käyttäjän opas. Revisio a79. Tammikuu 2005.
- [9] Ympäristöministeriö. Rakennusten energiatodistus. Helsinki. 1998.
- [10] Suomen rakentamismääräyskokoelma. C3 Rakennuksen lämmöneristys määräykset. 2003.
- [11] Järvenpää Tapani. Laboratorioinsinööri. Lämpökuvia. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia.
- [12] Suomen Rakennusteollisuusliitto r.y ja Rakentajain Kustannus Oy. Talvirakentaminen. 1989.
- [13] Paloniitty Sauli. Hämeen ammattikorkeakoulu. Luentomateriaali. 2006.
- [14] Haastattelut. NCC Rakennus Oy. 2006 ja 2007.
- [15] Ilmatieteenlaitoksen verkkosivu. <http://www.fmi.fi/abc/index.html?N=177#177>. Luettu 08.01.2007.

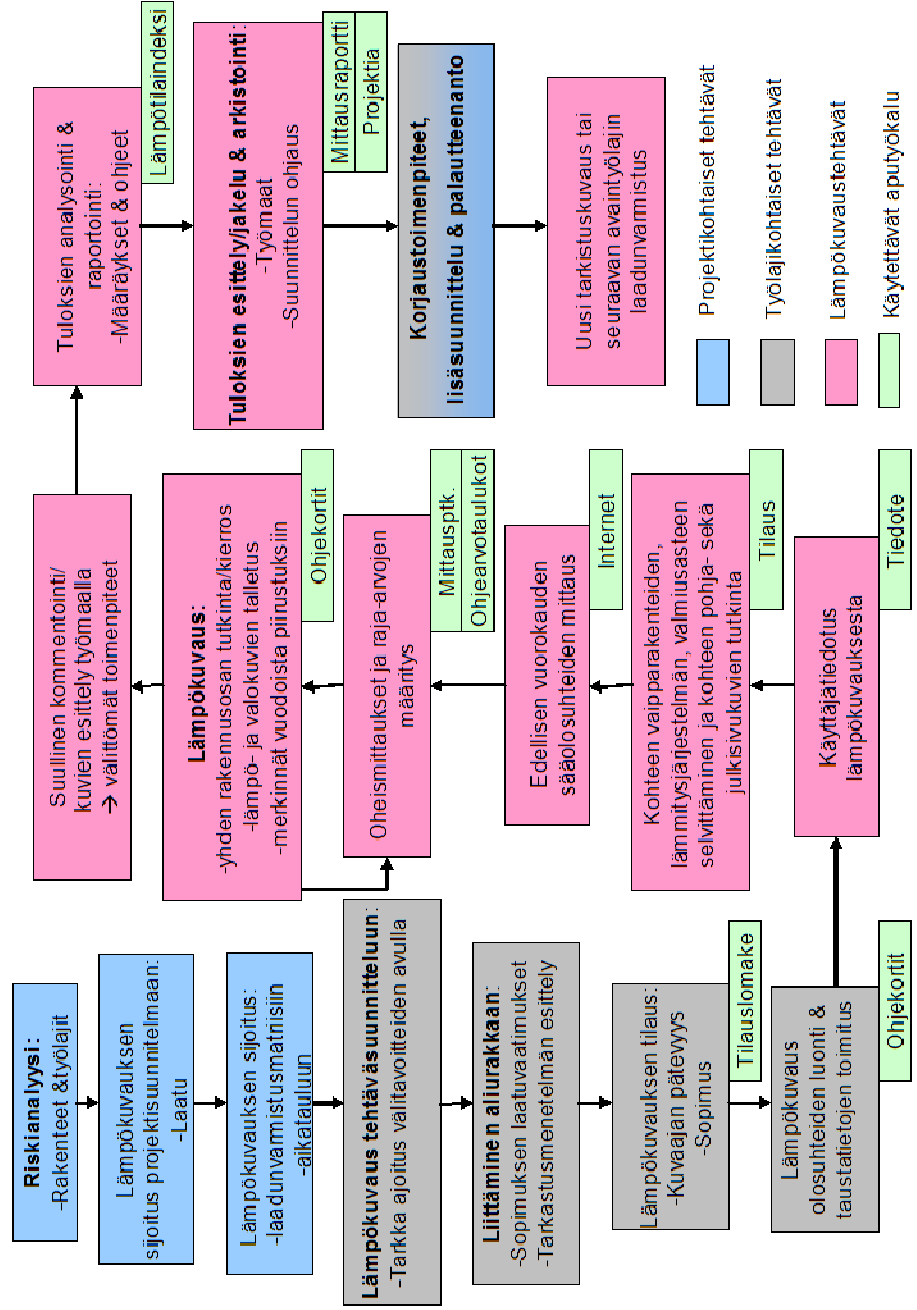
- [16]Projektia. NCC Rakennus Oy:n toimintajärjestelmä. Urakointi/Rakentaminen. 2006
- [17] Artikkelellä verkkosivulla. http://www.irinfo.org/Articles/article_5_1_2005_grossman.pdf.
Luettu 17.01.2007.
- [18] Asumisterveys opas. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Pori 2005.
- [19] Asuinrakennusten hoito ja takuukorjaukset. Rakentajain Kustannus Oy.
- [20] Siikanen Unto. Rakennusfysiikka, Perusteet & sovellukset. Rakennustieto Oy. 1996.
- [21] Kaasinen Harri ja Rautiainen Liisa. Julkisivujen kunnonarviointimenetelmät. VTT. Tiedotteita 1056. Espoo 1989.
- [22] Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. 2003.
- [23] Rakennus tieto. LVI 05-10144. Rakennusten sisäilmasto. Ohjetiedosto. 1989.
- [24] Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2007. Luonnos 19.12.2006.
- [25] Flir Systems. Lämpökamera esitemateriaali malleista InfraCam, B2, B4, P65 ja P640. 2005 ja 2006.
- [26] Rakennus tieto. LVI 05-10235. Sisäilmasuunnittelu. Ohjetiedosto. 1995.
- [27] Artikkelellä verkkosivulla. http://www.irinfo.org/Articles/article_12_2003_stockton.html.
Luettu 20.10.2006.
- [28] Kauppinen Timo. Lämpökuvaus auttaa sisäilmasto-ongelmien tutkimisessa. Ympäristö ja Terveys. 8/2005.
- [29] Aronranta Tommi. Pintalämpötilojen raja-arvotaulukot. NCC Rakennus Oy. Työmaapalvelut.

Lämpökuvaustoiminnan vaikutukset ja tiedon jakelu



Korjauskustannuksien suuruus / hankkeen valmiusaste

Lämpökuvauksen projekti- ja työlajikohtaiset tehtävät sekä aputyökälu



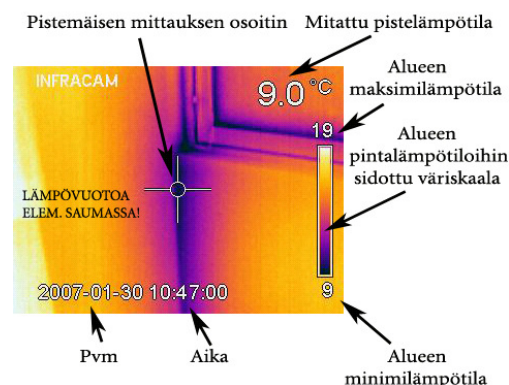


ELEMENTTI-ASENNUSTEN LÄMPÖKUVAUS

Ajoitus:

- Menetelmän esittely aloituspalaverissa
- Työnaikainen valvonta
- Ennen aliurakan vastaanottoa
- Ennen kittaustryön vastaanottoa

Esimerkkikuva:



1. Valmistelut & yleistä

- Tarkista elementtien liitosdetaljit kuvista ennen kuvauksen aloittamista
- Saumojen eristystyöt tulee olla valmiit tutkittavalta osalta
- Ikkunat yms. aukot vaipassa tulee olla kiinni kunnolla kuvauksen aikana → tarkistus kuvausta edellisestä päivästä
- Korvausilmaventtiilit tulee olla avattuina ja mahdollinen ilmastointi perus käyttötilassa

2. Kuvauksen aikana huomioitava

- Mittaa ilmanpaine-ero joka kerroksesta, jotta tuloksien saaminen sisäpuolelta on mahdollista. Tutki elementtirakenteet ylipainetilanteessa ulkopuolelta jos tarpeellista.
- Ota huomioon auringon lämmittävä vaikutus jo kuvausta tehdessä käyttämällä tiukempaa arvostelua pintalämpötiloissa.
 - käytä lämpötilaindeksiä vain viitteellisenä apuna kun elastinen kittaus on tekemättä
- Kuvaa elementtiliitosta aluksi kauempaa paikantaaksesi vuotokohtat ja mittaa tarkka lämpötila läheltä kuvaten.(InfraCam)
- Kokeile paljaalla kädellä onko havaittavissa selvää vetoa tai kondensoitunutta kosteutta.
- Ota valokuvia jos rakenteissa on toistuvasti samanlaisia vuotokohtia tai jos lämpökuvasta on vaikea paikantaa vuotokohta ilman valokuvaa.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

- Mahdollisia vuotojen syitä ovat mm. puutteelliset juotokset, saumaeristeet ja kittaukset.
- Ota tulosten analysoinnissa huomioon auringon lämmittävä vaikutus
- Käytä lämpötilaindeksin määrittämisessä pistemäisen lämpötilan ohjearvoa
- Esitä raportissa vuotokohtat niin tarkasti, että ne voidaan helposti paikantaa myöhemmin
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä

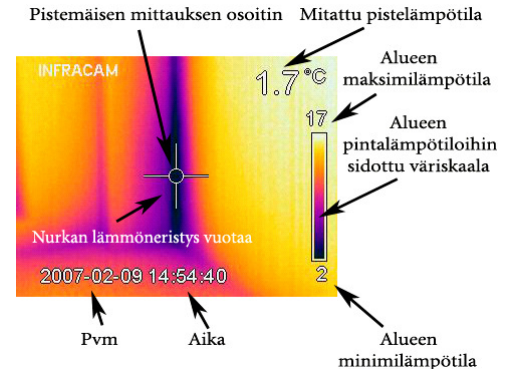


LÄMMÖNERISTYSTÖIDEN LÄMPÖKUVAUS

Ajoitus:

- Menetelmän esittely aloituspalaverissa
- Työnaikainen valvonta
- Perusteellinen kuvaus ennen:
 - o aliurakan vastaanottoa
 - o julkisivun pintamateriaalin asennusta
 - o sisäpintojen viimeistelyä ja elastisiasaumauksia

Esimerkkikuva:



1. Työmaan valmistelut

- Ikkunat yms. aukot vaipassa tulee olla kiinni kunnolla kuvauksen aikana → tarkistus kuvausta edellisena päivänä.
- Korvausilmaventtiilit tulee olla avattuina ja mahdollinen ilmastointi perus käyttötilassa.

2. Kuvauksen aikana huomioitavaa

- Tarkista ilmanpaineolosuhteet ja suorita lämpökuvauksen sen mukaiselta puolelta.
- Mahdollisia vuoto paikkoja ovat erityisesti:
 - o rakennusosien liitoskohdat kuten seinien kulmat ja ala- sekä yläpohjaliitokset
 - o IV-läpiviennit
 - o sähkörasia-asennukset
- Työnaikaisessa lämpökuvauksessa tulee ottaa huomioon rakenteelliset puutteet kuten ilmansulkuna toimivan elastisen saumauksen puuttuminen.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

- Lämpövuotojen aiheuttajia ovat mm.:
 - o kierot/vajaakanttiset runkotolpat
 - o pieni rako rungon ja eristeen välillä
 - o liian tiiviisti sullottu eriste
 - o rakoja tuulensuojassa
 - o puutteita höyrynsulussa
- Ota tulosten analysoinnissa huomioon auringon lämmittävä vaikutus
- Esitä raportissa vuotokohdat niin tarkasti, että ne voidaan helposti paikantaa myöhemmin
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä

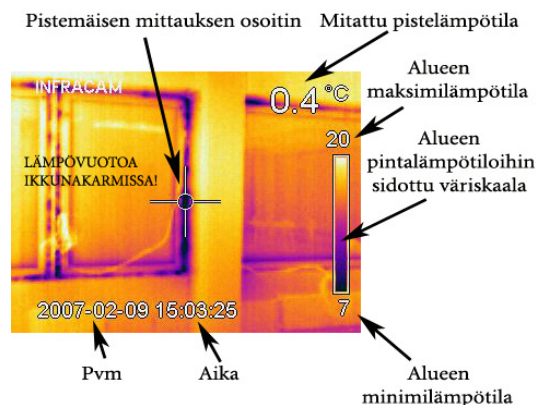


IKKUNA-ASENNUSTEN LÄMPÖKUVAUS

Ajoitus:

- Menetelmän esittely aloituspalaverissa
- Työnaikainen valvonta
- Perusteellinen kierros ennen aliorakan vastaanottoa

Esimerkkikuva:



1. Valmistelut

- Ikkunakarmit tulee olla lämpöeristetty ja suojaitepit tasoitus- tai maalaustöiden jäljiltä poistettu, jotta karmirakenteet ja ikkunalehdet ovat esteettömästi tutkittavissa.
- Tiedustele ikkunatyypin ja asennuksen erityispiirteet ajoissa.
- Ikkunat ja ovet ovat kunnolla kiinni kuvauksen aikana → tarkistus edellisenä päivänä.
- Korvausilmaventtiilit tulee olla avattuina ja mahdollinen ilmastointi perus käyttötilassa.

2. Kuvauksen aikana huomioitavaa

- Varmista tilan ilmanpaine-ero joka kerroksesta, jotta tuloksien saaminen sisäpuolelta on mahdollista. Tutki ikkunarakenteet ylipainetilanteessa ulkopuolelta jos tarpeellista.
- Vältä ikkunarakenteiden kuvaamista auringon paistaessa ikkunoihin → aloita itä-sivulta.
- Kuvaa ikkunaa/ikkunaryhmää aluksi kauempaa paikantaaksesi vuotokohtat ja mittaa tarkka lämpötila läheltä kuvaten.
- Ikkunalasien reunat näyttävät lähes aina kylmiltä → ei tarvitse yleensä raportoida.
- Tiivistevuodon ilmetessä, tarkasta ikkunoiden käynti ja tiivisteiden puhtaus.
- Pyri erottelemaan karmi- ja tiivistevuodot toisistaan ja merkitse sijainti sekä mittauslukema selkeästi pohja- tai julkisivukuvaan.
- Mittaa ikkunan pintalämpötila ikkunaan kiinnitetystä mustasta mattapintaisesta teipistä ja huomioi ikkunaheijastukset.
- Ota lisäksi valokuva jos rakenteessa on toistuvia vuotokohtia tai jos lämpökuvasta on vaikea paikantaa vuotokohta ilman valokuvaa.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

- Ota tulosten analysoinnissa huomioon auringon karmirakenteita lämmittävä vaikutus
- Käytä lämpötilaindeksin määrittämisessä pistemäisen lämpötilan ohjearvoa
- Esitä raportissa vuotokohtat niin tarkasti, että ne voidaan helposti paikantaa myöhemmin
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä

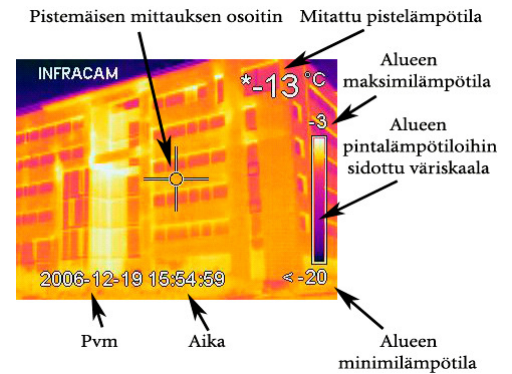


YLEINEN JULKISIVUJEN LÄMPÖKUVAUS

Ajoitus:

- Sisällä vallitsevan ylipaineen aikana
- Työnaikainen valvonta mm. lämmön-eristyksien, elementtien, läpivientien, ikkunoiden sekä ovien asennuksissa.

Esimerkkikuva:



1. Valmistelut

- Julkisivun tarkkaan lämpökuvaamiseen tarvitaan loivan kuvauskulman ja suuren kuvausetäisyyden aiheuttaman mittausvirheen vuoksi nostin tai telineet jos rakennus on yli kaksikerroksinen
- Ikkunat yms. aukot vaipassa tulee olla kiinni kunnolla kuvauksen aikana → tarkistus kuvausta edellisellä päivänä

2. Kuvauksen aikana huomioitava

- Mittaa ilmanpaine-erot eri kerroksista ennen kuvauksen aloittamista.
- Kun tutkit lämpövuotoja älä kuvaa julkisivua, joka on auringon paisteessa.
- Käytä julkisivupiirustusta virheiden dokumentoinnin apuna.
- Käytä manuaalista lämpötilaskaalaa, koska taivas aiheuttaa alhaisen minimilämpötilan automaattiasennossa.
- Muuta emissioerointia kamerassa tutkittavan pintamateriaalin mukaan.
- Lämpötilaindeksin käyttö ulkotiloissa ei ole mahdollista vaan kuvaus perustuu vain vertailuun.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

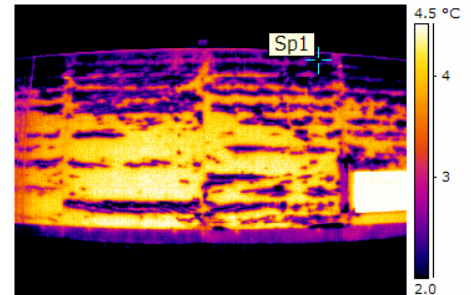
- Käytä julkisivukuvaa raportin liitteenä.
- Esitä raportissa vuotokohdat niin tarkasti, että ne voidaan helposti paikantaa myöhemmin
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä

KOSTEUSVAURIOIDEN & JULKISIVUPINTOJEN VAURIOIDEN LÄMPÖKUVAUS

Ajoitus:

- Välittömästi kosteusvahingon jälkeen.
- Koko vuoden ympäri:
 - o rakenteen lämmityksen aikana (ulkopuolinen säteilijä)
 - o rakenteen jäähtymisen aikana.
 - o parhaiten keväällä ja syksyllä suurien lämpötilavaihteluiden ansiosta.

Esimerkkikuva:



1. Valmistelut

- Kuvaus vaatii sopivat sääolosuhteet kuvausta ennen ja sen aikana
- Kosteuden aiheuttaman pintalämpötilaeron vahvistamiseksi tulee joissain tapauksissa käyttää ulkopuolista lämpösäteilyä hyväksi kuten lämpöpuhaltimia (sisätalassa) tai aurinkoa (ulkona).

2. Kuvauksen aikana huomioitavaa

- Kostean rakenteen jäähtymis- ja lämpenemisnopeus ovat erilaiset kuin kuivan rakenteen.
 - o Lämpenevä kostea rakenne erottuu viileämpänä.
 - o Jäähtyvä kostea rakenne erottuu lämpimämpänä.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

- Lämpökuvauksella havaitaan vain pintalämpötiloihin vaikuttava kosteus
 - o esitä aina muiden jatkotutkimusmenetelmien tarve
 - o kosteuden tai rapautumisen laajuus voi poiketa lämpökuvien tuloksista
- Esitä raportissa vauriokohdat niin tarkasti, että ne voidaan helposti paikantaa myöhemmin
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä

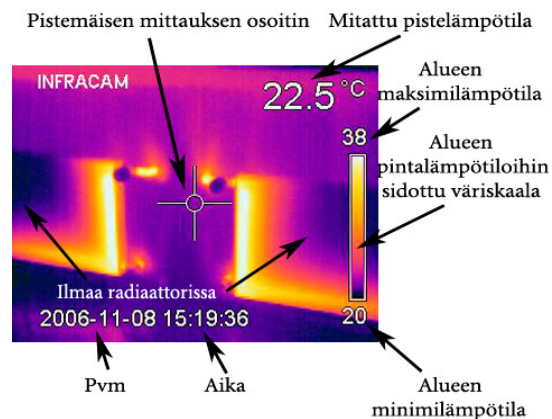


LÄMPÖPATTEREIDEN (RADIAATTOREIDEN) LÄMPÖKUVAUS

Ajoitus:

- Kun lopulliset lämmöt päällä ja säädöt tehty (toimintakokeen yhteydessä)
- Ennen LV-urakan vastaanottoa.

Esimerkkikuva:



1. Valmistelut

- Radiaattoreiden lämmöt tulee olla kytkettyinä päälle ja termostaatit säädetty tasaisesti
- Suojamuovit täytyy olla irroitettuina.

2. Kuvauksen aikana huomioitavaa

- Radiaattorin säiliössä oleva ilma erottuu viileämpänä patterin yläosassa
- Patteri luovuttaa runsaasti lämpöä tai vesi kiertää huonosti jos patterin menovesi on paljon alle 20 °C:ta viileämpää kuin tulovesi.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

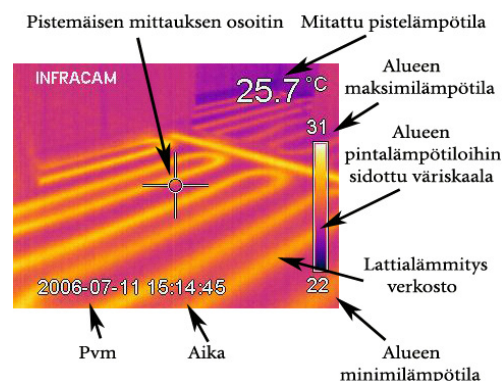
- Dokumentoi ilmaustarpeessa olevat radiaattorit, epäsäännölliset lämpötilat ja vajaatoiminta
- Veden kiertoa voi estää sakan tai liittimien aiheuttamat tukkeumat, verkostoon kertynyt ilma tai termostaatti viat.
- Pyydä lisätietoja putkiasentajilta ja laitevalmistajilta.
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä



LÄMPÖKUVAUS OHJEKORTTI NRO 7

LATTIALÄMMITYSTEN LÄMPÖKUVAUS**Ajoitus:**

- Toimintakokeen aikana
- Ennen laatoitustöitä jos mahdollista
- Verkoston paikantamiseksi
- Mahdollisessa vuototapauksessa
- Paikannus heti päälle kytkennän jälkeen ja toiminnan kuvaus normaalissa käyttötilanteessa

Esimerkkikuva:**1. Valmistelut**

- Lattian tulee olla kuiva ja ylimääräiset tavarat kuten matot ja roskikset tulee poistaa tilasta ennen kuvausta
- Kaapeleiden paikantamiseksi lattialämmitys on hyvä kytkeä pois, jotta tasaisesti lämmennyt lattia ehtii jäähtyä. Jäähtyneen lattian lattialämmitys kytketään päälle ennen kuvausta, jolloin ympäristöään lämpimämmät lattialämmityskaapelit erottuvat selvästi

2. Kuvauksen aikana huomioitavaa

- Lämpökuvan visuaalisuuden parantamiseksi kokeile säättää tarkasteltava lämpötila-alue lämpökamerassa kapeaksi (4 – 10 °C:ta), lähelle kuvan lämpimintä arvoa
- Lattialämmitysverkoston paikantamisessa tulee huomioida lämpökameran laserosoittimen eroava asema mittauspisteestä (tarkista mitta ohjekirjasta)
- Laserosoittimen poikkeavan pystyaseman vuoksi kannattaa lattialämmitysverkostoa kuvata mahdollisimman kohtisuoraan ylhäältä alas ja verkoston suuntaisesti.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

- Ennen lämpökuvan tulkintaa tulee tuntea lämmitysjärjestelmän toiminta
- Lämpötilaerot voivat johtua järjestelmän virheellisestä säädöstä, materiaali- tai asennusvirheistä tai
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä

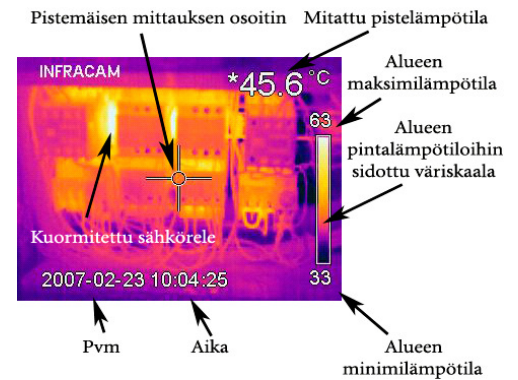


SÄHKÖASENNUKSIEN & TYÖMAASÄHKÖJEN LÄMPÖKUVAUS

Ajoitus:

- Ennen sähköurakan vastaanottoa
- Sähkölaitteen häiriöiden selvittämisessä
- Ylläpidon ja huollon yhteydessä.

Esimerkkikuva:



1. Valmistelut

- Tutkittavat sähkökaapit ja laitteet tulee olla kuormitettuina ja avattuina kuvattavaksi
- Lämpökuvaukseen on varattava sähköasentaja tai talotekniikka-asiantuntija mukaan.

2. Kuvauksen aikana huomioitavaa

- Ota lämpökuva jokaisesta tutkittavasta kaapista, jossa esiintyy suuria lämpötilaeroja ja käy kuvat läpi sähköasentajan tms. kanssa.
- Ilmoita välittömästi suurista lämpötilaeroista työmaahenkilöstölle.

3. Tuloksien tulkinta ja raportointi

- Vertaa vastaavanlaisia ja samoin kuormitettujen liitoksien lämpötiloja toisiinsa.
- Pyydä lisätietoja sähköasentajilta ja laitevalmistajilta.
- Ota kantaa korjausmenettelyyn ja pyydä palautetta tehdyistä toimenpiteistä



LÄMPÖKUVAUKSEN TILAUSPOHJA

Perustiedot:

Kohde: _____

Laajuus : _____ Krs:ta _____ m2 _____ m3

Valmiusaste: _____

Tilaaaja: NCC, _____

Suunnittelu: (ARK)

(Rak)

(LVIAS)

Lämpökuvauksen tarkoitus ja ajoitus:

Työn valvonta/ohjaus	_____	Mallikatselmus	_____	Pistokoe	_____
Laadun tarkastus	_____	Osavastaanotto	_____	Vastaanotto	_____
Tutkimus/korjaus	_____	Takuuaikainen	_____		
Muu:	_____				

Suunniteltu ajankohta: _____

Työmaaolosuhteet

Käytössä oleva lämmitysjärjestelmä _____
 Käytössä oleva ilmastointijärjestelmä _____
 Sisälämpötila (noin) _____

Tutkittava rakenne/urakoitsija:

Lämmöneristys	Seinä	<input type="checkbox"/>	Alapohja	<input type="checkbox"/>	Yläpohja	<input type="checkbox"/>
	<i>Puhallusvilla</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Levyvilla</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Tuulensuoja</i>	<input type="checkbox"/>
	<i>Höyrynsulku</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Ilmansulku</i>	<input type="checkbox"/>	Muu: _____	
Ovi-/Ikkuna-asennus	Puukarmi	<input type="checkbox"/>	Metallikarmi	<input type="checkbox"/>	Ikkunatyyppe:	_____
	<i>Elast.saumaus</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Uretaani</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Villa</i>	<input type="checkbox"/>
Elementtiasennus	Paroc tms.	<input type="checkbox"/>	Lasiseinä	<input type="checkbox"/>	Sandwich	<input type="checkbox"/>
	<i>Elast.saumaus</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Uretaanisaumat</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Saumavilla</i>	<input type="checkbox"/>
Läpiviennit	Seinä	<input type="checkbox"/>	Yläpohja	<input type="checkbox"/>	Alapohja	<input type="checkbox"/>
Betonivalut	Seinä	<input type="checkbox"/>	Lattia	<input type="checkbox"/>	IT-betoni	<input type="checkbox"/>
	<i>Kasettimuotti</i>	<input type="checkbox"/>	<i>Sahatavara</i>	<input type="checkbox"/>	Lämmityslanka	<input type="checkbox"/>
Talotekniikkatyöt	Lattialämmitys	<input type="checkbox"/>	Vesi	<input type="checkbox"/>	Sähkö	<input type="checkbox"/>
	Ilmastointi	<input type="checkbox"/>	Ilmavirtaukset	<input type="checkbox"/>	Kanavavuodot	<input type="checkbox"/>
	Radiaattorit	<input type="checkbox"/>	Lämpötilatarkistus	<input type="checkbox"/>	Ilmaustarve	<input type="checkbox"/>
	Ikkunalämmitys	<input type="checkbox"/>				

Muu rakenne _____

Urakoitsija/Valmistaja _____

Työnjohtaja, NCC _____

Liitteenä rakenteiden liitosdetaljit ja pohjapiirustukset: _____



LÄMPÖKUVAUS MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Perustiedot

Kuvausaika: _____ Kohde/Työlaji valmis: _____

Kohde: _____

Laajuus : _____ Krs:ta _____ m2 _____ m3

Tilaja: NCC, _____

Tutkittavan työlajin työnjohtaja: NCC, _____

Suunnittelu: (Ark) _____ (Rak) _____ (LVIAS) _____

Lämpökuvauksen tarkoitus:

Työn valvonta/ohjaus _____ Mallikatselmus _____ Pistokoe _____

Laadun tarkastus _____ Osavastaanotto _____ Vastaanotto _____

Tutkimus/korjaus _____ Takuuaikainen _____

Muu: _____

Käytössä oleva lämmitys-/ilmastointijärjestelmä: _____

Tutkittava rakenne, järjestelmä tms. ja valmiusaste:

Urakoitsija/Valmistaja:

1. _____

2. _____

3. _____

Sääolosuhteet

Ulkolämpöt. _____ Edellinen pv _____ Kuvauspv _____ mittausten alussa _____ mittausten lopussa _____ Muut huomiot: _____ °C °C

Aurinko _____ (auringonsuunta)

Tuuli _____ (tuulensuunta)

Oheismittaukset & raja-arvot

Kerros	Sisälämpötila/°C	ilmankosteus/%	Kastepiste/°C	Paine-ero/Pa	Kuvat/kpl	Raja-arvo/°C		
						Lattia/Seinä/Pistemäinen		
Ryömintätila								
Kellari								
1. krs								
2. krs								
3. krs								
4.krs								
5.krs								
6.krs								
7.krs								
8.krs								
9.krs								
Katto								

Liitteet:

Mittaukset tehnyt/nimenselvennys:

Paikka & aika:

Pohjakuva _____

Julkisivukuva _____

Raportti _____



NCC Rakennus Oy
Työmaapalvelut
T.A

61,65,70 indeksejä vastaavat
pintalämpötila-arvot

Sisäilma +20

$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100$

TI= lämpötilaindeksi

T_{sp}= sisäpinnan lämpötila

T_i= sisäilman lämpötila

T_o= ulkoilman lämpötila

T _{sp}	Ti		To		TI
	20	20	5	61	
14,2	20	20	5	61	
13,8	20	20	4	61	
13,4	20	20	3	61	
13	20	20	2	61	
12,6	20	20	1	61	
12,2	20	20	0	61	
11,8	20	20	-1	61	
11,4	20	20	-2	61	
11	20	20	-3	61	
10,6	20	20	-4	61	
10,2	20	20	-5	61	
9,8	20	20	-6	61	
9,4	20	20	-7	61	
9	20	20	-8	61	
8,6	20	20	-9	61	
8,2	20	20	-10	61	
7,8	20	20	-11	61	
7,4	20	20	-12	61	
7	20	20	-13	61	
6,6	20	20	-14	61	
6,2	20	20	-15	61	
5,8	20	20	-16	61	
5,4	20	20	-17	61	
5	20	20	-18	61	
4,6	20	20	-19	61	
4,2	20	20	-20	61	
3,9	20	20	-21	61	
3,5	20	20	-22	61	
3,2	20	20	-23	61	
2,8	20	20	-24	61	
2,4	20	20	-25	61	
2	20	20	-26	61	
1,6	20	20	-27	61	
1,2	20	20	-28	61	
0,8	20	20	-29	61	
0,4	20	20	-30	61	

T _{sp}	Ti		To		TI
	20	20	5	65	
14,7	20	20	5	65	
14,4	20	20	4	65	
14	20	20	3	65	
13,7	20	20	2	65	
13,4	20	20	1	65	
13	20	20	0	65	
12,7	20	20	-1	65	
12,3	20	20	-2	65	
12	20	20	-3	65	
11,7	20	20	-4	65	
11,3	20	20	-5	65	
11	20	20	-6	65	
10,6	20	20	-7	65	
10,3	20	20	-8	65	
9,9	20	20	-9	65	
9,6	20	20	-10	65	
9,3	20	20	-11	65	
8,9	20	20	-12	65	
8,5	20	20	-13	65	
8,2	20	20	-14	65	
7,9	20	20	-15	65	
7,5	20	20	-16	65	
7,2	20	20	-17	65	
6,8	20	20	-18	65	
6,5	20	20	-19	65	
6,1	20	20	-20	65	
5,8	20	20	-21	65	
5,5	20	20	-22	65	
5,1	20	20	-23	65	
4,8	20	20	-24	65	
4,4	20	20	-25	65	
4	20	20	-26	65	
3,6	20	20	-27	65	
3,3	20	20	-28	65	
3	20	20	-29	65	
2,7	20	20	-30	65	

T _{sp}	Ti		To		TI
	20	20	5	70	
15,5	20	20	5	70	
15,2	20	20	4	70	
14,9	20	20	3	70	
14,6	20	20	2	70	
14,3	20	20	1	70	
14	20	20	0	70	
13,7	20	20	-1	70	
13,4	20	20	-2	70	
13,1	20	20	-3	70	
12,8	20	20	-4	70	
12,5	20	20	-5	70	
12,2	20	20	-6	70	
11,9	20	20	-7	70	
11,6	20	20	-8	70	
11,3	20	20	-9	70	
11	20	20	-10	70	
10,7	20	20	-11	70	
10,4	20	20	-12	70	
10	20	20	-13	70	
9,7	20	20	-14	70	
9,4	20	20	-15	70	
9,1	20	20	-16	70	
8,8	20	20	-17	70	
8,5	20	20	-18	70	
8,2	20	20	-19	70	
7,9	20	20	-20	70	
7,6	20	20	-21	70	
7,3	20	20	-22	70	
7	20	20	-23	70	
6,7	20	20	-24	70	
6,4	20	20	-25	70	
6	20	20	-26	70	
5,7	20	20	-27	70	
5,4	20	20	-28	70	
5,1	20	20	-29	70	
4,8	20	20	-30	70	



NCC Rakennus Oy
Työmaapalvelut
T.A

61,65,70 indeksejä vastaavat
pintalämpötila-arvot

Sisäilma +21

$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100$

TI= lämpötilaindeksi

T_{sp}= sisäpinnan lämpötila

T_i= sisäilman lämpötila

T_o= ulkoilman lämpötila

Tsp	Ti	To	TI
14,7	21	5	61
14,3	21	4	61
14	21	3	61
13,6	21	2	61
13,2	21	1	61
12,8	21	0	61
12,4	21	-1	61
12	21	-2	61
11,6	21	-3	61
11,2	21	-4	61
10,8	21	-5	61
10,4	21	-6	61
10	21	-7	61
9,6	21	-8	61
9,2	21	-9	61
8,8	21	-10	61
8,4	21	-11	61
8	21	-12	61
7,6	21	-13	61
7,2	21	-14	61
6,8	21	-15	61
6,4	21	-16	61
6	21	-17	61
5,6	21	-18	61
5,2	21	-19	61
4,9	21	-20	61
4,5	21	-21	61
4,2	21	-22	61
3,8	21	-23	61
3,4	21	-24	61
3	21	-25	61
2,6	21	-26	61
2,2	21	-27	61
1,8	21	-28	61
1,4	21	-29	61
1	21	-30	61

Tsp	Ti	To	TI
15,4	21	5	65
15	21	4	65
14,7	21	3	65
14,3	21	2	65
14	21	1	65
13,6	21	0	65
13,2	21	-1	65
12,9	21	-2	65
12,5	21	-3	65
12,3	21	-4	65
12	21	-5	65
11,5	21	-6	65
11,2	21	-7	65
10,9	21	-8	65
10,6	21	-9	65
10,3	21	-10	65
9,9	21	-11	65
9,6	21	-12	65
9,2	21	-13	65
8,8	21	-14	65
8,5	21	-15	65
8,2	21	-16	65
7,8	21	-17	65
7,5	21	-18	65
7,1	21	-19	65
6,8	21	-20	65
6,5	21	-21	65
6,1	21	-22	65
5,8	21	-23	65
5,4	21	-24	65
5	21	-25	65
4,5	21	-26	65
4	21	-27	65
3,7	21	-28	65
3,3	21	-29	65
3	21	-30	65

Tsp	Ti	To	TI
16,2	21	5	70
15,9	21	4	70
15,6	21	3	70
15,3	21	2	70
15	21	1	70
14,7	21	0	70
14,3	21	-1	70
14	21	-2	70
13,7	21	-3	70
13,4	21	-4	70
13,1	21	-5	70
12,8	21	-6	70
12,5	21	-7	70
12,2	21	-8	70
11,9	21	-9	70
11,6	21	-10	70
11,3	21	-11	70
11	21	-12	70
10,7	21	-13	70
10,4	21	-14	70
10,1	21	-15	70
9,8	21	-16	70
9,5	21	-17	70
9,2	21	-18	70
8,9	21	-19	70
8,6	21	-20	70
8,3	21	-21	70
8	21	-22	70
7,7	21	-23	70
7,4	21	-24	70
7,1	21	-25	70
6,8	21	-26	70
6,5	21	-27	70
6,2	21	-28	70
5,9	21	-29	70
5,5	21	-30	70



NCC Rakennus Oy
Työmaapalvelut
T.A

61,65,70 indeksejä vastaavat
pintalämpötila-arvot

Sisäilma +22

$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100$

TI= lämpötilaindeksi

T_{sp}= sisäpinnan lämpötila

T_i= sisäilman lämpötila

T_o= ulkoilman lämpötila

T _{sp}	TI		T _o	TI
	T _i	To		
16,9	22	5	70	70
16,6	22	4	70	70
16,3	22	3	70	70
16	22	2	70	70
15,7	22	1	70	70
15,4	22	0	70	70
15,1	22	-1	70	70
14,8	22	-2	70	70
14,5	22	-3	70	70
14,2	22	-4	70	70
13,9	22	-5	70	70
13,6	22	-6	70	70
13,3	22	-7	70	70
13	22	-8	70	70
12,7	22	-9	70	70
12,4	22	-10	70	70
12,1	22	-11	70	70
11,8	22	-12	70	70
11,5	22	-13	70	70
11,2	22	-14	70	70
10,9	22	-15	70	70
10,6	22	-16	70	70
10,3	22	-17	70	70
10	22	-18	70	70
9,6	22	-19	70	70
9,3	22	-20	70	70
9	22	-21	70	70
8,7	22	-22	70	70
8,4	22	-23	70	70
8	22	-24	70	70
7,7	22	-25	70	70
7,4	22	-26	70	70
7,1	22	-27	70	70
6,8	22	-28	70	70
6,5	22	-29	70	70
6,2	22	-30	70	70

T _{sp}	TI		T _o	TI
	T _i	To		
16	22	5	65	65
15,7	22	4	65	65
15,3	22	3	65	65
14,9	22	2	65	65
14,6	22	1	65	65
14,3	22	0	65	65
14	22	-1	65	65
13,7	22	-2	65	65
13,3	22	-3	65	65
13	22	-4	65	65
12,6	22	-5	65	65
12,3	22	-6	65	65
11,9	22	-7	65	65
11,6	22	-8	65	65
11,3	22	-9	65	65
10,9	22	-10	65	65
10,6	22	-11	65	65
10,2	22	-12	65	65
9,9	22	-13	65	65
9,5	22	-14	65	65
9,2	22	-15	65	65
8,8	22	-16	65	65
8,5	22	-17	65	65
8,1	22	-18	65	65
7,8	22	-19	65	65
7,5	22	-20	65	65
7,1	22	-21	65	65
6,8	22	-22	65	65
6,4	22	-23	65	65
6	22	-24	65	65
5,7	22	-25	65	65
5,4	22	-26	65	65
5	22	-27	65	65
4,7	22	-28	65	65
4,4	22	-29	65	65
4	22	-30	65	65

T _{sp}	TI		T _o	TI
	T _i	To		
15,3	22	5	61	61
15	22	4	61	61
14,6	22	3	61	61
14,2	22	2	61	61
13,8	22	1	61	61
13,4	22	0	61	61
13	22	-1	61	61
12,6	22	-2	61	61
12,2	22	-3	61	61
11,8	22	-4	61	61
11,4	22	-5	61	61
11	22	-6	61	61
10,6	22	-7	61	61
10,2	22	-8	61	61
9,8	22	-9	61	61
9,4	22	-10	61	61
9	22	-11	61	61
8,6	22	-12	61	61
8,2	22	-13	61	61
7,8	22	-14	61	61
7,4	22	-15	61	61
7	22	-16	61	61
6,6	22	-17	61	61
6,2	22	-18	61	61
5,9	22	-19	61	61
5,5	22	-20	61	61
5,2	22	-21	61	61
4,8	22	-22	61	61
4,4	22	-23	61	61
4	22	-24	61	61
3,6	22	-25	61	61
3,2	22	-26	61	61
2,8	22	-27	61	61
2,4	22	-28	61	61
2	22	-29	61	61
1,6	22	-30	61	61

KÄYTTÄJÄTIEDOTE

PVM

HYVÄ LÄMPÖKUVAUKSEN TILAAJA

Toimitiloissanne /asunnossanne suoritetaan lämpökuvaus:

_____kuun ____ päivänä alkaen klo_____.

Lämpökuvaus suoritetaan pääasiassa rakennuksen sisätilojen puolelta. Rakennus kierretään myös ulkoa sekä käydään tarvittaessa ullakkotiloissa. Kulku rakennuksessa tapahtuu huoltohenkilökunnan avustuksella tarvittaessa yleisavaimella.

KÄYTTÄJÄN TOIMENPITEET LÄMPÖKUVAUKSESSA**Ennen kuvauksia**

- Uusien tai peruskorjattujen tilojen tulisi olla valmiit ennen kuvauksia (vähintäänkin eristykset, saumat, levytykset ja pohjamaalaukset).
- Kuvattavien tilojen ulkoseinien vierellä tulisi olla vähintään 1m vapaata tilaa kuvausta edeltävän vuorokauden aikana.
- Ikkunoiden edessä olevat verhot tulisi siirtää keskelle ikkunaa nippuun edellisenä päivänä.
- Tilojen ilmastointi ja korvausilmanventtiilit voivat olla normaalissa käyttöasennossa.
- On hyvä huolehtia, että ikkunat sekä ovet ovat kiinni. Kuvauspäivänä ei saa tuulettaa ennen kuin kuvaaja antaa luvan.
- Lämmitysjärjestelmä saa olla normaalissa käyttötilanteessa.

Kuvausten aikana

- Tutkimuksen puolueettomuuden ja laadun kannalta on hyvä antaa tutkijalle työrauha.

Huom.: Jos tiloissa on toimintoja jotka voivat häiriintyä sovi menettelytavoista ottamalla puhelimitse yhteyttä tai tutkijan saapuessa paikalle, kuten kotieläimiä jne.

Kuvaajan yhteystiedot

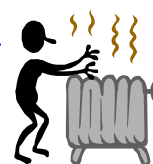
puh.

email.

NCC LÄMPÖKUVAUKSEN SUUNNITTELUN MUISTILISTA

1. TÄRKEIMPIÄ LÄMPÖKUVAUKSELLA TUTKITTAVIA RAKENTEITA

- Runkorakenteet
 - elementtien saumat
 - muut rakenneliitokset
- Lämmön- ja ilmaneristykset
 - elementtien lämmöneristävyys
 - lämmöneristeiden tiiveys ja mahdolliset puutteet
 - ilmaneristyspuutteet →ilmavuodot eli veto
- Ikkunat
 - karmirakenteen tiiveys
 - ikkunatiivisteet
 - karmitiikkeit ja uretaanieristeet
- Talotekniikka-asennukset
 - patterit, lattialämmitykset ja muut säteilylämmitykset
 - ilmastointikanavien tiiveys
 - sähkörasia-asennukset →ilmavuodot ja kylmäsilat



2. MAHDOLLISIA LISÄSOVELLUKSIA

- Työmaatekniikan sovellukset
 - telttarakenteet, huputukset ja rakennusaikainen vaipan tiiveys
 - työmaasähköistys
 - betonivaluolosuhteiden varmistaminen
 - IT-betoni valujen tms. tarkkailu (massan liikkeet)
 - rakennusaikaisten kosteusvaurioiden kartoitus.
- Korjausrakentamisen sovellukset
 - Kosteusvauriot ja pintarakennevauriot yms.

3. LÄMPÖKUVAUSSOLOSUHTEET:

- vaipparakenteiden lämmöneristävyiden ja tiiveyden luotettava tarkastelu vaatii vähintään 15 °C:n lämpötilaeron ulko- ja sisäilman välillä sekä alipainetta tutkittavassa tilassa.
- olosuhteet pyrittävä tasaamaan vähintään vuorokautta ennen tutkimusta.
- tarkat ohjeet ja vaatimukset toimittaa lämpökuvaaja

4. LÄMPÖKUVAUKSEN AJOITUS

Lämpökuvaus on tärkeää huomioida projektin eri vaiheissa kuten:

- Riskianalyyssissa
- Projektisuunnittelussa
- Tehtäväsuunnittelussa
- Aloituspäiväpalaverissa
- Työn valvonnassa
- Malliasennuksen hyväksymisessä
- Työn vastaanotossa



IR-TIETOKANNAN SISÄLTÖ-/RAKENNELUONNOS

NCC KONSERNI

Suomi Ruotsi **Norja** Tanska

PROJEKTIA

Laatu, työkalut & menetelmät

IR-Metodi

TILAUS

Yleistä

Tiedote

Tilauslomake/tilauksen lähetyk

APUTYÖKALUT

Mittausptk.

Ohjekortit

Raja-arvotaulukot

PALAUTE

Korjaukset

Suunnittelu

Hankinta

Rakentaminen

TUTKIMUKSET

Toimitila

Asunto

Korjaus

Työnaikainen

Työlaji (1-n)

Lasiseinä

Viimeistely

Järjestelmä

Lämmöneristys

Puhallusvilla

Levyvilla

Takuuajainen

Ominaisuus

Elementtias.

Lasiseinä

Paroc tms.

Koko kiinteistö