

Tampereen ammattikorkeakoulu, ylempi AMK-tutkinto
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Jenni Pitkänen

Opinnäytetyö

Lämpökuvaus tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä

Työn ohjaaja	lehtori, diplomi-insinööri Heikki Saarenpää
Työn tilaaja	VTS Kiinteistöpalvelu Oy
Tampere	11/2009

Tekijä	Pitkänen Jenni
Työn nimi	Lämpökuvaus tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä
Sivumäärä	102 sivua, 3 liitesivua
Valmistumisaika	marraskuu 2009
Työn ohjaaja	lehtori, diplomi-insinööri Heikki Saarenpää
Työn tilaaja	VTS Kiinteistöpalvelu Oy

TIIVISTELMÄ

Järjestelmällistä lämpökuvausta on suhteellisen vähän aikaa käytetty rakennusten laadunvarmistustyökaluna. Sitä pidetään yleensä kalliina menetelmänä, mikä vuoksi se ei kenties ole yleistynyt rakennustyön laadunvarmistuksessa. Tilaajien keskuudessa ei myöskään tunneta kaikkia lämpökameran hyödyntämistapoja, ja niistä saattaa olla jopa virheellisiä kuvitelmia.

Tässä työssä selvitettiin tilaajien, urakoitsijoiden, lämpökuvaajien, lämpökameramyyji- en ja lämpökuvauskoulutusta järjestävien tahojen käsitystä lämpökuvauksen käyttö- mahdollisuuksista tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä Suomessa. Työssä tutkittiin myös, että millaista rakennusten lämpökuvaukseen liittyvää koulutustarvetta erityisesti tilaajilla ja kuvaajilla on. Lisäksi selvitettiin, löytyykö lämpökameralle sellaisia uusia hyödyntämistapoja, joita ei vielä ole laajasti hyödynnetty.

Työssä käytettiin kyselytutkimusta, joka toteutettiin satunnaisotantatutkimuksena 154 henkilön perusjoukolle, jossa oli kuvaajia, tilaajia, urakoitsijoita, opetuksen parissa toimivia ja lämpökameramyyjiä. Yli puolet (55 %) vastaajaehdokkaista oli tilaajaedustajia. Tämän lisäksi tutustuttiin toimeksiantajalla suoritettuihin lämpökuvauksiin sekä lämpökuvauksesta tehtyihin tutkimuksiin ja kirjalliseen aineistoon.

Vastausprosentti kyselyssä oli 29 %, joka on kohtuullinen. Yli puolet vastaajista (58 %) oli sitä mieltä, että koska tilaajat eivät osaa tilata tai vaatia lämpökuvausta, ei kaikkia uudis- ja peruskorjauskohteita lämpökuvata Suomessa. Yleinen käsitys siitä, että lämpökuvaus on kallista, ei noussut vastauksissa lämpökuvauksen yleistymisen esteeksi. Suurin osa vastaajista (96 %) vastasi tietävänsä vähintään pääpiirteittäin miten rakennukset tulisi lämpökuvata. Kuitenkin vain hieman yli puolet vastaajista oli tutustunut rakennusten lämpökuvauksesta tehtyyn Ratu-ohjekorttiin.

Lämpökuvausta pidettiin pääosin (96 %) luotettavana tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä. Lämpökuvaajille toivottiin kuitenkin lisäkoulutusta kuvaustulosten tulkintaan. Tilaajille lisäkoulutusta toivottiin raportin tulkintaan ja kuvauksen tilaamiseen. Myös raportoinnin yhtenäistämisen tärkeys nousi tutkimuksessa esille.

Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää rakennusten lämpökuvausten jatkokehityksessä ja koulutustarpeiden määrittelyssä. Tulosten mukaan tärkeintä olisi saada lisättyä nykyisten ja tulevien tilaajien tietämystä lämpökuvauksesta sekä lämpökuvaajien osaamista raportin laadintaan ja kuvaustulosten tulkintaan.

Author	Pitkänen Jenni
Thesis	Thermal imaging as a method of customer's quality control tool on buildings
Pages	102 pages, 3 appendices
Graduation time	November 2009
Thesis Supervisor	senior lecturer Heikki Saarenpää
Comissioned by	VTS Kiinteistöpalvelu Oy

ABSTRACT

Thermal imaging has been used systematically for a relatively short period of time in buildings' quality management. The customers consider thermal imaging as an expensive procedure and that might be one reason why it is not used more and in a wider scale as a quality control tool. The customers also might have incorrect conceptions about when and where a thermal camera can be used.

This thesis determined customers', building constructors', thermal imaging trainers', thermographers' and thermal camera dealers' knowledge and opinions about the possibilities to use thermal imaging as a customer's quality control tool in Finland. The aim was also to survey their opinion about the need for thermal imaging related training and to discover new ways to utilize thermal imaging.

The 154 respondents were randomly selected amongst thermal imaging customers, building constructors, thermal imaging trainers, thermographers and thermal camera dealers. More than half (55%) of the selected respondents were customers' representatives. Besides the survey, thermal imaging done by the commissioner and earlier publications about thermal imaging were studied.

The total answer rate was 29 % which is moderate. More than half of the respondents (58 %) found customers' inability to demand or commission thermal imaging the main reason why thermal imaging is not carried out in all new buildings or renovation sites in Finland. The common assumption of thermal imaging being expensive was not conveyed as the main reason for not using it from the answers. Over 90% of the respondents said that they know how to conduct a thermal imaging of a building at least in principal but only about half of the respondents had read the Ratu-instruction card about thermal imaging.

Thermal imaging was considered by majority (96%) to be a reliable method of customers' quality control. The respondents wished for more training in result assessment for the thermographers and for customers training in commissioning the thermal imaging and interpretation of the results. Also the correspondence between different thermographers' reports was demanded.

These results can be used in further development of buildings' thermal imaging and in determining the contents for training. According to the results the most important thing would be to increase the present and future customers' knowledge about thermal imaging and thermographers' reporting skills as well as their thermal image analyzing skills.

Esipuhe

Vaikka opinnäytetyön tekeminen on monesti yksinäistä ja joskus puuduttavaakin puuhaa, ei tässä työssä aiheen vuoksi tarvinnut kertaakaan pitkästyä. Alusta asti aihe tuntui mielenkiintoiselta niin minusta kuin monista muistakin, joiden kanssa siitä keskustelin.

Erityiskiitokset esitän opinnäytetyöni ohjaajalle, Tampereen ammattikorkeakoulun lehtorille, Heikki Saarenpäälle, jonka kannustus edesauttoi merkittävästi työn valmistumisessa.

Kiitän myös avopuolisoani Petriä, joka jaksoi tukea minua tämän työn loppuunsaattamisessa. Ilman kanssasi käymiäni aivoriisiä, ei tästä työstä olisi tullut tämän veroinen.

Tampereella marraskuussa 2009

Jenni Pitkänen

Sisällysluettelo

1	Johdanto	10
2	Työn kuvaaminen.....	12
2.1	Tutkimuksen tausta	12
2.2	Tutkimusmenetelmät.....	13
2.3	Tutkimustavoite ja aiheen rajaus	13
3	Laatu rakentamisessa	15
3.1	Laatu	15
3.2	Laadunvarmistus	15
3.3	Rakennusten rakenteiden ja sisäilmaston laatuvaatimukset	16
3.3.1	Lainsäädäntö	17
3.3.2	Rakentamismääräyskokoelma.....	18
3.3.3	Asumisterveysohje	19
3.3.4	Suunnitteluohjeet	19
4	Lämpökamera.....	20
4.1	Yleistä	20
4.2	Lämpökameran historia	20
4.3	Lämpökameran toimintaperiaate	21
4.3.1	Infrapunasäteily.....	21
4.3.2	Lämmön siirtyminen	22
4.3.3	Tietojen tallennus	23
4.3.4	Lämpöprofiilit	23
4.3.5	Skanneritekniikka lämpökamerassa	24
4.3.6	Matriisi-ilmaisina lämpökamerassa	24
4.3.7	Kalibrointi	25
4.3.8	Emissiivisyys	25
4.3.9	Lämpökameran mittatarkkuus.....	26
4.4	Lämpökameran soveltuvuus rakennusten kuvaamiseen	28
5	Kuvauksen oheismittaukset ja olosuhdevaatimukset.....	30
5.1	Painesuhteet	30
5.1.1	Alipaine	31
5.1.2	Ylipaine	32
5.1.3	Savupiippuvaikutus	32
5.1.4	Tuuli	33

5.1.5	Lämmitys- ja ilmanvaihto	33
5.2	Huoneilman lämpötila.....	33
5.2.1	Välttävä ja tyydyttävä taso	34
5.3	Ulkolämpötila ja lämpötilaero	35
5.4	Sääolosuhteet	36
5.5	Veto.....	37
5.6	Veto korvausilmalaitteesta.....	37
5.7	Kosteus.....	39
6	Kuvaajalle asetettavat vaatimukset	40
6.1	Yleistä	40
6.2	Koulutus.....	40
6.3	Tilaaajien osto-osaaminen	40
7	Kuvaustulosten tulkinta.....	42
7.1	Yleistä	42
7.2	Lämpökuvan lämpötila-asteikko.....	42
7.3	Tulkittavien lämpökuvien luotettavuus.....	44
7.4	Lämpötilaerot.....	44
7.5	Rakenteiden lämmöneristysviat	45
7.6	Rakenteiden ilmavuodot	46
7.7	Ikkunoiden ja ovien ilmanpitävyys.....	49
7.8	Kosteusvauriot ja vesivuodot.....	50
7.9	Ilmanvaihdon toiminta	53
7.10	Lämmityksen toiminta	54
7.11	Kattojen vauriot	57
7.12	Muut lämpökameralla havaittavat viat ja vauriot	57
8	Kuvaustulosten raportointi	59
8.1	Yleistä	59
8.2	Lämpötilaindeksi.....	59
8.3	Ratu -ohjekortti	62
9	Kyselytutkimus	65
9.1	Tutkimusongelma	65
9.2	Tutkimusmenetelmä.....	65
9.3	Tutkimuksen suoritus.....	65
9.4	Tutkimuksen pätevyys ja luotettavuus.....	66
9.5	Tutkimuslomake	67

9.6	Vastausaktiivisuus.....	68
9.7	Virhemarginaali	69
9.8	Kokonaistulokset.....	70
9.8.1	Vastaajien profiili.....	70
9.8.2	Vastaajien kokemukset rakennusten lämpökuvaamisesta.....	75
9.8.3	Vastaajien kokemukset lämpökameroista	79
9.8.4	Vastaajien kokemukset lämpökuvauksen suorittamisesta	81
9.8.5	Vastaajien kokemukset koulutustarpeista	86
9.8.6	Vastaajien vapaamuotoinen kommentointi	87
9.9	Tilaaajaedustajien tulokset suhteessa kokonaistuloksiin.....	88
9.10	Tulosten analysointi	93
9.10.1	Lämpökuvauksen yleisyys	93
9.10.2	Esteet lämpökuvauksen suosiolle.....	93
9.10.3	Lisäkoulutustarpeet	94
9.10.4	Lämpökamerat	95
9.10.5	Lämpökuvauksen luotettavuus.....	96
9.10.6	Uudet tavat hyödyntää lämpökameraa	96
9.11	Jatkokehitystarpeet.....	97
9.11.1	Lämpökameran asetukset	97
9.11.2	Rakennusmenetelmien kehittäminen	97
9.11.3	Raportoinnin kehittäminen.....	98
9.11.4	Tilaaajien ohjeistuksen ja koulutuksen kehittäminen	98
9.11.5	Lämpökuvauksen kustannusvaikutusten selvittäminen	98
10	Yhteenveto	100
11	Lähteet.....	101
12	Liitteet	103
	Liite 1:.....	103
	Liite 2:.....	104
	Liite 3:.....	105

Sanasto

Emissiivisyys

Pinnan lähettämän säteilyn määrä verrattuna täysin mustan kappaleen säteilyyn. Merkitään pienellä epsilon -kirjaimella ϵ . Täysin mustan kappaleen emissiivisyys on 1.

Emissio

Lämmön siirtymistä kappaleen pinnasta säteilemällä.

Huone

Huoneella tarkoitetaan pysyvästi asuinkäyttöön suunniteltua ja rakennettua huonetilaa. (*Asumisterveysopas 2009, 28*)

Huonelämpötila

”Huonelämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa sellaisessa tasalämpöisessä huoneessa, jossa kehon lämmönluovutus on sama kuin tarkasteltavassa huoneessa (*Rakennustietosäätö RTS 1995,1*)”.

Ilmansulku

”Ilmansululla tarkoitetaan ainekerrosta, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi puolelta toiselle (*Rakennustietosäätö RTS 2007a, 2*)”.

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)

”Lämmönläpäisykerroinella tarkoitetaan lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään W/m^2K (yksi watti neliometriä ja pinnan sekä ympäristön lämpötilaeroastetta, Kelviniä, kohti) (*Rakennustietosäätö RTS 2007a, 2*)”.

Lämmönsiirtokerroin

Paljonko materiaalin pinta luovuttaa lämpö pintaansa pitkin kulkevalle ilmavirralle (vapaassa konvektiossa) ja säteilemällä muihin rakenteisiin. Yksikkönä käytetään $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ (yksi watti neliometriä ja pinnan ja ympäröivän ilman lämpötilaeroastetta kohti)

Oleskeluvyöhyke

”Oleskeluvyöhykkeellä tarkoitetaan sitä osaa huonetilasta, jossa sisäilmas-
tovaatimukset on suunniteltu toteutuvaksi. Yleensä se on vähintään huone-
tilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 m:n korkeudella
lattiasta ja sivupinnat 0,6 m etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistö
rakennusosista (*Rakennustietosäätiö 2003b, 2*)”.

”Keittiö- ja vastaavien tilojen oleskeluvyöhyke lasketaan ulkoseinän sisä-
pinnasta eikä esimerkiksi seinällä olevien kiintokalusteiden ulkoreunasta
(*Asumisterveysopas 2009, 28*)”.

Operatiivinen lämpötila

”Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan huoneilman lämpötilan ja ihmistä
ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Operatiivinen läm-
pötila kuvastaa huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen
vaikutusta ihmisen lämmöntunteeseen (*Asumisterveysohje 2003, 14*)”.

Rakennuksen vaippa

”Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan niitä rakennusosia, jotka erottavat
lämpimän, puolilämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän
tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta (*Rakennustie-
tosäätiö RTS 2007a, 2*)”.

Sisäilmasto

”Rakennuksen sisäilmaston laatua kuvaavia mitattavia tekijöitä ovat: läm-
pöolot tilassa, ilmavirtaukset tilassa, sisäilman kosteus ja sisäilmassa ole-
vat epäpuhtaudet (*Rakennustietosäätiö RTS 1995,2*)”.

1 Johdanto

Terveellä ihmisellä ruumiinlämpö on yleensä noin 37 astetta. Kun ihminen sairastuu, hänen lämpötilansa kohoaa ja hänellä on kuumetta. Joissakin sairauksissa ruumiinlämpö puolestaan laskee. Ihmisen terveyttä tarkkaillaankin usein ruumiinlämpöä seuraamalla. Aivan kuin terveellä ihmisellä myös hyvin rakennetulla rakennuksella on tietty ominaislämpötila. Jos rakennus ”sairastuu”, toisin sanoen siinä on jotain vikaa, sen lämpötila voi paikallisesti laskea tai nousta. Ihmisten lämpötiloja tutkitaan siis kuumemittarilla, rakennusten lämpötilojen tutkimiseen soveltuu puolestaan lämpökamera.

Lämpökuvaus rakennusten ainetta rikkomattomana tutkimusmenetelmänä on vasta 2000-luvulla alkanut yleistyä Suomessa. Tähän on oleellisesti vaikuttanut lämpökameratekniikan kehittyminen ja laitteiden hankintahinnan aleneminen sekä osaamisen lisääntyminen.

Sertifioituja, koulutuksen saaneita, rakennusten lämpökuvaajia on Suomessa tehtävään uudisrakentamiseen ja peruskorjaamiseen suhteutettuna hyvin vähän. Syksyllä 2009 voimassa olevia Rakennusten lämpökuvaaja -henkilösertifikaatteja oli 57 henkilöllä (VTT, www.vtt.fi), kun taas vuoden 2008 aikana aloitetuissa rakennuksissa oli yhteensä 41,87 miljoonaa rakennuskuutiota (Tilastokeskus, www.stat.fi). Tämä tekee yli 730 000 rakennuskuutiota yhtä sertifioitua lämpökuvaajaa kohden. Tästä summasta puuttuvat vielä kaikki peruskorjauskohteet ja olemassa olevat kohteet. Jokaiselle sertifioidulle rakennusten lämpökuvaajalle riittäisi siis enemmän kuin tarpeeksi työsarkaa, ottaen vielä huomioon vuodenaikojen lämpökuvaukselle asettamat rajoitukset.

Yleisen käsityksen mukaan lämpökuvausta pidetään kalliina laadunvarmistusmenetelmänä, minkä vuoksi se ei ehkä ole päässyt vielä yleistymään rakennustyön laadunvarmistuksessa. Menetelmänä se kuitenkin on yhtä varteenotettava kuin vallitsevat pääosin silmämääräiset laaduntarkkailumenetelmät, joilla ei välttämättä edes pystytä varmistamaan tuotteen laadukkuutta. Esimerkiksi ulkoseinien suunnitelmien mukaista lämmönläpäisykerrointa (U-arvoa) ei voida yhtä helposti havaita millään muulla mittausmenetelmällä kuin lämpökameralla pintalämpötilan alenemisena.

”Laatu on niiden ominaisuuksien kokonaisuus, joihin perustuu tarkoitteen (esim. tuotteen) kyky täyttää sille asetetut vaatimukset ja siihen kohdistuvat odotukset” (SFS-EN ISO 8402:1995)

Lämpökamera tulee lähitulevaisuudessa olemaan erityisesti tekniikan kehittyessä ja halventuessa sekä ostajien osaamisen lisääntyessä yhtä yleinen mittalaite rakennustyömaila, kuin kuumemittari lääkäriillä.

2 Työn kuvaaminen

2.1 Tutkimuksen tausta

Opinnäytetyön aihe valikoitui lämpökuvauksen ympärille siksi, että lämpökuvaaminen on kiinteistön laadunvarmistuksen tutkimusmenetelmänä mielenkiintoinen ja aiheesta on saatavilla suomenkielistä materiaalia vain vähän. Kuitenkin lämpökuvauspalvelua halutaan tilaajien ja asunnonomistajien keskuudessa ostaa nykyään entistä enemmän. Palvelua ollaan monesti tilaamassa tietämättä kuitenkaan, mitä kaikkea lämpökuvauksella voidaan tutkia tai mitä sillä voidaan saada tulokseksi. Toisaalta tilaajien tietämättömyys voi aiheuttaa sen, että he eivät uskalla käyttää lämpökuvausta laadunvarmistuksen tutkimusmenetelmänä. Nämä seikat asettavat haasteita myös palveluntuottajille eli lämpökuvaajille.

Ohjeistusta rakennusten lämpökuvaajille ja kuvausten tilaajille on hyvin vähän saatavilla suomeksi. Tämä on johtanut siihen, että lämpökuvausta ei rakennusten uudis- ja peruskorjauksessa sekä ylläpidossa hyödynnetä niin tehokkaasti kuin olisi mahdollista. Tässä opinnäytetyössä haluttiin osaltaan selvittää ovatko alalla toimivat lämpökuvaajat ja kuvausten tilaajat tietoisia julkaistuista ohjeista, vai mihin heidän tiedot ja taidot lämpökuvauksen saralla perustuvat.

Kaikkien tilaajien tulisi olla tietoisia vuonna 2003 sosiaali- ja terveysministeriön julkaisemasta Asumisterveysohje 2003:sta, jossa määriteltiin asuinrakennusten sisäilmastolle asetettavia ohjeita (*Asumisterveysohje 2003, 12*). Asumisterveysohje korvasi vuonna 1997 voimaan tulleen sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeen (*Asumisterveysopas 2008, 3*). Asumisterveysohjeessa käsitellään asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olosuhteiden tutkimisessa käytettäviä mittausmenetelmiä, tulosten tulkintaa ja annetaan ohjeita asunnon tarkastuksen tekemiseen.

Rakennusten lämpökuvaukselle oli kuitenkin jo vuonna 1985 julkaistu Paloniityn ja Kauppisen mukaan lämpökuvauksen vaatimukset ja raportin sisällön määrittävä SFS-standardi 5132: Lämmöneristäminen ja rakennuksen termografia (*Paloniitty ja Kauppi-nen 2006, 7*). Vanhassa standardissa ei ollut käytännön kuvausohjeita tai tulosten tulkinnan määrittelyä.

Hämeen ammattikorkeakoulun opettaja Sauli Paloniitty ja VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkija Timo Kauppinen olivat keskeisinä henkilöinä kehittämässä vuonna 2005 julkaistua Rakennuksen lämpökuvauksen Ratu-ohjetiedostoa RT 1213-S (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 7*). Rakennuksen lämpökuvauksen ohjekortti on käytännössä kattavin ja ainut lämpökuvauksen ohjekortti, joka on suunnattu sekä kuvaajille että tilaajille.

Paloniitty ja Kauppinen kirjoittivat Ratu-kortin pohjalta myös rakennusten lämpökuvaukselle sekä kuvausten tilaajille suunnatun kirjan, joka antaa sekä kuvaajille että tilaajille perustiedot ja -taidot rakennuksen lämpökuvauksesta. Kirjaa käytetään rakennuksen lämpökuvauksen henkilösertifiointikoulutuksen oppimateriaalina (*Paloniitty ja Kauppinen, 2006, 7*).

2.2 Tutkimusmenetelmät

Työn suorittamiseksi käytettiin suunnitelmallista kyselytutkimusta eli survey-tutkimusta. Se oli suunnattu kuvaajille, tilaajille ja urakoitsijoille. Lisäksi havainnoitiin suoritettuja lämpökuvauksia ja kuvauskohteita. Yhtenä osa-alueena tutustuttiin myös aiemmin lämpökuvauksesta tehtyihin tutkimuksiin ja aineistoihin.

Kyselytutkimuksen aineisto kerättiin Internet-pohjaista tutkimuslomaketta käyttäen. Käytetty tutkimuslomakesovellus on VTS Kiinteistöpalvelu Oy:n kehittämä Kihla® - tutkimus- ja laadunhallintajärjestelmä, joka on osa VTS-kodeille räätälöityä Kihlanet® - kiinteistötietojärjestelmää.

2.3 Tutkimustavoite ja aiheen rajaus

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tilaajien, urakoitsijoiden, lämpökuvauksien, laitemyyjien ja lämpökuvauuskoulutusta järjestävien tahojen käsitystä lämpökuvauksen käyttömahdollisuuksista tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä Suomessa, ja mahdollisesti syitä siihen, miksi lämpökuvauksia ei ole vielä käytössä kaikissa uudis- ja peruskorjauskohteissa laadunvarmistusmenetelmänä.

Tutkimuksessa oli tarkoituksena selvittää myös vastaajien mielipiteitä siitä, miten hyvin he tuntevat lämpökuvauksesta laadittuja ohjeita ja millaista koulutusta, ja kenen toteut-

tamana, lämpökuvauksesta pitäisi järjestää. Tavoitteena oli myös selvittää, millaisten ongelmien tutkimisessa rakennusten lämpökuvausta käytetään tai toivotaan käytettävän. Tässä yhteydessä toivottiin löytyvän uusia vähemmän käytössä olevia, mutta luotettavaksi koettuja tutkimuskohteita, joissa lämpökameraa voidaan hyödyntää. Tavoitteena oli siis löytää mahdollisia uusia kiinteistöjen ylläpitoon liittyviä ongelmia, joiden ratkaisemisessa voidaan hyödyntää lämpökuvausta.

Löytämällä uusia lämpökameran hyödyntämistapoja saadaan lämpökuvauksille enemmän tunnettavuutta niiden käytön laajentuessa. Samalla lämpökuvaajat, kuten tämän opinnäytetyön toimeksiantaja, voivat saada uusia lämpökuvausta hyödyntäviä palvelutuotteita ilman merkittäviä lisäinvestointeja. Erityisesti sellaiset kuvauskohteet, joita voidaan tutkia myös kesäaikaan, ovat lämpökameran ympärivuotisen käytön mahdollistamiseksi enemmän kuin tervetulleita. Yleensä rakennusten lämpökuvaus ajoittuu riittävän sisä- ja ulkolämpötilan eron saamiseksi poikkeuksetta aina lämmityskaudelle.

3 Laatu rakentamisessa

3.1 Laatu

Käsitteenä laatu on Lillrankin mukaan ymmärrettävissä monella eri tavalla. Yksi vanhimmista, mutta edelleenkin toimivin näkökulma laatuun on tuotteen virheettömyys. Virheetön laatu ilmiönä kuvaa suunnitelman ja lopputuloksen välistä suhdetta. Tuote on siis virheetön, mikäli lopputulos vastaa suunniteltua (*Lillrank 1998, 29*).

Lämpökuvaajan tehtävänä laadunvarmistustyössä on verrata lämpökuvauksen avulla, onko tutkittava rakenneosaa tehty suunnitelmien sekä yleisten määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Yleiset määräykset ja ohjeet ovat kaikille samat, mutta koska suunnitelmat voivat kohdekohtaisesti muuttua, tulee lämpökuvaajan tuntea kuvauskohteessa tavoiteltu laatu. Tämä selviää parhaiten suunnitelma-asiapapereihin tutustumalla ja edellyttää kuvaajalta ehdottomasti myös riittävää rakennus- ja LVI-tekniikan osaamista.

Lämpökuvaajan tulee pohtia myös tilan sisäilmaston toimivuutta siinä käyttötarkoituksessa, mihin tila on suunniteltu. Tämä tarkoittaa sitä, että toisille tiloille asetetaan ohjeistuksia tiukempia ja vähäpätöisemmille tiloille kenties ohjeistuksia löysempiä tavoitearvoja. Tämä vaatii lämpökuvaajalta entistä kokonaisvaltaisempaa kiinteistön sisälunelämän tuntemista, rakentamisesta ylläpidon aikaiseen käyttöön.

Silénin mukaan rakennusalalla käsitys laadusta on kapea ja pitkälti sidoksissa standardeihin ja normeihin. Mikäli ne täyttyvät, myös laadun uskotaan olevan kunnossa. Laadun strateginen ajattelu on suuntautunut pääosin konkreettisen rakentamisen urakanormien täyttämiseen, viranomaisvalvontaan sopeutumiseen sekä tuotannollisen tehokkuuden lisäämiseen (*Silén 1998, 116-117*).

3.2 Laadunvarmistus

Rakentamisessa kaikkien tulisi varmistaa työn laadukkuus omalta osaltaan, aina rakennustyön suorittajasta tilaajaan. Teoriassa voidaan ajatella, että työn laatua ei tarvitsisi valvoa, jos kaikki osapuolet ymmärtäisivät mitä ovat tekemässä ja miten tekeminen vaikuttaa kokonaisuuteen, sekä ennen kaikkea tekisivät oman työnsä oikein ja huolellisesti. Mistä sitten kuitenkin johtuu, että laatuvirheitä syntyy lähes jokaisella rakennustyö-

maalla? Yleensä syynä lienee kiire, huolimattomuus ja osaamattomuus. Tämän vuoksi sekä tilaajan että työn suorittajan on tehtävä laadunvarmistustyötä.

Laadunvarmistus sisältää Kankaisen ja Junnoson mukaan kaikki järjestelmälliset ja suunnitellut toimenpiteet, jotka ovat tarpeen riittävän varmuuden saamiseksi siitä, että tuote täyttää asetetut laatuvaatimukset. Kankaisen ja Junnoson mukaan laadunvarmistukseen liittyy myös laaduntarkastus eli laadun mittaamista ja vertaamista sovittuihin tai asetettuihin vaatimuksiin (*Kankainen & Junnonen 2001, 36*).

Se millä tasolla laatua pitää kulloisellakin rakennustyömaalla valvoa, riippuu paljolti työn suorittajista, kohteen laatukriteereistä ja työn haastavuudesta. Monimuotoinen, erikoisia rakenneratkaisuja sisältävä suuri rakennus vaatii omakotitaloa enemmän laadunvarmistustoimia, jotta lopputulos vastaa laadunkin osalta mahdollisimman paljon suunniteltua lopputulosta.

3.3 Rakennusten rakenteiden ja sisäilmaston laatuvaatimukset

Rakennuksen lämpökuvia tulee tulkita paitsi rakenteiden myös sisäilmaston laatuvaatimukset huomioonottaen. Vaikka lämpökuvaaja yleensä tarkastelee ja kuvaa nimenomaan rakennuksen rakenteita (ulkoseinää, yläpohjaa, alapohjaa jne.), hänen tulee kuvausta tehdessään myös huomioida sisäilman laadun selkeät heikkenemiset ja tarvittaessa raportoida niistä. Tästä syystä lämpökuvaajien on hyvä tutustua lakien, säännösten ja yleisten ohjeiden sisäilmastolle asettamiin vaatimuksiin sekä kuvauskohteen sisäilmastolle, esimerkiksi suunnitelma-asiapapereissa, asetettuihin vaatimuksiin.

Sisäilmaston hyvän laatutason tärkeys nousee asuin- ja työskentelyrakennuksissa esiin sen vuoksi, että ihmisten tyytymättömyys rakennukseen johtuu usein juuri sisäilmasto-ongelmista. Huono sisäilmasto viittaa usein myös rakenteissa piileviin vaurioihin, joten poikkeamat sisäilmasto-olosuhteissa saattavat edesauttaa lämpökuvaajaa löytämään niihin syyn rakenteiden poikkeavasta rakennusfysikaalisesta toiminnasta, jonka korjaamalla myös sisäilmaston laatu poikkeamat korjaantuvat.

Hyvä sisäilmasto on yksi rakentamisen tärkeimpiä tavoitteita. Sisäilmaston lopulliseen laatuun vaikuttavat yhtä lailla lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, rakennustekniikka, tehtävät rakennustyöt ja käytetyt materiaalit sekä rakennuksen käyttö ja kun-

nossapito. Hyvä sisäilmasto edellyttää esitettyjen asioiden huomioonottamista suunnittelun, rakentamisen ja käytön kaikissa vaiheissa (*Rakennustietosäätiö RTS 2009, 2*).

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto (*Rakennustietosäätiö RTS 2003b, 3*).

3.3.1 Lainsäädäntö

Terveydensuojelulain (763/94) 26 §:n mukaan:

Asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa.

Ammattitaitoisen lämpökuvaajan, urakoitsijan ja tilaajan tulee tuntea edes pääpiirteittäin rakennusalalla vaikuttava lainsäädäntö ja sen asettamat vaatimukset sekä rajoitteet. Lainsäädännössä rakentamisesta ja rakennusten ylläpidosta määrätyt asiat on esitetty yleensä hyvin yleisellä tasolla, ja niitä on täydennetty erilaisilla ohjeilla ja määräyksillä. Rakennustyön ja rakennusten ylläpidon osapuolien tulee tutustua myös niihin sekä muihin alalla yleisesti käytössä oleviin menetelmiin.

Osaava ammattilainen suhtautuu määräyksiin ja ohjeisiin myös rakentavalla tavalla kriittisesti. On syytä pohtia, toimiiko rakenne tai tila määräysten ja ohjeiden mukaan toteutettuna siten, ettei sen rakennusfysikaalinen toiminta tai tilan sisäilmasto häiriinny missään yleisissä olosuhteissa. Voihan nimittäin olla niin, että tutkittava rakenne ei yksinkertaisesti sovellu kyseisen tilan käyttötarkoitukseen tai Suomen ilmasto-olosuhteisiin.

Asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olojen valvonta kuuluu kunnan terveydensuojeluviranomaisten tehtäviin. Asunnontarkastuksessa noudatetaan terveydensuojelulainsäädännön lisäksi hallinnon yleisiä menettelytapoja koskevaa lainsäädäntöä, kuten hallintolakia (434/2003). Jos terveydensuojeluviranomainen joutuu tehostamaan

antamaansa kieltoa tai määräystä (TsL 53 §), sovelletaan menettelyyn uhkasakkolain (1113/90) säännöksiä (*Asumisterveysopas 2008, 9*).

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) sekä sitä täydentävä Maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999) sisältävät säännöksiä muun muassa kaavoituksesta, kuntien rakennusjärjestyksestä, ranta-alueiden suunnittelusta ja rakentamisesta, tonttijaosta, yhdyskuntarakentamiseen liittyvästä lunastamisesta, rakentamiselle asetettavista yleisistä vaatimuksista sekä rakentamisen luvista ja muusta rakentamisen valvonnasta (*Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu, www.ymparisto.fi*).

Maankäyttö- ja rakennuslain 20 luvun 149 §:a sanotaan rakennustyön suorittamisesta ja valvonnasta, että rakennustyö on suoritettava siten, että se täyttää tämän lain ja sen nojalla annettujen säännösten määräysten sekä hyvän rakennustavan vaatimukset (*Maankäyttö- ja rakennuslaki. www.finlex.fi, 149 §*).

3.3.2 Rakentamismääräyskokoelma

Rakentamismääräyskokoelman säädökset antavat rakentamista ja asumista säätelevien lakien lisäksi rakennusten sisäilmastolle tietyt olosuhdevaatimukset, jotka toimivat tilaajan, urakoitsijan ja lämpökuvaajan suuntaviivoina rakennuksen laadukkuutta ja toiminnallisuutta arvioitaessa. Niitä on käsitelty tarkemmin kohdassa: 5 Kuvauksen oheismittaukset ja olosuhdevaatimukset. Kannattaa kuitenkin muistaa, että kuvaustuloksia tulee verrata tutkittavan kohteen rakentamisaikana voimassa olleisiin, eikä kuvaushetkellä voimassa oleviin rakentamismääräyksiin ja -säädöksiin.

Asumisterveysoppaassakin mainitaan, että Maankäyttö- ja rakennuslakia (132/1999) täydentävässä rakentamismääräyskokoelmassa on rakentamista koskevia sitovia määräyksiä, jotka ovat velvoittavia sekä ohjeita, jotka eivät ole velvoittavia (*Asumisterveysopas 2008, 9*). Maankäyttö- ja rakennuslaissa sanotaan, että Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat uuden rakennuksen rakentamista. Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä määräyksiä sovelletaan, jollei määräyksissä nimenomaisesti määrätä toisin, vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa edellyttävät (*Maankäyttö- ja rakennuslaki. www.finlex.fi, 13 §*).

Lämpökuvausten tulkinta perustuu säädöksiin (ympäristöministeriö: Rakentamismääräyskokoelman osat C3, C4, D2, D3), jotka antavat rakenteille toiminnalliset vaatimukset (*Paloniitty ja Kauppinen 2006, 8*).

3.3.3 Asumisterveysohje

Asumisterveysohje on tärkeä työkalu kaikille rakennusten parissa toimiville. Siinä on esitetty kattavasti ohjearvoja sekä mittausmenetelmiä rakennusten fysikaalisiin (lämpötila, veto, kosteus, ilmanvaihto, radon ja melu) ja kemiallisiin (mm. asbesti, formaldehydi, hiilidioksidi, tupakansavu) oloihin sekä mikrobimääriin. Asumisterveysohjeessa mainitut lämpötilaolojen ohjearvot ovat lämpökuvaajalle keskeinen työkalu, erityisesti lämpökuvien tulkitsemis- ja raportointivaiheessa sekä rakennusosien korjaustarvetta ja sen kiireellisyyttä määriteltäessä.

Sosiaali- ja terveysministeriö antoi terveydensuojelulain (736/94) 32 §:n nojalla vuoden 2002 loppuun saakka asunnon ja muun sisätilan sisäilmasta terveydellisiin perusteisiin tarkempia määräyksiä ja ohjeita. Asuntojen terveydellisiä oloja koskeva tarkempi ohje ”Asumisterveysohje” julkaistiin 31.12.2002, ja se tuli voimaan 1.5.2003. (*Asumisterveysopas 2008, 10*). Asumisterveysohje ja Asumisterveysopas määrittävät pintalämpötilojen ohjeelliset arvot. Lisäksi voidaan käyttää Rakennustietosäätiön (RT) LVI-ohjekorttia LVI 05-10235, jossa määritetään tilojen lämpöoloja (*Paloniitty ja Kauppinen 2006, 7*).

3.3.4 Suunnitteluohjeet

Suunnitteluohje on yleisin suunnittelun lähtötietoasiakirja. Mikäli sisäilmaston tavoitteet kirjataan jo siihen, ne tulevat varmemmin huomioituiksi itse suunnittelussa ja suunnitelmien pohjalta tehtävissä urakka-asiapapereissa. Suunnitteluohjeen laatii yleensä tilaaja, ja suunnittelijoiden tulisikin huomioida suunnitelmia laatiessaan tilaajan asettamat tavoitteet.

Sisäilmasuunnittelu alkaa sisäilmaston tavoitteiden asettamisesta. Se on tehtävä kiinteässä yhteistyössä kaikkien suunnittelijoiden ja rakennuttajan kanssa. Tavoitteiden asettelu tehdään hankesuunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa tilakohtaiset sisäilmaston tavoitteet kirjataan suunnittelun lähtötietoasiakirjoihin (Rakennustietosäätiö RTS 1995, 2).

4 Lämpökamera

4.1 Yleistä

Videokameran näköisen lämpökameran erikoislinssi ja lämpökuvaa näyttävä näyttöruutu paljastavat kameras lämpökameraksi. Lämpökamerassa on myös paikka akulle ja muistikortille, kuten videokamerassakin. Tekniikka kameras sisällä poikkeaa kuitenkin merkittävästi tavallisesta videokameratekniikasta.

Kuten Holst yksinkertaisesti ilmaisee, lämpökamera luo sähköisen kuvan sillä kuvattavasta näkymästä. Kuva on muunnettu väreiksi, joista yleensä punainen ilmaisee lämpimiä alueita ja sininen kylmiä. Kameras sisältämä tekniikka kuitenkin poikkeaa merkittävästi videokameras tekniikasta (*Holst 2000, 8-9*).

Jokainen yli $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa oleva kohde lähettää lämpösäteilyä, jota ei voi havaita paljain silmin. Säteily kuitenkin näkyy lämpökamerassa. Kameralla voi kuvata kohteiden lähettämän lämmön määrää. Lämpökuvat koostuvat värikartasta, joka ilmaisee kohteiden pintalämpötiloja. Lämpökamera on korvaamaton apu monilla aloilla, koska sen avulla voidaan havaita poikkeuksellisen kuumia tai kylmiä alueita tai komponentteja (*Flir Systems 2008*).



Kuvio 1: Lämpökamera (*Flir Systems Inc, www.flir.com*)

4.2 Lämpökameras historia

Kuten monien tutkimuslaitteiden myös lämpökameras kehitystyötä on edesauttanut sen käyttö sotilaskäytössä. Lämpökuvauksista on käytetty myös lääketieteessä, teollisuuden laadunvarmistuksessa sekä avaruus- ja lentokone-teollisuudessa.

Lämpökuvaustekniikka perustuu Holstin mukaan ilmiöön, joka havaittiin lähes 200 vuotta sitten. 1800-luvulla William Herschel löysi infrapunasaäteet. Myöhemmin 1840-luvulla John Herschel valmisti ensimmäisen infrapunakuva käyttäen evaporografiaksi kutsuttua menetelmää. Näkyvä kuva valmistui haihduttamalla alkoholia hiilipäälysteiseltä pinnalta. Näin syntyi ensimmäinen lämpökuva. Tämän jälkeen kesti 89 vuotta eli vuoteen 1929, kunnes Czerny tarjosi parannetun kuvanvalmistustavan (*Holst 2000, 15*).

Snellin ja Springin mukaan lämpökuvausta on käytetty 60-luvun puolivälistä asti rakennusten ongelmien ratkaisussa. Kun öljyn hinta nousi dramaattisesti 70-luvun lopussa, kiinnostus energiatehokkaampiin rakennusratkaisuihin lisääntyi. Energiansäästön kiinnostuksen lisääntyessä lämpökuvaus omaksuttiin laajasti työkaluna, jolla voitiin määrittellä rakennuksen energiatehokkuutta (*Snell & Spring 2002, 2*).

4.3 Lämpökameran toimintaperiaate

4.3.1 Infrapunasaäteily

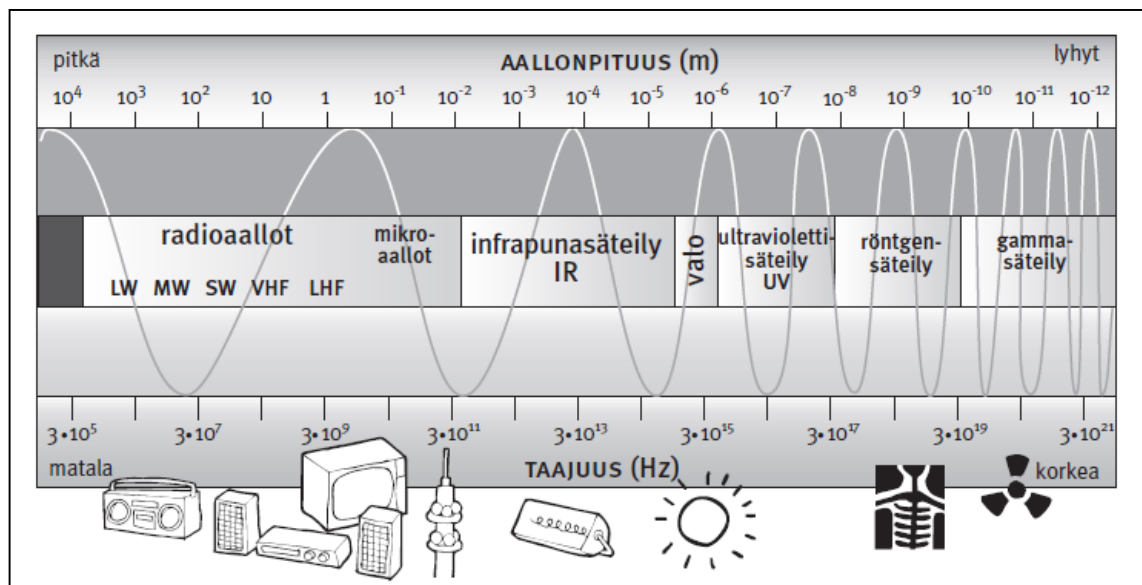
Kaplanin mukaan kaikki kappaleet, joiden lämpötila on yli absoluuttisen nolapisteen (0 K tai $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), säteilevät energiaa infrapunasaäteillä. Mitä kuumempi kappale on, sitä enemmän se säteilee energiaa. Kun kappale on tarpeeksi kuuma, se säteilee tai ”hehkuu” myös spektrin näkyvän valon alueella. Kun kappale jäähtyy, ei enää voida havaita kappaleen säteilemää energiaa, koska kappale lakkaa hehkumasta. Infrapunamittalaitteet on kehitetty havainnoimaan infrapunavalon alueella näkyvää säteilyä, jonka määrä riippuu kappaleen pinnan lämpötilasta. Näkyvän valon alue on $0,4\text{ }\mu\text{m}$:n aallonpituudesta, violetista valosta, aina $0,75\text{ }\mu\text{m}$:n aallonpituuden punaiseen valoon. Infrapunavalon alue ulottuu $0,75\text{ }\mu\text{m}$:n aallonpituudesta noin $20\text{ }\mu\text{m}$:n aallonpituuteen (*Kaplan 2007, 16*).

Infrapunasaäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on suurempi kuin näkyvän valon, mutta pienempi kuin mikroaaltojen. Infrapunasaäteilyn aallonpituus on siis väliltä 700 nm – 1 mm . Infrapunasaäteilyä kutsutaan myös lämpösaäteilyksi, koska kappaleet säteilevät infrapuna-alueella sitä voimakkaammin, mitä lämpimämpiä ne ovat (*Wikipedia, <http://fi.wikipedia.org>*).

Kuten Snell ja Spring kertovat, kaikki pinnat säteilevät näkymätöntä lämpöenergiaa. Voidaan tuntea lämpöenergian säteilevän auringosta tai esimerkiksi kuumasta uunista.

Lämpökamerat ovat erityisesti lämpösäteilyn aistimiseen suunniteltuja elektronisia laitteita. Ne muuntavat lämpösäteilyn lämpökuviksi tai lämpöprofiileiksi, jotka näyttävät visuaalisesti pinnan lämpötilaerot jopa $0,05\text{ °C}$ tarkkuudella (*Snell & Spring 2002, 2*).

Seuraavassa kuvassa on esitetty sähkömagneettinen spektri ja sen aallonpituudet lyhimmistä eli gammasäteilystä pisimpään eli radioaaltoihin. Kuvasta nähdään, että infrapunasäteilyllä on pidempi aallonpituus kuin valolla. Sähkömagneettisesta spektristä vain hyvin suppea aallonpituusalue on silmin havaittavaa valoa.



Kuvio 2: Sähkömagneettinen spektri (*Taloudellinen tiedotustoimisto, www.tat.fi*).

4.3.2 Lämmön siirtyminen

Lämpö siirtyy johtumalla, konvektiolla ja säteilemällä. Jokainen prosessi on erilainen, mutta lopputulos on sama: lämpö siirtyy aina kuumemmasta kohteesta viileämpään kohteeseen (*Holst 2000, 27*).

Johtuminen

Johtumisprosessi on Holstin kuvailemana suoraviivainen. Lämmönlähde kiihottaa suoraan atomeja, lisäämällä niiden sisäistä värähtelyä. Nämä atomit törmäävät viereisiin atomeihin ja siirtävät osan energiastaan niille, jotka puolestaan törmäävät viereisiin atomeihinsa ja siirtävät taas energiaa niille. Se kuinka nopeasti johtuminen etenee, riippuu materiaalin lämmönjohtokyvystä (*Holst 2000, 29*).

Konvektio

Konvektiossa lämpö siirtyy nesteen (esim. ilma tai vesi) liikkussa paikasta toiseen. Esimerkiksi johtuminen lämmittää ilmaa lämpimän esineen läheisyydessä. Koska lämpimällä ilmalla on matalampi tiheys, se nousee ylös. Lämmennyt ilma korvautuu viileämmällä ilmalla. Tämä aiheuttaa jatkuvat liikkeen, kunnes lämmin esine saavuttaa tasapainotilan ympäristönsä kanssa (*Holst 2000, 32*).

Säteily

Kaikki kappaleet säteilevät lämpöä. Lämmön määrä riippuu kappaleen lämpötilasta ja pinnan laadusta. Jos kappaleen lämpötilaa nostetaan, teoreettinen energian maksimisäteily määrä kasvaa myös. Säteilemällä tapahtuva lämmön siirtyminen etenee aina valonnopeudella, kun taas johtumalla ja konvektiolla nopeus riippuu materiaalista. Säteilystä esiintyy myös tyhjiössä, jossa taas johtumista tai konvektiota ei voi esiintyä (*Holst 2000, 34*).

4.3.3 *Tietojen tallennus*

Rakennusten lämpökuvaukseen käytettävissä nykyaikaisissa lämpökameroissa tiedot tallennetaan samoille muistikorteille, joita digitaalikameroissa käytetään. Kuvat tallentuvat joko kameravalmistajan omassa tiedostomuodossa tai yleisesti käytössä olevassa jpeg -muodossa, joita voi katsella tavallisella kuvankäsittelyohjelmalla. Erillisellä raportointiohjelmalla kuvasta saadaan enemmän tietoa irti ja mm. sen väriasteikkoa voidaan muuttaa jälkikäteen.

Useimpiin kameroihin voidaan myös liittää ulkoinen tallennin, joka mahdollistaa koko lämpökuvauksen tallentamisen videokuvana. Tällaisessa tallennuksessa huonona puoleena on se, että mikäli käytetään automaattisesti skaalautuvaa lämpötila-asteikkoa, se vaatii tarkkuutta tallennetta katsottaessa. Myös kaikki kameran muut toiminnot (valikoissa siirtyminen ja kuvien tallennus) tallentuvat nauhoitteelle.

4.3.4 *Lämpöprofiilit*

Lämpöprofiili tarkoittaa sitä, millainen väriskaala lämpökameralla tarkasteltuna eri rakennusosilla on. Oikeissa olosuhteissa useimmista rakennuksista niille luonteenomaiset lämpöprofiilit, joita ammattitaitoinen henkilö osaa tulkita (*Snell & Spring 2002, 2*).

Koska lämpökamerat ovat aika helppokäyttöisiä, lämpökuvaaminen voi vaikuttaa helpolta. Kuitenkin paljon vaikeampaa onkin sitten kuvien tulkitseminen ja nimenomaan erilaisten lämpöprofiilien syiden ymmärtäminen ja niihin ratkaisun löytäminen. Onnistuneen lämpökuvauksen suorittamisen avain on ymmärtää, millaiset lämpöprofiilit liittyvät eri ongelmatapauksiin ja ymmärtää myös miten ne saadaan näkyviin lämpökuvissa.

4.3.5 Skanneritekniikka lämpökamerassa

Lämpökameroissa skanneritekniikka on ollut markkinoilla vuosina 1958-1995, jolloin lämpökameroita valmistettiin lähinnä sotateknologian tarpeisiin. Skanneri- eli pyyhkäisytekniikassa kuva-alueen kuvapisteiden lähettämä infrapunasäteily mitataan yhden ilmaisimen eli detektorin avulla, jolloin kuvattava alue käydään läpi piste pisteeltä (*Paloniitty & Kauppinen 2006, 16*).

Skanneritekniikkaa käyttävien lämpökameroiden ehdoton heikkous oli niiden jäähdytys-tarve, joka johtuu siitä, että kameroiden ilmaisimet toimivat vain tietyssä lämpötilassa. 1990-luvun alussa kehitettiin ensimmäinen kannettava stabiili ilmaisimatriisikamera, mutta sekin vaati edelleen jäähdytystä. Skanneritekniikalla toimivista lämpökameroista siirryttiin tekniikan kehittyessä matriisi-ilmaisintekniikalla toimiviin kameroihin (*Kaplan 2007, 6*).

4.3.6 Matriisi-ilmaisimien lämpökamerassa

Skanneritekniikan jälkeen 1990-luvun puolivälissä yleistyivät matriisi-ilmaisimella varustetut lämpökamerat. Matriisi-ilmaisimet ovat nykyään pääosin jäähdyttämättömiä ja niiden kyky tasapainottaa on myös parantunut (*Paloniitty & Kauppinen 2006, 16*).

Nykyään rakennusten lämpökuvauksessa käytettävät lämpökamerat ovat poikkeuksetta matriisi-ilmaisimilämpökameroita. Kuvaamisen kannalta oleellista on, että lämpökameran kuvausnopeus on hyvä ja ettei kameran paino ole liian suuri. Matriisi-ilmaisintekniikan kehittyminen on edesauttanut kameran koon ja painon pienentymistä, mikä tekee kuvaamisolosuhteet mukavammiksi.

4.3.7 *Kalibrointi*

Lämpökameran kalibrointi kannattaa ajoittaa kesäaikaan, jolloin rakennusten lämpökuvauksia on yleensä olosuhteista johtuen vähemmän. Lämpökamerat, kuten monet muutkin mittalaitteet, kalibroidaan siksi, että ne voivat aikaa myöden ryhtyä mittaamaan väärin, jolloin tulosten virheellinen tulkinta saattaa kasvaa. Tämä on vaarana erityisesti silloin, jos kameraa käytetään paljon vaihtelevissa käyttölämpötiloissa.

Kalibroinnissa mittalaitteen tulosta verrataan referenssiarvoon ja laitetta säädetään näyttämään samaa arvoa kuin referenssi tai laitteelle lasketaan korjaustermi, jolla sen lukemat pitää korjata. Kalibroinnissa myös lasketaan kalibroinnin virherajat eli mittausepävarmuus (*Ympäristö ja terveys -lehti 4:2009, 10*).

Asumisterveysohjeen mukaan mittalaitteiden tulee olla kalibroituja ja kalibroinnin tulee olla voimassa. Mittauksista tehtävään mittauspöytäkirjaan on merkittävä kalibroitavan mittalaitteen tyyppi- ja kalibrointitiedot (*Asumisterveysopas 2009, 41*). Lämpökameran kalibrointi on Rakennuksen lämpökuvauksen Ratu-ohjekortin mukaan tehtävä vähintään kahden vuoden välein valmistajalla, maahantuojalla tai siihen valtuutetulla laitoksella (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 3*).

4.3.8 *Emissiivisyys*

Kuten aiemmin todettiin, jokainen yli -273 °C:n lämpötilassa oleva kappale lähettää lämpösäteilyä. Täydellistä mustakappaletta lukuun ottamatta kaikki kappaleet myös heijastavat muista kappaleista ja säteilylähteistä tulevaa lämpösäteilyä. Kappaleen pinnan ominaisuuksista johtuu, kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä säteilystä on itse kappaleen emittoimaa säteilyä ja kuinka paljon lämpösäteilyä on heijastunut muualta.

Materiaalin emissiokerroin voi olla 0-1. Luku tarkoittaa pinnan kykyä säteillä infrapunaenergiaa suhteessa täydelliseen säteilijään eli mustakappaleeseen, jonka emissiokerroin on 1. Kun emissiokerroin on alhainen (0-0,5), pinta on kiiltävä ja heijastava. Tällöin suurin osa pinnasta lähtevästä lämpösäteilystä voi olla ulkopuolisten lämmönlähteiden ja pintojen heijastuksia. Tällaisen pinnan todellinen lämpötila on vaikeaa mitata lämpökameralla, joskus jopa mahdotonta (*Paloniitty & Kauppinen 2006, 16*).

Materiaalin emissiivisyyttä käytetään myös hyödyksi rakennuksissa. Esimerkiksi saunan seinät ja katto peitetään kauttaaltaan lämpösäteilyä hyvin heijastavalla alumiinipaperilla, jotta saunatilaan tuotettu lämpö ei karkaisi säteilemällä ympäröiviin rakenteisiin. Myös ikkunalasit ja muut kiiltävät ja tasaiset pinnat heijastavat hyvin lämpösäteilyä. Tämä kannattaa huomioida esim. laattalattioita, kaakeliseiniä, ikkunoita, alumiinisia ilmastointiputkia, lasisia ja muita kiiltäviä julkisivuja sekä kiiltäviä kattoja (peltikatot) kuvattaessa. Usein lämpökuvaaja huomaa hyvin heijastavan pinnan siten, että lämpökuvaan piirtyy hänen oma kuvansa, sillä kuvaajan lähettämä lämpösäteily heijastuu tällöin kuvattavasta pinnasta.

Pinnan emissiivisyys muuttuu kuvauskulman muuttuessa. Kun kohdetta kuvataan tarpeeksi vinosta kulmasta, laskee sellaisenkin materiaalin emissiivisyys, jonka emissioeroin on korkea. Samalla kohteen pintalämpötila laskee näennäisesti (*Paloniitty & Kauppinen 2006, 18.*) Tämän voi helposti havaita esimerkiksi kuvaamalla lämpöpatterilla varustetun huoneen lattiaa liian jyrkässä kulmassa. Lämpöpatterin kuvio piirtyy lattian lämpökuvaan, ikään kuin patteri olisi asennettu lattialle lappeelleen. Lattioita kuvattaessa kuvaajan onkin syytä muistaa kuvauskulman vaikutus kuvaustulokseen ja yrittää kuvata lattiaa mahdollisimman kohtisuoraan ylhäältäpäin.

4.3.9 Lämpökameran mittatarkkuus

Lämpökameran valmistajat ilmoittavat kameroilleen jonkin, usein hyvinkin tarkan, mittatarkkuuden. Kuitenkin pintojen erilaisesta emissiivisyydestä johtuen, todellinen mittatarkkuus on huonompi.

Ratu-ohjekortin mukaan lämpökameran mittatarkkuus on olosuhteista riippumatta noin ± 2 °C, ja sisälämpötiloissa (+ 20 °C) käytännössä noin ± 1 °C. Lämpökuvaajan tulisi aina ennen jokaista mittauspäivää tehdä vertailumittaus kosketuspintalämpötila-anturilla tai pinnasta, jonka emissiivisyys voidaan määrittää $\pm 0,05$:n tarkkuudella ja lämpötila voidaan määrittää asteen tarkkuudella (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 3*).

Kuten jo aiemmin kerrottiin, lämpökuvauksen mittatarkkuuteen vaikuttaa oleellisesti myös kuvauskulma. Pentti Urho on opinnäytetyössään tutkinut kamera-asetusten merkitystä tuloksiin.

Urhon tutkimuksen mukaan, kun kuvauskulma on alle 30°, mittatarkkuus on jopa alle 1 °C. Kun kuvauskulma on tätä jyrkempi, mittausvirhe voi olla jopa yli 2 °C. Rakennusta ulkoapäin kuvattaessa on kuvauskulma hyvä pitää alle 30 °:ssa, koska avaruudesta ja mahdollisesti muista taustan tekijöistä aiheutuva heijastus muuttaa mittaustulosta. Eri-tyisesti korkeiden rakennusten ylimpiin kerroksiin vaikuttaa avaruuden taustalämpötila (*Paloniitty & Kauppinen 2006, 20*)¹.

4.4 Lämpökameran soveltuvuus rakennusten kuvaamiseen

Lämpökameran toiminnallisista ominaisuuksista yksi tärkeimmistä on kuvan tallennus- ja käsittelymahdollisuus. Kuvaajan työtä saattavat helpottaa myös erilliset raportointiohjelmat, joihin voidaan luoda valmiita raporttipohjia eri käyttötarkoituksia varten. Lämpökameran käyttäjälle on myös ensiarvoisen tärkeää, että käytettävä kamera on helppo-käyttöinen niin asetuksia määriteltäessä kuin itse kuvattaessa. Mitä enemmän kamerassa on erilaisia säätömahdollisuuksia, jollaisia ovat esimerkiksi kuvauskohteen minimi- tai maksimilämpötilan näyttö, sitä monipuolisemmin se soveltuu myös rakennusten lämpökuvaukseen.

Joihinkin lämpökameroihin on saatavilla erillisiä lisäobjektiveja, joilla lämpökuvauks-
aluetta voidaan kasvattaa. Esimerkiksi ns. laajakulmaobjektiivit voivat olla käytännöllisiä rakennusten julkisivuja kuvattaessa. Laajakulmaobjektiivit ovat käteviä myös sisäkuvauksessa, jolloin huonetilan ulkoseinä saadaan yleensä kuvattua yhdellä kuvalla. Kamerasta riippuen, lisäobjektiivit voivat lisätä kameralle jonkin verran.

Lämpökameran on hyvä olla myös riittävän pienikokoinen, nopea ja kevyt, jotta sen kanssa jaksaa vaivatta työskennellä useita tunteja. Liian painava tai hidas lämpökamera saattaa johtaa siihen, että kuvaaja alkaa kiirehtiä voimiensa ehtyessä tai turhautuessaan kameralle hitauteen. Kameralle hitaus saa aikaan sen, että aikataulun vuoksi kuvataan vain toisistaan poikkeavat viat, ja näin ollen kaikista vikakohdista ei ole dokumentaatiota. Onneksi nykyään markkinoilla on jo useita rakennusten lämpökuvaukseen hyvin soveltuvia lämpökameroita.

Kaikki markkinoilla olevat lämpökamerat eivät suinkaan sovellu kiinteistöjen lämpökuvaukseen. Yksi merkittävä asia lämpökameraa valitessa on kuvattavan kohteen lämpöteilyn aallonpituus.

¹Alkuperäinen lähde: Urho, Pentti: Lämpökameran tulosten luotettavuus kiinteistönkuvauksessa. AMK insinööri-työ, opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma

Markkinoilla on 3-5 µm:n lyhytaaltokameroita ja 8-14 µm:n pitkäaaltokameroita. Rakennusten lämpökuvauksissa käytetään pitkäaaltokameraa.

Lämpökameran tarkkuus eli mittapisteiden lukumäärä on hyvä myös tarkistaa ennen kameran hankintaa. Mittapisteiden lukumäärä vaikuttaa myös kuvan tarkkuuteen ja rakeisuuteen. Nykyään edullisimmissakin lämpökameroissa on riittävä määrä mittapisteitä, joilla voidaan havaita tutkittavan kohteen lämpötilaerot hyvin.

Kuvaaja voi helpottaa työtään asettelemalla lämpökameraan ns. isotermejä. Tällöin tietyn lämpötilan alittavat kohteet näkyvät lämpökuvassa esimerkiksi sinisellä. Isotermeillä voidaan esimerkiksi näyttää asumisterveysohjeen välttävän tason alittavat rakennusosat. Kuvaajan työtä helpottaa myös mahdollisuus tuoda lämpökuvia valmiisiin raporttipohjiin. Raporteista tulee visuaalisesti miellyttävämpiä, jos lämpökameralla saadaan kuvauskohteesta myös valokuva, joka voidaan liittää raporttiin lämpökuvan yhteyteen.

Rakennuksen lämpökuvauksen Ratu-ohjekortin mukaan rakennusten lämpökuvauksessa käytettävän lämpökameran tulee olla mittaava ja tasapainotettu sekä kuvantava mittalaitte. Tämä tarkoittaa sitä, että kamera muodostaa kuvattavasta kohteesta lämpökuvan, joka esittää kohteen pintalämpötilajakauman. Tasapainotus tarkoittaa sitä, että kameran rungon ja ulkoisten olosuhteiden aiheuttamat lämpötilavaihtelut (esimerkiksi kuvaajan lämmin käsi) eivät vaikuta itse mittaustulokseen (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 30*).

5 Kuvauksen oheismittaukset ja olosuhdevaatimukset

5.1 Painesuhteet

Rakennusten lämpökuvaukseen edellyttää lähes aina painesuhteiden tutkimista, jotta kuvaustuloksia voidaan tulkita oikein. Painesuhteet ovat erityisen tärkeitä silloin, kun halutaan tutkia rakennuksen vaipan mahdollisia ilmavuotoja. Ilmavuodot paikallistetaan lämpökameralla helpoiten alipaineen puolelta kuvattaessa, jolloin ilmavuodot näkyvät lämpökamerassa ympäröiviä rakenteita viileämpinä. Rakennukset ovat normaalisti alipaineisia, ja tällöin ilmavuodossa kylmä ilma virtaa ulkoa epätiiviyskohdasta huonetilaan.

Paine-eroa voidaan tehostaa lämpökuvauksen yhteydessä esimerkiksi lisäämällä kuvattavan tilan alipainetta rakennuksen omilla poistoilmapuhaltimilla tai erillisellä ovi- tai ikkuna-aukkoon asennettavalla alipainepuhaltimella, joka imee tilaan halutun alipaineen.

Rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden ilmatiiviys vaikuttavat rakennuksen ilmavirtauksiin. Ilma virtaa korkeammasta paineesta matalamman paineen suuntaan eli ylipaineesta alipaineeseen (*Sisäilmayhdistys, www.sisailmayhdistys.fi*). Rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon määräys ja ohjekortin D2:n mukaan rakennuksen, sen huoneitilojen ja ilmanvaihtojärjestelmän paineet on suunniteltava siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista sellaisiin tiloihin, joissa syntyy runsaammin epäpuhtauksia. Paineet eivät saa aiheuttaa rakenteisiin pitkäaikaista kosteusrasitusta (*Rakennustietosäätiö RTS 2003b, 14*).

Rakennuksen ja rakenteiden kosteus- ja lämpötekniseen toimintaan vaikuttavat Siikasen mukaan lämmön ja kosteuden ohella myös rakennuksessa esiintyvät ilmanpaineet ja niiden vaihtelut. Ilmanpaineen vaihteluita ja ilman kiertoliikettä esiintyy myös seinien sisällä ja mm. ullakkotiloissa ja ikkunalasien välissä (*Siikainen 1996, 31*).

Määräysten mukaan rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei kuitenkaan saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pascalia (*Rakennustietosäätiö RTS 2003b, 14*).

Rakennuksessa ja rakenteissa vallitsevilla ilmanpainesuhteilla on rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan kannalta merkitystä pääasiassa kylmänä vuodenaikana, jol-

loin ilman lämpötila- ja kosteuspitoisuuserot ovat sisä- ja ulkoilman välillä suuret. Keskäaikana paine-erolla saattaa olla merkitystä lähinnä hyvin kosteissa huonetiloissa tai korkeissa rakennuksissa (*Siikanen 1996, 31*).

5.1.1 Alipaine

Kun rakennuksessa on alipaine, ilma virtaa alipaineen vaikutuksesta rakenteiden ja hallittujen korvausilmareittien, esimerkiksi korvausilmaventtiilien, kautta huonetilaan.

Rakennuksen lämpökuvauksen Ratu-ohjekortissa sanotaan, että kuvattavan rakennuksen sisätiloissa tulee olla lievä alipaine ulkoilmaan verrattuna. Ratu-ohjekortin mukaan 0-15 Pascalia alipainetta on normaalia, mutta käytännössä alipainetta tulee normaalitilanteessa olla 1-20 Pascalia, jotta ilmavuotoja voidaan havaita lämpökameralla (*Rakennusteollisuus RT ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 3*).

Tulo-/poistoilmanvaihdolla varustetuissa tiloissa, joissa tuloilma johdetaan koneellisesti tilaan, alipaine on normaalissa käyttötilanteessa yleensä vähäistä, eli 1-5 Pascalia alipainetta. Poistoilmanvaihtoa voidaan lämpökuvauksen ajaksi tehostaa, jotta saavutetaan suurempi alipaine, mutta tällöin lämpökuvauksessa havaitut vikakohtat tulisi kuvata myös normaalissa käytönaikaisessa tilassa, eli ilman poistoilmanvaihdon tehostusta.

Lämmityskaudella rakenteiden läpi sisälle virtaava kylmä, vähän kosteutta sisältävä ulkoilma lämpenee. Lämmitessään ilman suhteellinen kosteus pienenee, joten sisään virratessaan ilma pystyy sitomaan itseensä rakenteista kosteutta ja siten kuivattamaan niitä (*Siikanen 1996, 34*).

Ellei alipainetta ole riittävästi, asia on periaatteessa mahdollista korjata ennen lämpökuvauksista. Tähän voidaan Kihlin mukaan käyttää vaikkapa apupuhallinta, jolla huoneistoon saadaan alipaine. Tosin tällainen tilanne tulee yleensä vastaan lähinnä vain vanhoissa rintamamiestaloissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto ja pitkät savupiippuhormit. Sellaisen talon kellareissa on alipainetta, mutta ylin asuinkerros saattaakin olla ylipaineinen. Silloin sinne voidaan sijoittaa puhallin, jotta paine-ero ulkoilmaan nähden saadaan aikaan (*Ympäristö ja terveys -lehti 7-8:2007, 77-78*).

5.1.2 *Ylipaine*

Kun rakennuksessa on ylipaine, ilma virtaa ylipaineen vaikutuksesta rakenteiden ja ilmanvaihtoventtiilien läpi huonetilasta ulos.

Eristevikojen etsimisen kannalta ei ole kovin oleellista kuvataanko rakenne ali- vai ylipaineen puolelta, koska eristeasiat näkyvät pääsääntöisesti myös ylipaineen puolelta kuvattaessa. Mutta koska rakenteista etsitään usein eristevikojen lisäksi myös ilmavuotoja, tulee lämpökuvaajan selvittää rakennuksessa vallitsevat painesuhteet, ettei vain alipaineen puolella näkyviä ilmavuotoja kuvata epähuomiossa ylipaineen puolelta, jolloin ne jäävät havaitsematta.

Huonetilassa oleva ylipaine asettaa Siikasen mukaan rajoittavien seinämien (myös alaja yläpohjien) kosteustekniselle toiminnalle ja tiiviydelle hyvin suuria vaatimuksia, jotta välttyttäisiin kosteusvaurioilta. Pienistäkin rei'istä ja raoista pääsee sisätilassa vallitsevan ylipaineen vaikutuksesta virtaamaan suuria ilmamääriä sisältä ulospäin. Lämpimään sisäilmaan sitoutunutta kosteutta kulkeutuu rakenteisiin, missä se saattaa tiivistyä vedeksi, koska kylmään ulkoilmaan mahtuu kosteutta vähemmän kuin lämpimään sisäilmaan (*Siikanen 1996, 34-35*).

5.1.3 *Savupiippuvaikutus*

Lähes aina rakennuksen katonrajaan muodostuu ylipaine, jos sisäilmaa ei ilmanvaihdon avulla imetä alipaineiseksi. Savupiippuvaikutus aikaansaa siis rakennuksen alaosiin alipainetta ja yläosiin ylipainetta. Jos katonraja on huonetilassa ylipaineinen, se kuvataan tarvittaessa rakennuksen ulkopuolelta. Savupiippuvaikutus on yleinen kylminä vuodenaikoina kaksi tai useampikerroksisissa rakennuksissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto.

Savupiippuvaikutuksen aiheuttamat paine-erot ovat pieniä, mutta koska ne ovat käytännöllisesti katsoen pysyviä, niillä on merkitystä rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan (*Siikanen 1996, 33*).

5.1.4 *Tuuli*

Tuuli aiheuttaa rakennukseen sekä yli- että alipainetta. Tuulenpuoleiseen rakenteeseen tulee ylipainetta (ilma virtaa ulkoa sisälle) ja vastakkaisella puolella olevaan rakenteeseen alipainetta (ilmaa imeytyy sisältä ulos).

Tuulen huonetilassa aiheuttamat paine-erot ovat suuruudeltaan ja suunnaltaan vaihtelevia. Painevaikutuksen suuruus riippuu tuulen suunnan ja voimakkuuden lisäksi rakennuksen korkeudesta ja muodosta, ympäröivästä maastosta, toisista rakennuksista yms (*Siikanen 1996, 33*).

5.1.5 *Lämmitys- ja ilmanvaihto*

Asuinrakennuksissa on nykyään vähintään koneellinen poistoilmanvaihto, joka toimiesaan luo rakennuksen sisälle alipaineen. Myös tulo-poistoilmanvaihdolla varustettu rakennus pitäisi olla säädetty alipaineiseksi siten, että rakennuksesta poistetaan enemmän ilmaa, kuin sinne puhalletaan. Myös takan tms. lämmittäminen lisää yleensä huonetilaan alipainetta.

Rakennuksen lämpökuvaus tulisi ensisijaisesti suorittaa aina ilmanvaihdon ja lämmityksen normaalissa käyttötilanteessa. Eli tilanteessa, jossa tilojen käyttäjätkin tiloissa pääsääntöisesti oleskelevat. Mikäli sisäilmaolosuhteissa esiintyy haittaa tietyissä poikkeusolosuhteissa, voidaan lämpökuvaus suorittaa normaalin käyttötilanteen lisäksi niissä olosuhteissa, joissa sisäilmaolosuhteiden haittaa esiintyy.

Ilmanvaihtojärjestelmä on Rakentamismääräyskokoelman rakennusten sisäilmaston ja ilmanvaihdon määräysten ja ohjeiden eli osan D2 mukaan suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle (*Rakennustietosäätö RTS 2003b, 4*).

5.2 **Huoneilman lämpötila**

Rakennusten lämpökuvaaja mittaa aina sisäkuvauksia suorittaessaan huoneilman lämpötilan. Mittaus kannattaa suorittaa jokaisessa tutkittavassa tilassa erikseen. Mikäli huoneilman lämpötila on poikkeuksellinen alhainen (alle lämpötilojen ohjearvojen), tulee

tilan lämmityksen ja ilmanvaihdon toiminta tarkistaa. Poikkeuksellisen alhainen huonelämpötila voi johtua myös tilan käyttäjän suorittamasta tuulettamisesta, joka on tapahtunut juuri ennen lämpökuvausta. Jotta huoneiden lämpötilat ovat lämpökuvauksessa tasanaiset, tulisi tilojen käyttäjiä pyytää olemaan tuulettamatta ennen lämpökuvausta. Kuvauksessa havaitun alhaisen huonelämpötilan syy tulisi aina selvittää.

Rakentamismääräyskokoelman rakennusten sisäilmaston ja ilmanvaihdon määräysten ja ohjeiden eli osan D2 mukaan rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 23 °C. Hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvosta huonetilan keskellä 1,1 m:n korkeudella on ± 1 °C (*Rakennustietosäätiö RTS 2003b, 5*).

Rakennuksen sisäilmasto RT-kortin mukaan päiväkodeissa huonelämpötila on tarkistettava myös 0,1 m korkeudelta, koska lattialla leikitään ja oleskellaan paljon (*Rakennustietosäätiö RTS 1995, 4*).

5.2.1 Välttävä ja tyydyttävä taso

Asumisterveysohjeessa huoneilman lämpötilojen, rakenteiden pistemäisen lämpötilan ja vedon ohjearvot on jaettu kahteen ryhmään: lämpötilojen välttävään ja hyvään tasoon. Arvot koskevat lämpötiloja, jotka mitataan huoneen oleskeluvyöhykkeellä. Ohjearvojen hyvä taso vastaa pääosin uudisrakentamiselle asetettuja, rakentamismääräyskokoelman mukaisia vähimmäisvaatimuksia. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen kunnossapidossa ja käytössä tulee pyrkiä vähintään tähän tasoon. Ohjearvojen pysyvä välttävän tason alittuminen voi aiheuttaa terveyshaittaa (*Asumisterveysopas 2009, 27-28*).

Taulukko 1: Lämpötilojen ohjeellisia arvoja asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa (*Asumisterveysohje 2003, 17*)

<i>Asunto ja muu oleskelutila</i>	<i>Välttävä taso (°C)</i>	<i>Hyvä taso (°C)</i>
<i>Huoneilman lämpötila</i>	<i>18</i>	<i>21</i>
<i>Operatiivinen lämpötila</i>	<i>18</i>	<i>20</i>
<i>Pistemäinen lämpötila</i>	<i>11</i>	<i>12</i>

Taulukko 2: Lämpötilojen ohjeellisia arvoja palvelutasoissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja muissa vastaavissa tiloissa (*Asumisterveysohje 2003, 17*)

<i>Palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja vastaavat tilat</i>	<i>Välttävä taso (°C)</i>	<i>Hyvä taso (°C)</i>
<i>Huoneilman lämpötila</i>	<i>20</i>	<i>21</i>
<i>Operatiivinen lämpötila</i>	<i>20</i>	<i>20</i>
<i>Pistemäinen lämpötila</i>	<i>11</i>	<i>12</i>

Taulukkoihin 1 ja 2 liittyviä tarkennuksia

- Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä.
- Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää arvoa 21 - 22 °C

Huoneilman lämpötila ei Rakennuksen lämpökuvaus Ratu-kortin mukaan saa lämpökuvauksen aikana vaihdella enempää kuin ± 2 °C (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 3*).

5.3 Ulkolämpötila ja lämpötilaero

Mittaamalla rakennuksen ulko- ja sisälämpötilat heti lämpökuvauksen aluksi, lämpökuvaja voi laskea, missä pintalämpötilassa rakenne alittaa asumisterveysohjeen välttävän tason. Näin kuvaaja voi kuvatessaan nopeasti päätellä ne rakennusosat, joissa piilee selkeä rakennusfysikaalisen toiminnan riski. Liitteenä 1 on taulukko asumisterveysohjeen välttävän tason alarajan lämpötiloista eri ulko- ja sisälämpötiloissa. Taulukossa on esitetty punaisella pohjalla ne lämpötilat, jotka alittavat Asumisterveysohjeen pistemäiselle pintalämpötilalle annetun välttävän tason.

Rakennusten ilmavuotoja on huomattavasti helpompaa kuvata talvella kuin kesällä. Jos ulkolämpötila on +20 °C ja huonelämpötila niin ikään +20 °C, kameran kuviin ei saada juuri minkäänlaista lämpötilaeroa. Ilmavuotoja kuvataan tästä syystä talviaikaan. Käytännössä on toettu, että - 5 °C:n pakkasella saadaan riittävä lämpötilavaihtelu rakenteiden ulko- ja sisäpuolelle (*Ympäristö ja terveys -lehti 7-8:2007, 77*).

Lämpökuvauksesta tehtyyn Ratu-ohjekorttiin on kirjattu, että rakennuksia lämpökuvattaessa sisä- ja ulkolämpötilan lämpötilaero ei saa olla alle 15 °C. Myöskään 12 tuntia ennen kuvauksen suorittamista ei ulkoilman lämpötila saa poiketa enempää kuin ± 10 °C kuvauksen aloittamishetken lämpötilasta. Kuvauksen aikana ei ulkoilman lämpötila saa muuttua enempää kuin ± 5 °C. Lämpökuvausta ei myöskään tulisi suorittaa valmiissa rakennuksissa poikkeuksellisen kylmissä ja tuulisissa olosuhteissa, eli silloin kun ulkolämpötila on alle paikkakunnan mitoitustilalämpötilan (*Rakennusteollisuus RT ry ja rakennustietosäätiö RTS 2005, 3*).

5.4 Sääolosuhteet

Rakennusten lämpökuvauksessa sääolosuhteilla on poikkeuksellisen suuri rooli. Tämä johtuu siitä, että määrätyt puutteet ja virheet voidaan havaita vain suotuisissa sääolosuhteissa. Tuuli, aurinko ja vesisade myös muuttavat rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa epänormaalksi, mikä saattaa johtaa virheellisiin tulkintoihin. Kuvaushetken sääolosuhteille asettamat vaatimukset on määritelty Rakennuksen lämpökuvauksen Ratu-ohjekortissa.

Rakennusten lämpökuvauksen Ratu-ohjekortin mukaan rakennuksia ei tulisi lämpökuvata poikkeuksellisen tuulisissa (tuulen nopeus yli 10 m/s) olosuhteissa. Kuvattava rakenneosaa ei myöskään saa olla alttiina auringon säteilylle 12 tuntia ennen lämpökuvausta, tai sen aikana. Jos näin kuitenkin tapahtuu, tulee siitä mainita lämpökuvausraportissa ja huomioida säteilyn vaikutus tulkintoja tehtäessä (*Rakennusteollisuus RT ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 3*).

Auringon vaikutus tulee huomioida, jos lämpökuvausta suoritetaan päivällä tai alkuihlasta. Auringon vaikutus voi helposti kestää rakennuksen sisä- että ulkopuolella jopa 6-8 tuntia auringon paistamisen jälkeen. Tämä johtaa usein lämmönvirtauksen kääntymiseen, tehden kuvista virheellisiä (*Snell & Spring 2002, 3*).

Tuuli voi helposti eliminoida pinnan lämpötilaerot tai edistää niitä, siksi kuvaajan tulee huomioida kuvaushetkellä vallitsevat tuuliolosuhteet. Jos tilojen käyttäjät ovat havainneet rakennuksen ongelmat vain tuulisella säällä, on järkevää suorittaa tutkimukset tuulisissa olosuhteissa (*Snell & Spring 2002, 4*).

Esineen pinnan lämpötilaan vaikuttaa Möllmannin, Pinnon ja Vollmerin tutkimuksen mukaan suuresti sitä ympäröivä ilmavirta. Tämä johtuu siitä, että virtausolosuhteissa lämpö virtaa esineen pinnasta ympäröivään ilmaan. Suuret virtausnopeudet voivat aiheuttaa voimakkaasti viilentävän vaikutuksen. Tämä voi vaikuttaa esimerkiksi rakennusten ulkopuolisen lämpökuvauksen tai sähkölaitteiden lämpökuvauksen tuloksiin (*Möllmann, Pinno & Vollmer 2007, 1*).

Tutkimuksessa on myös todettu, että mitä voimakkaampi tuuli on sitä suurempi on rakennuksen julkisivun lämmönsiirtokerroin. Tämän vuoksi rakennusten lämpökuvauksen tulisi aina, mikäli mahdollista, suorittaa rakennuksen sisäpuolelta (*Möllmann, Pinno & Vollmer 2007, 4*).

5.5 Veto

Lämpökameralla ei voida varsinaisesti kuvata ilman liikkeestä johtuvaa vetoa. Vedosta johtuva pintojen viilentyminen voidaan lämpökameralla havaita pinnan lämpötilan alenemisena. Silloin kun lämpökameralla havaitaan voimakkaita ilmavuotoja, havaitaan usein myös vetoa. Lämpökuvauksen yhteydessä ei yleensä mitata vedon määrää, mutta raporttiin voidaan kirjata kuvaajan havaintoja tilassa esiintyvistä vedosta. Kuvaaja voi myös varmistaa ilmavuotokohdat esimerkiksi merkkisavun avulla.

Vedon tunne syntyy rakennuksen sisäilmastosta kertovan RT-kortin mukaan ilman liikkeen, lämpötilan ja säteilylämmönsiirron yhteisvaikutuksesta (*Rakennustietosäätiö RTS 1995, 5*). Asumisterveysoppaassa puolestaan kerrotaan, että kylmät pinnat aiheuttavat ns. säteilyvetoa, koska ihmisen iho jäähtyy nopeasti kylmien pintojen läheisyydessä. Ilman liike puolestaan aiheuttaa vetoa, koska ilma jäähtyessään virtaa kylmiä pintoja alaspäin ja kääntyy lattian suuntaisesti (*Asumisterveysopas 2009, 27*).

5.6 Veto korvausilmalaitteesta

Asuinrakennusten peruskorjauksissa on yleistynyt Vimin korvausilmalaitte, joka asennetaan lämmityspatterin taakse. Valmistajan mukaan korvausilma purkautuu laitteen ja patterin välistä ja sieppaa mukaansa lämpimän huoneilman. Myös talvella kylmä ulkoilma lämpiää, vaikka patteri ei olisi aina päällä. Talvellakaan laitteesta ei valmistajan mukaan aiheudu vetohaittaa (*Vim-ilma, www.vim-ilma.fi*).

Kuviosta 3 voidaan nähdä, että laite aiheuttaa vetoa lattianrajaan silloin, kun patteritermostaatti on pois päältä. Lämpökuvassa veto näkyy muuta lattiaa viileämpänä (sinisellä). Monet tällä hetkellä peruskorjattavat rakennukset on rakennettu 1970-1980 -luvulla, jolloin olohuoneiden ikkunoiden yhteyteen asennettiin kukkalauta. Kukkalauta uusitaan yleensä peruskorjauksen yhteydessä, ja urakoitsijat suosivat umpinaista kukkalautaa.

VTS- kotien asukkailta on tullut peruskorjausten jälkeen reklamaatioita Vimin korvausilmalaitteen vetohaitoista. Lämpökameran avulla tehdyissä tutkimuksissa todettiin, että kukkalaudalla varustetuissa ikkunoissa vetoa esiintyy häiritsevässä määrin patteritermostaatti ollessa kiinni. Harmillisesti juuri kukkalaudan vuoksi patteritermostaatti sulkeutuu normaalia nopeammin. Tämä johtuu siitä, että tiiviin kukkalaudan alla ilma lämpiää nopeammin eikä pääse virtaamaan ylöspäin, vaan ilman virtaussuunta on yleensä patterin päitä kohti. Lämmin ilma kulkeutuu patterin päässä olevaan termostaattiin ja sulkee sen. Kukkalauta poistamalla tai vaihtamalla sen malli raolliseen, vetohaitta pienenee huomattavasti.



Kuvio 3: Korvausilmalaitteen (Vimin) aiheuttama veto kuvattuna lämpökameralla silloin, kun patteritermostaatti on kiinni ja ikkunassa on kukkalauta.

5.7 Kosteus

Lämpökuvaaja mittaa kuvausta tehdessään myös huone- ja ulkoilmankosteuden. Ne mitataan yleensä samoista paikoista ja samalla yhdistelmämittarilla, millä huone- ja ulkoilmanlämpötilakin. Huoneilman suhteellista kosteutta tarvitaan erityisesti arvioitaessa kriittisten rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa, lähinnä kosteuden tiivistymisen mahdollisuutta.

Lämpökuvaaja ei yleensä mittaa rakennekosteuksia, paitsi jos tarkoituksena on tutkia kosteusvaurion mahdollisuutta. Tällöin rakennekosteuksia mitataan yleensä pintakosteudenosoittimella.

Rakennuksen sisäilmasto RT-kortin mukaan ulkoilman suhteellinen kosteus on Suomessa lähes aina korkea. Lämmitetyissä sisätiloissa suhteellinen kosteus saattaa talvella olla alhainen, eli 10 – 20 %. Korkeat (yli 60 %) ja alhaiset (alle 30 %) ilman suhteellisen kosteuden arvot ovat aistittavissa tuntemuksina iholla, limakalvoilla ja hengityselimissä (*Rakennustietosäätö RTS 1995, 5*).

Rakennus on Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea, eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin, niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa (*Rakennustietosäätö RTS 2003b, 6*).

6 Kuvaajalle asetettavat vaatimukset

6.1 Yleistä

Myös Snell ja Spring ovat todenneet, että vaikka rakennukset vaikuttavat yksinkertaisilta lämpökameran käyttäminen niiden tutkimiseen edellyttää päteviä ja kokeneita ihmisiä (*Snell & Spring 2002, 5*). Koulutus ja kokemus ovat lämpökuvaajalla avainasemassa. Kuvaajalle on erityisen tärkeää tuntea erilaisia rakennustekniikoita ja -menetelmiä sekä rakennusmateriaaleja ja niiden tyyppivikoja.

6.2 Koulutus

VTT, Rakennusteollisuuden koulutuskeskus Rateko ja Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu järjestävät yhdessä Rakennuksen lämpökuvaajan henkilösertifiointikoulutusta. Koulutukseen sisältyy oppitunteja ja käytännön kuvausharjoituksia. Koulutus päätetään tenttiin, jonka lisäksi opiskelijoiden täytyy toimittaa ja esitellä hyväksytyksi luettu lämpökuvausraportti suorittamastaan rakennuksen lämpökuvauksesta. Tämän jälkeen kurssin suorittanut lämpökuvaaja voi hakea VTT:ltä lämpökuvaajan henkilösertifiointia.

Viranomaismääräykset ja -ohjeet eivät rakennusten lämpökuvauksen Ratu-ohjekortin mukaan edellytä lämpökuvaajalta osoitettua pätevyyttä. Yleisenä ammattitaitovaatimuksen voidaan pitää, että rakennusten lämpökuvaajalla on sekä lämpökuvauksen että rakennustekniikan asiantuntemus. Tämä voidaan osoittaa joko lämpökuvauksen perustutkintotodistuksella (Level 1, Thermographer Certificate) tai VTT:n myöntämällä lämpökuvaajan henkilösertifikaatilla (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 2*).

6.3 Tilaajien osto-osaaminen

Tilaajien osto-osaamiselle asetetaan entistä enemmän vaatimuksia, koska lämpökuvauspalvelun tarjoaminen on helpottunut ja palveluntuottajien määrä kasvanut. Lämpökuvauspalvelun tilaajien tulisi vaatia kuvaajilta erityisesti riittävää koulutusta ja laaja-alaista kokemusta.

Pelkkä rakennusten lämpökuvaajan henkilösertifikaatti ei takaa sitä, että lämpökuvaaja osaa tulkita kuviaan oikein. Henkilösertifikaattikoulutukseen osallistuakseen kuvaajan

ei tarvitse osoittaa rakennusteknistä osaamistaan tai aiempaa koulutustaan. Tietysti koulutuksen läpikäyminen edellyttää tietynlaisen tietotason saavuttamista lämpökuvaukseen liittyvissä asioissa. Se kuinka opittua tietoa osataan soveltaa käytännössä, onkin aivan eri asia.

Kuvaajalta tulee edellyttää myös rakennusfysiikan ja rakennustekniikan koulutusta. Toisaalta aito kiinnostus siitä, kuinka rakennus kokonaisuutena toimii, antaa lämpökuvaajalle paljon työkaluja onnistuneisiin tulkintoihin. Tämän johdosta monipuolisella lämpökuvaajalla on hyvä olla kokemusta tai koulutusta myös LVI-teknisistä järjestelmistä. Rakennustekniikan osaaminen puolestaan antaa ymmärrystä erilaisten rakenneratkaisujen vaikutuksesta lämpökuvaan. Rakennus ei koskaan ole kaikilta osiltaan tasalämpöinen. Kuvaajan tärkein tehtävä onkin osata erottaa rakennusosan oleelliset poikkeamat sille normaaleista lämpötilamuutoksista.

7 Kuvaustulosten tulkinta

7.1 Yleistä

Kuvaajan vertaa saatuja mittaustuloksia voimassa oleviin terveydellisiin ohjeisiin ja määräyksiin sekä rakennusajankohtana voimassa olleisiin rakentamismääräyksiin. Tämän lisäksi kuvaajalla tulee olla osaamista tutkittavan rakennusosan ja koko rakennuksen rakennusfysikaalisen toiminnan arvioimiseen.

Yleinen harhaluulo lämpökuvausta tuntemattomien keskuudessa tuntuu olevan, että lämpökuvauksen raportointi on lähes yhtä nopeaa kuin kuvaaminen. Yhden 30 asunnon asuinkiinteistön kuvaaminen oheismittauksineen voi hoitua yhden työpäivän aikana. Raportin laatimiseen sisältyy kuvien käsittelyä, rakennekuviin tutustumista, saatujen tulosten analysoimista ja usein myös korjausehdotusten tai lisätutkimusehdotusten laatimista. Huolella tehty lämpökuvauksen raportointi kestää yleensä useita työpäiviä. Myös Kihlin artikkelissa todetaan, että esimerkiksi kerrostalohuoneiston kuvaamiseen menee vain noin tunti, joskin tulosten oikeaan tulkitsemiseen kuluu yleensä koko päivä (*Ympäristö ja terveys -lehti 2007, 76*).

Myös Paloniityn ja Kauppinen mukaan rakennuksen lämpökuvauksessa tärkein vaihe on tulosten tulkinta. Lämpökuvaajan tulisi olla rakennusalan osaaja, jotta hän ymmärtää havaitsemiensa poikkeamien merkityksen ja osaa päätellä poikkeamien perusteella mistä ongelmasta on kysymys, vai onko poikkeama kenties kuvattavalle rakenteelle tyypillinen esim. rakenneteknisistä syistä johtuva ominaisuus (*Paloniitty & Kauppinen 2006, 62*).

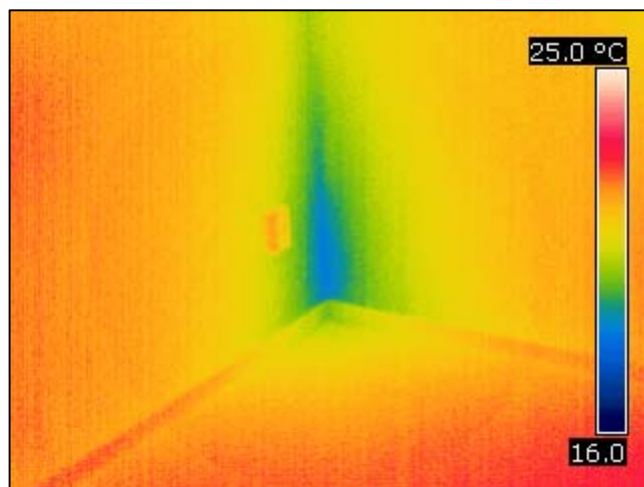
7.2 Lämpökuvan lämpötila-asteikko

Yksi suurimpia väärinkäsityksiä kuvien tulkinnassa on se, että jos lämpökuvassa näkyy sinistä tai mustaa, niin kyseessä on paha vika. Nykyaikaisissa lämpökameroissa lämpökuvaaja voi asetella vapaasti kuvassa käytettävän lämpötila-asteikon. Hyvä tapa on asettaa lämpökuviin lämpötila-asteikko siten, että asumisterveysohjeen välttävän tason alarajan alittavat lämpötilat näytetään sinisellä tai mustalla. Alarajan lämpötila riippuu kuvauskohteen ulko- ja sisälämpötilasta. Ylärajaksi kannatta asettaa mitattua huonelämpötilaa n. 5 °C korkeampi lämpötila (*Paloniitty & Kauppinen 2006, 62*).

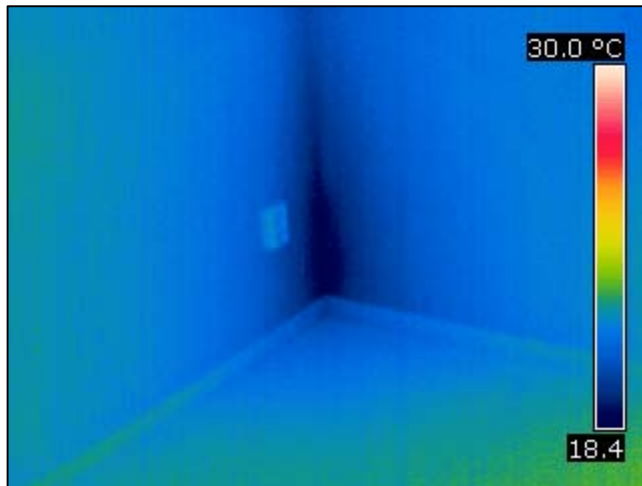
Seuraavissa kuvioissa (kuvio 4, 5 ja 6) on esitetty sama lämpökuva erilaisissa lämpötila-asteikoissa. Kuvista näemme sen, jos lämpötila-asteikko asetellaan väärin raportin lukijalle voi tulla väärä mielikuva rakenteen kunnosta. Kyseisessä tapauksessa nurkan lämpötila oli asumisterveysohjeen hyvällä tasolla.



Kuvio 4: Lämpökuva lämpötila-asteikossa 12 - 25 °C



Kuvio 5: Lämpökuva lämpötila-asteikossa 16 - 25 °C



Kuvio 6: Lämpökuva lämpötila-asteikossa 18,4 – 30 °C

7.3 Tulkittavien lämpökuvien luotettavuus

Lämpökuvaajan tulee aina kuvatessaan kulkea tuntosarvet pystyssä ja pohtia poikkeuksellisia lämpötiloja havaitessaan, niihin johtavia syitä. Tuulettaminen, ilmanvaihdon tahallinen tehostaminen ja muut tilojen käyttäjistä riippuvaiset syyt tulisi rajata aina pois.

Jos ulkoseinissä on kiinni huonekaluja, jotka siirretään pois vasta juuri ennen kuvausta, kyseinen alue seinässä näyttää huomattavasti kylmemmältä kuin normaalisti. silloin seiniä ei ehkä saada luotettavasti kuvatuksi (*Ympäristö ja terveys -lehti 7-8:2007, 78*).

Jos kuvaustulokset tuntuvat kauttaaltaan epäluotettavilta, tulee kuvaajan varmistua käyttämänsä lämpökameran mittatarkkuudesta ja tarvittaessa kalibroida kamera mittatarkkuuden varmistamiseksi. Myös sääolosuhteet ja painesuhteet voivat muuttua kuvauksen kestäessä, niitä tulisikin tämän vuoksi tarkkailla ja mitailla kuvauksen edetessä.

7.4 Lämpötilaerot

Osaava lämpökuvaaja erottaa millaiset lämpötilaerot rakennusosassa saattavat alittaa Asumisterveysohjeen välttävän tai hyvän tason, ja joista on syytä mainita lämpökuvausraportissa. Lämpökuvaaja myös tulkitsee lämpötilaeron jakautumisen perusteella millaisesta viasta saattaa olla kyse. Esimerkiksi ilmavuodot näkyvät yleensä viuhkamaisina tai sahalaitaisina kuvioina.

Kuten Rakennuksen lämpökuvauksen Ratu-kortissakin mainitaan, rakennusten sisäpinnat eivät koskaan ole tasalämpöisiä. Kaikki havaitut pintalämpötilaerot tai ympäristöstään poikkeavat pintalämpötilat eivät merkitse sitä, että rakenteissa tai eristeissä olisi sillä kohdalla puutteita tai virheitä. Rakenteissa on myös niin sanottuja kylmäsiltoja, jotka aiheuttavat luonnostaan pintalämpötilan laskua. Tyypillisesti tällaisia kohtia ovat ulkonurkat ja lattianrajat (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 2*).

7.5 Rakenteiden lämmöneristysviat

Eristevikoja voidaan havaita lämpökameralla sekä ali- että ylipaineen puolelta kuvattaessa. Lämmöneristeen puutteet voidaan havaita lämpökameralla hyvin selvärajaisina poikkeamina, joiden lämpötilaero muuhun rakenteeseen nähden voi olla useita asteita.

Yleensä eristevikoihin yhdistyy myös ilmavuotoja, jolloin luontevinta on suorittaa eristevikojen tutkiminen alipaineen puolelta (yleensä rakennuksen sisäpuolelta), jotta mahdolliset ilmavuodot voidaan havaita samalla. Mikäli eristepuutos on pieni eikä sen yhteydessä ole ilmavuotoa tai ilman virtausta, ei vikaa välttämättä havaita lämpökameralla. Eristevikojen korjaaminen on työlästä, koska se vaatii yleensä rakenteen rikkomista, jotta saadaan takuuvarmasti selvitettyä rakenteen kunto.

Puuttuva, vahingoittunut tai huonosti toimiva eriste näkyy lämpökuvassa selkeästi silloin, kun ulko- ja sisäilman lämpötilaero on vähintään 10 °C (*Snell & Spring 2002, 2*). Eristevikoja on mahdollista kuvata pienemmissäkin lämpötilaeroissa, koska rakennusmateriaaleilla on lämmönjohtavuuseroja. Yleensä eristeiden lämpökuvaus tehdään sekä sisä- että ulkopuolelta. Parhaaseen tulokseen päästään kuvaamalla sisäpuolelta, koska siellä on vähemmän häiriötekijöitä. Ulkopuolelta saadaan toisaalta parempi kokonaiskuva rakenteesta.

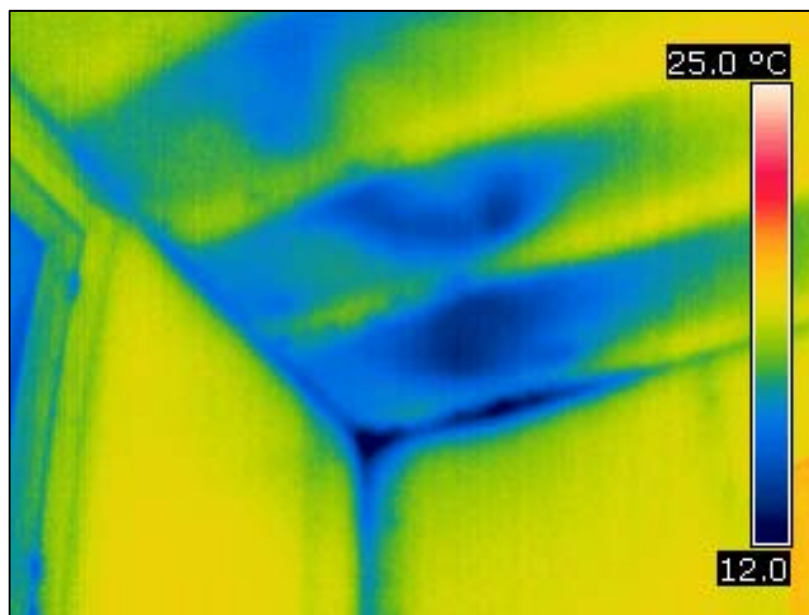
Lämmöneristysohjeiden mukaan lämmöneristeiden tulisi olla käyttötarkoituksiinsa soveltuvia ja asetettujen vaatimusten mukaisia. Eristeiden tulisi säilyttää ominaisuutensa rakenteen käyttöänsä ajan (*Rakennustietosäätiö RTS 2003a, 4*). Lämmöneristysmääräysten mukaan rakennuksen vaippaan kuuluvan seinän, yläpohjan tai alapohjan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään 0,60 W/m²K. Lämpimän tilan ikkunan lämmönlä-

päisykerroin saa olla enintään $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja puolilämpimän enintään $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Rakennustietosäätiö RTS 2007a, 3).

Vuoden 2010 alusta voimaan tulevassa uudessa Rakennusten lämmöneristysmääräyksissä on rakenteiden lämmöneristysvaatimukset tiukentunut entisestään. Jatkossa uudiskohteiden ulkoseinän lämmönläpäisykerroin saa olla korkeintaan $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, yläpohjan $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ikkunan $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Ympäristöministeriö 2008, 7).

Liitteessä 2 on esitetty vuosina 1985-2003 voimassa olleet lämmönläpäisykertoimet (silloiset K-arvot, nykyiset U-arvot) eri rakennusosille sekä suuntaa-antavia K-arvokäyriä. Kaavion avulla voidaan päätellä huone-, ulko- ja rakenteen pintalämpötila mittaamalla täyttääkö rakennusosan K-arvo silloiset rakentamismääräykset.

Kuviossa 7 on esitetty lämpökuvassa katossa näkyvät eristepuutokset. Kyseisen rakennuksen yläpohjassa oli lämmöneristeenä käytetty puhallusvillaa, joka on katon nurkassa puutteellinen. Eristepuutokset näkyvät lämpökuvassa sinisellä.



Kuvio 7: Katon lämmöneristyspuutokset kuvattuna lämpökameralla

7.6 Rakenteiden ilmavuodot

Rakenteiden ilmavuodot havaitaan parhaiten kuvattaessa rakennetta alipaineen puolelta. Lämpökuvattaessa on tärkeää varmistaa rakennuksessa vallitsevat painesuhteet mittaa-

malla ulko- ja sisäilman välinen paine-ero eri huonetiloissa ja kerroksissa. Ilmavuodot ovat hyvin tyypillisiä, ja valitettavan yleisiä lämpökameralla havaittavia vikoja. Ilmavuodot ovat yleensä eristevikoja helpommin korjattavissa.

Lämpökuvaajan ammattitaito nousee esille tilanteissa, joissa täytyy tulkita johtuuko rakenteen vika ilmavuodosta vai eristeen puutoksesta. Asian voi varmistaa kuvaamalla rakennetta ensin normaalissa alipaineessa ja tämän jälkeen normaalia suuremmassa alipaineessa. Alipainetta voidaan kasvattaa joko rakennuksen omilla poistoilmapuhaltimilla tai erillisillä poistoilmapuhaltimilla, jotka asennetaan oveen tai ikkunaan. Sekä ilmavuoto että eristevioissa rakenteen rakennusfysikaalinen toiminta voi häiriintyä, mutta korjausmenetelmät poikkeavat merkittävästi toisistaan.

Rakennuksen lämmöneristysmääräyksissä sanotaan, että rakennuksen vaipan ja tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmasulku. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen (*Rakennustietosäätiö RTS 2007a, 2*).

Snellin ja Springin tutkimuksen mukaan liiallinen ilmavuoto voi lisätä jopa puolella rakennuksen energiankulutusta. Tietysti riittävä ilman vaihtuminen on välttämätöntä asukkaiden terveyden ja turvallisuuden vuoksi, mutta useimmissa rakennuksissa on paljon suurempi ilman vaihtuvuus, kuin olisi tarpeen. Pääsyyinä on usein huonosti suunniteltu ja/tai rakennettu rakenne, joka sallii ilman liikkuvan rakenteessa. Ongelma voi olla niinkin yksinkertainen, kuin oven huono tiivistys. Hankalissa tapauksissa ilman kulureitti menee kanavien koteloinnissa tai kattorakenteissa. Ilman vuotoreitti on usein monimutkainen ja erittäin vaikea havaita ilman lämpökuvaamista (*Snell & Spring 2002, 3*).

Ilmavuotojen tutkiminen on helpointa, jos ilmavuoto on suora ja hallittu. Tämä voidaan saavuttaa poistoilmatuulettimilla, ovipuhaltimella (ns. ”blower door”) tai suurissa rakennuksissa tilapäisesti muuttamalla ilmanvaihtojärjestelmä normaalia alipaineisemmaksi. Lämmityskaudella ilmavuotokohdat näkyvät kuvassa viileämpinä. Tutkiminen voidaan tehdä minä vuodenaikana tahansa, kunhan sisä- ulkolämpötilan ero enemmän kuin pari astetta. Ovipuhaltimella voidaan määrittää myös ilmavuotojen suuruutta. Tämä tekniikka on suorituskykyinen myös arvioitaessa rakennusten ilmanpitävyyden toimintaa (*Snell & Spring 2002, 3*).

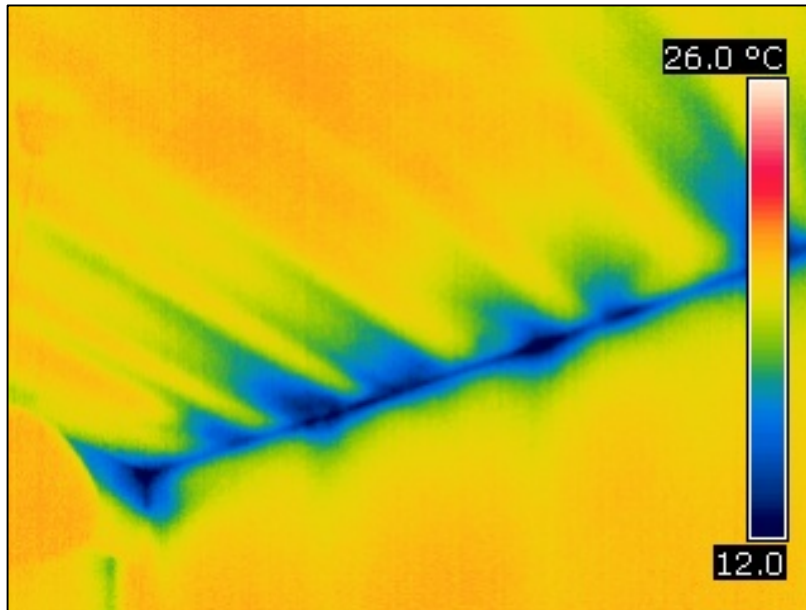
Ulkoseinien läpiviennit ovat aina riski ilmapuotojen kannalta. Jos ulkoseinällä on vesiposti, on varsin yleistä, että vesipostin läpivienneissä on ilmapuotoja. Myös ulkoseinillä olevat sähköpistorasiat ovat usein vuotokohtia, koska seinän höyrynsulkumuovi on puhkaistu, jotta on saatu sähköpistorasiat paikalleen (*Ympäristö ja terveys -lehti 7-8:2007, 79*).

Kuviossa 8 on esitetty sähköpistorasia, jota asennettaessa on puhkaistu rakenteen höyrynsulku. Lämpökameralla havaittiin pistorasiassa selkeä ilmapuoto, joka varmistettiin pistorasia irrottamalla.



Kuvio 8: Pistorasian ilmapuoto lämpökuvattuna

Eräässä esimerkkitapauksessa havaittiin asuinrivitalon yläpohjassa lämpökuvauksella useassa kohdassa lämpötilapoikkeamia. Tilaajan edustaja ilmoitti jo tilausta tehdessään tilanneensa yläpohjaan lisäeristettä, joka asennettaisiin lämpökuvauksen jälkeen. Lämpökuvauksella havaittiin, että lämpötilapoikkeamat olivat poikkeuksetta huoneistojen välisten seinien ja katon liitoksessa, ja niiden kuvio oli sahalaitainen, kuvio 9. Tämä näytti viittaavan rakenteissa oleviin ilmapuotoihin. Rakennekuvia tarkasteltaessa havaittiin, että huoneistojen välisen seinän ja yläpohjan liitoksen rakenne on ollut haastava toteuttaa, mikä on johtanut mahdollisten ilmapuotojen syntymiseen rakenteeseen. Tällaisen rakenteen ilmapuotoja ei saada korjattua lisäämällä yläpohjaan eristettä, vaan se pitäisi korjata tiivistämällä ilmapuotokohdat.



Kuvio 9: Ilmavuodolle tyypillinen sahalaitakuvio

7.7 Ikkunoiden ja ovien ilmanpitävyys

Uudiskohteissa ja olemassa olevissa kohteissa yleisimpiä ongelmakohtia ovat ikkunat sekä parveke- ja takaovet. Ikkunoiden ja ovien tiiviys sekä niiden liittyminen ympäröiviin rakenteisiin, asettaa haasteita niin rakentajille kuin asennustyön laadunvalvojille.

Kihlinkin mukaan ikkunat ovat usein rakennuksissa tyypillisiä ongelmakohtia, koska niiden läheisyydessä esiintyy paljon ilma- tai lämpövuotoja. Vika ei useinkaan ole välttämättä itse ikkunoissa, vaan pikemminkin niiden asennuksissa (*Ympäristö ja terveys -lehti 7-8:2007, 78*).

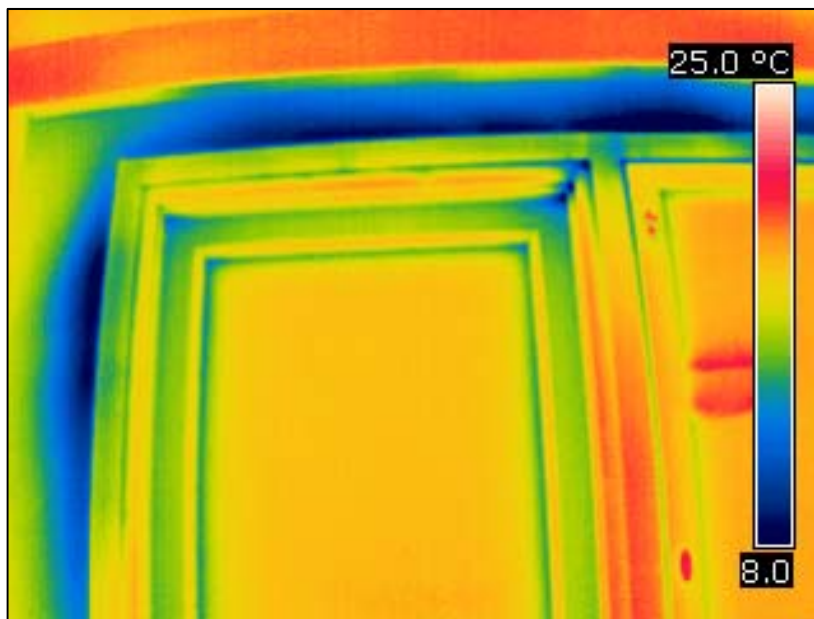
Lämpökuvauksella voidaan säästää myös ikkunatoimittajan kustannuksia. Lämpökuvauksella voidaan paikallistaa ikkunassa oleva vika tarkemmin. Näin voidaan säästyä jopa koko ikkunan tai oven turhalta uusimiselta. Suurin osa ikkunoiden ja ovien ilmanpitävyysongelmista johtuu kuitenkin niiden ja ympäröivien rakenteiden liitoksissa, ei niinkään ikkunalasin liitoksesta tai oven rakenteesta. Tämä johtuu osaltaan siitä, että ikkunat ja ovet valmistetaan poikkeuksetta kuivissa sisätiloissa, kun taas asennusolosuhteet vaihtelevat.

Tyypillinen ikkunoista ja ovista löytyvä ilmavuoto johtuu tiivisteiden asennustavasta. Ikkuna- ja ovitoimittajat asentavat tiivisteet pääsääntöisesti siten, että yhtenäinen tiiviste

ei kierrä puitteen ympäri. Tämä aiheuttaa ovien ja ikkunoiden ylä- ja alakulmiin ilma-
vuororeitin. Ikkuna- ja ovi-asennuksissa havaitaan usein puutteita myös eristyksissä sekä
kylmäsiltoja, koska asennuskiilat on jätetty karmin ja seinän väliin.

Rakennusten lämmöneristysmääräyksissä sanotaan, että ikkunan ja oven liittymien ym-
päriin rakenteisiin tulee olla ilmanpitävä. Karmin ja puitteen tiivistämiseen käytettä-
vien tarvikkeiden tulee olla sellaisia, että ne kestävät käytössä esiintyvät rasitukset
oleellisesti vaurioitumatta (*Rakennustietosäätiö RTS 2007a, 2*).

Kuviossa 10 on lämpökuva kohteesta, jossa parvekeoven yläosassa ja olohuoneen ikku-
nan yläosassa oli karmin ja seinän liitos puutteellisesti eristetty. Puutteellinen eristys
johti siihen, että liitokseen syntyi eristepuutoksesta johtuva ilmapuoto.



Kuvio 10: Parvekeovessa ja sen viereisessä ikkunassa lämpökameralla näkyvä karmin ja
seinän välinen ilmapuoto ja eristevika (eristeet ja rakenteen ilmatiiviys olivat puutteelli-
sia)

7.8 Kosteusvauriot ja vesivuodot

Kosteuden löytäminen lämpökameran avulla on yleensä yksinkertaista, koska vedellä
on sekä korkea lämmönjohtokyky, että korkea lämpökapasiteetti. Kosteuslähteen mää-
rittely voi kuitenkin olla vaikeaa (*Snell & Spring 2002, 4*).

Kosteuden lähteenä on vuotoa useammin kosteuden tiivistyminen, jonka vuoksi onkin tärkeää tunnistaa rakenteen ilmapuotokohdat. Ilmapuotokohdista kostea ilma pääsee kulkeutumaan rakenteisiin, mikä voi johtaa kosteuden tiivistymiseen.

Vesivahingon voi Kihlin artikkelin mukaan todeta lämpökameralla. Tämä perustuu siihen, että kastuneen rakennusmateriaalin pinnalta haihtuu kosteutta ilmaan. Haihtuva vesi jäähdyyttää pintamateriaalia. Ympäristöään viileämpi kohta voidaan havaita lämpökameralla. Ihan kaikista rakennusmateriaaleista jäähtymisilmiötä ei kuitenkaan havaita. Esimerkiksi kipsilevyseinässä haihtuminen näkyy lämpökuvassa hyvin, koska lämpötilaero tulee rakenteessa selkeästi näkyville (*Ympäristö ja terveys -lehti 7-8:2007, 76-77*).

Lämpökameralla ei voida havaita kosteutta, joka on vesihöyryä läpäisemättömän pinnan, eli esimerkiksi vedeneristyksen tai laatoituksen, takana. Kosteusmittausmenetelmänä lämpökamera ei ole siksi kovin tarkka, ja tarkempi kosteuskartoitus tulisikin tehdä kosteusmittareilla rakenteesta. Lämpökameraa voitaneen pitää lähinnä suuntaa-antavana kosteuden havainnointimenetelmänä.

Rakennuksen sisäilmaston RT-kortin mukaan kylmäsillat eivät saa jäähdyyttää rakenteita niin, että kondensoitumista (kosteuden tiivistymistä) esiintyy haitallisessa määrin. Kuinka paljon kosteutta voi kondensoitua rakenteeseen, riippuu aina rakenteesta ja sen olosuhteista (*Rakennustietosäätiö RTS 1995, 6*).

Koska rakennusten suunnittelun ja rakentamisen tarkkuus on tuottanut entistä tiiviimpiä julkisivuja, niin rakenteiden kosteudesta on tullut entistä enemmän ongelmia. Vesi voi tunkeutua rakenteisiin pienestä halkeamasta, ja jäädä sen jälkeen kahden kosteutta läpäisemättömän rakennusmateriaalin väliin. Hyvä rakentamistapa huomioi yleensä ilmapuotojen minimoimisen ja estää näin kosteuden kulkeutumisen ilmapuotojen avulla rakenteisiin (*Snell & Spring 2002, 4*).

Woodin ja Weberin mukaan lämpökameralla voidaan helposti pintoja kuvaamalla löytää mahdollisia merkkejä rakenteita tai alueita, joissa voi mahdollisesti olla hometta tai mikrobikasvustoa. Lisäksi lämpökameralla otetut kuvat toimivat tutkittavien rakennusosien dokumentaationa (*Wood & Weber 2003, 1*).

Jos kiertovesipatterilinjassa on vuoto, se voidaan se tietyissä tapauksissa paikallistaa lämpökameran avulla. Jonkin verran vuodon löytyminen riippuu rakenteesta, eli millä syvyydellä vuoto on ja minkä tyyppinen se on. Kylmävesivuotoja on hankalampaa havaita, koska sellaiset vuodot ovat yleensä aika pieniä. Kylmä vesi ei myöskään tavallisesti aiheuta rakenteisiin niin selvää lämpötilaeroa, että sen voisi helposti havaita kameralla (*Ympäristö ja terveys -lehti 7-8:2007, 77*).

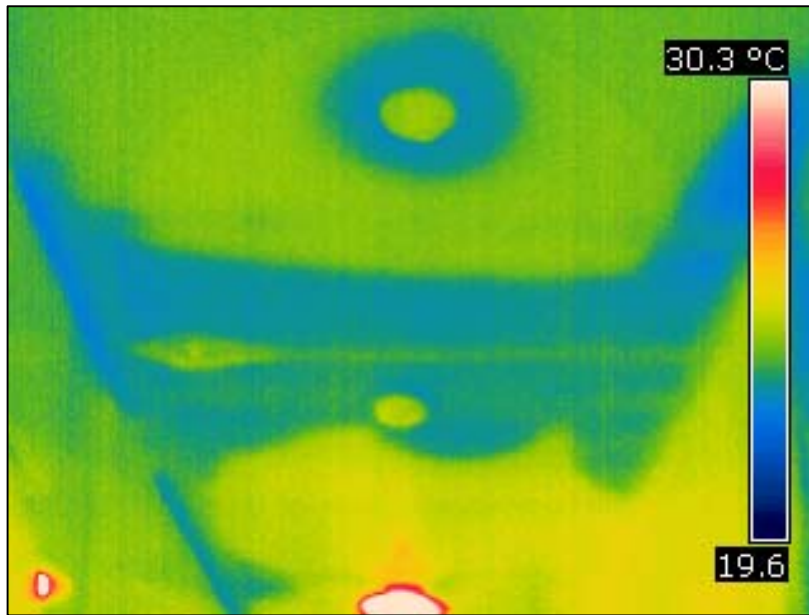
Soveltamisesimerkki 1:

Suoraan sisäpihan alapuolella olevan makuuhuoneen katon keskellä havaittiin vesitaharoja, jotka viittasivat veden tunkeutumiseen rakenteisiin. Sisäpihalla ei näkynyt selkeitä kohtia, joista vesi olisi tunkeutunut rakenteisiin. Ainetta rikkomaton vesitesti suoritettiin kaatamalla vettä sisäpihalla eri kohtiin ja kuvaamalla samalla makuuhuoneen kattoa lämpökameralla. Lämpökuvauksella voitiin havaita veden kulkeutuminen rakenteisiin, ennen kuin muut kosteutta mittaavat laitteet kykenivät havaitsemaan sen (*Wood & Weber 2003, 1*).

Soveltamisesimerkki 2:

Lämpökameraa käytettiin myös toisessa tapauksessa, jossa vesiputki halkesi hotellin kolmannessa kerroksessa. Vettä kulkeutui kaksi kerrosta alaspäin. Nopealla lämpökuvauksella voitiin paikallistaa, minne vettä oli kulkeutunut ja sen perusteella valita oikein kohdistettuja kuivatusmenetelmiä (*Wood & Weber 2003, 2*).

Kuviossa 11 on kuvattu elementtirakenteisen asuinkerrostalon asunnon kattoa pian sen jälkeen, kun yläpuolella olevassa asunnossa oli käyttövesiputki haljennut. Lämpökameralla havaittiin nopeasti kosteusvaurion laajuus katossa ja seinissä. Kuivaustoimet pystyttiin täten kohdentamaan oikeisiin rakennusosiin ja huoneistoihin.



Kuvio 11: Asunnon katossa lämpökameralla havaittu yläkerran putkivahingosta johtuva kosteusvaurio

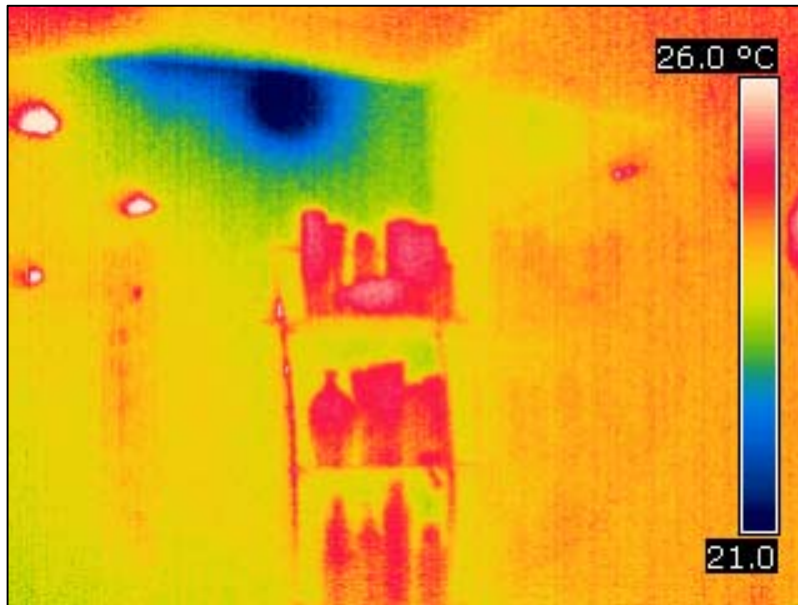
7.9 Ilmanvaihdon toiminta

Lämpökuvauksella voidaan tutkia ilmanvaihtoon liittyen esimerkiksi tulo- ja korvausilmaventtiilien sijainti ja tuloilman lämpötila. Myös ilmanvaihtokanavien vuotoja ja korvausilman aiheuttamia vetohaittoja, eli sitä kuinka paljon kylmä korvausilma jäähdyttää korvausilmaventtiin läheisyydessä olevia rakenteita, voidaan tutkia lämpökuvauksella.

Rakennuksen energiatehokkuuden määräyksissä ja ohjeissa kerrotaan, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että rakennuksessa voidaan saavuttaa käyttötarkoituksen edellyttämä sisäilmasto energiatehokkaasti (*Rakennustietosäätiö 2007b, 2*).

Ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat johtuvat usein huonosta suunnittelusta. Lämpökuvauksen löytäessä viat, voi olla jo liian myöhäistä korjata niitä. Osa vioista, kuten vastakkain asetetut päätelaitteet, voidaan puolestaan korjata kohtuullisen helposti. Ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelun ja asennuksen ongelmat johtavat usein ylimääräiseen energiankulutukseen ja/tai epämukaviin rakennuksiin. Lämpökuvauksen helpottaa rakennusalan ammattilaisia havainnoimaan ilmanvaihtojärjestelmän huonoudesta johtuvia vaikutuksia. Ne voivat aiheutua väärään suuntaan kulkevasta tai väärin ohjatusta ilmavirrasta sekä huonosti sijoitetuista tulo- ja poistoilmaventtiileistä, jonka vuoksi tuloilma kulkeutuu suoraan poistoilmakanavaan (*Snell & Spring 2002, 4-5*).

Kuviossa 12 on kuvattu asuinrakennuksen kellaritiloissa sijaitsevan pesuhuoneen ulko-seinää, jonka yläosassa havaittiin muuta seinää viileämpi alue. Asukkaan kertomuksen mukaan pesutilat oli peruskorjattu edellisen asukkaan toimesta, jolloin seinät oli laatoitettu uudestaan. Tarkemmassa selvityksessä selvisi, että kyseisellä kohdalla sijaitsee edelleen ulos johtava vanha korvausilmaventtiili, joka oli korjauksessa vain peitetty.

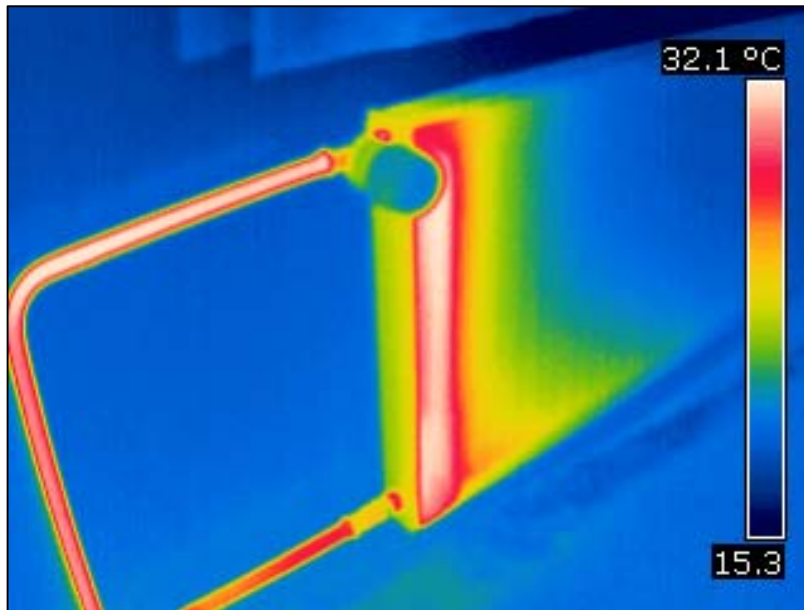


Kuvio 12: Pesuhuoneen seinässä havaittu vanha peitetty korvausilmaventtiili

7.10 Lämmityksen toiminta

Lämpökameralla voidaan havaita lämpötilaeroja myös lämmitysjärjestelmästä. Vesipattereiden lämpökuvio kertoo yleensä nopeasti patterin toimivuudesta tai ilmaustarpeesta. Lattialämmityksen putkien sijainti ja toiminta voidaan nopeasti selvittää lämpökameran avulla, kuten myös lattialämmityksen jakotukkien toiminta.

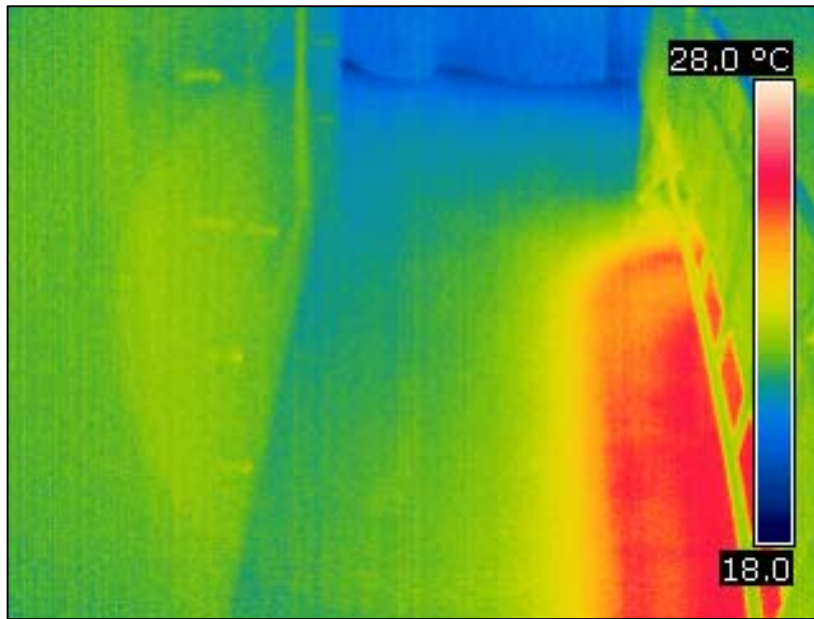
Kuviossa 13 on kuvattu lämmityspatteria, jossa lämmitysverkoston vesi ei kierrä riittävästi ja tämän johdosta patteri ei lämpiä normaalisti. Patterin tukkeumasta johtuen lämmitysvesi kulkeutui suoraan patterin poistoputkesta takaisin lämmitysverkostoon.



Kuvio 13: Patterin epänormaali lämpökuvio

Lämmityspiirejä käytetään nykyään myös ulkona entistä useammin pitämään kulkureittejä ja sisäänkäyntejä sulina. Lämpökuvauksella voidaan nopeasti paikallistaa pinnan alaisen lämmityksen sijainti ja toiminta. Normaalisti lattialämmityspiirin lämpöjälki näkyy erittäin hyvin, vaikka lämmönlähde on upotettu useiden senttien syvyyteen betonin sisään. Vastaavasti myös vesiputket voidaan löytää kohtuullisen helposti lämpökameralla (*Snell & Spring 2002, 5*).

Eräässä tapauksessa lattialämmityksen asentanut urakoitsija oli pyydetty useaan otteeseen paikalle tutkimaan, miksi huoneistot eivät lämpiä normaalisti. Omien tuloksettomien selvitysten jälkeen paikalle kutsuttiin lämpökuvaaja. Lämpökuvaajan avulla saatiin nopeasti paikallistettua ne lattialämmityspiirit, jotka eivät lämpiä lainkaan tai hyvin vähän, kuvio 14. Saatua havaintoa tuki myös jakotukeilta otetut lämpökuvat, joissa kyseisten piirien meno- ja paluovesiputket olivat muita piirejä huomattavasti viileämpiä, kuvio 15.



Kuvio 14: Huoneen lattialämmityksen uloin piiri (vasen puoli) ei lämpiä kunnolla



Kuvio 15: Lattialämmityksen jakotukki, jossa on kolme viileää piiriä (2., 5. ja 6. vasemmalta)

Maanalaisten, huonosti eristettyjen tai vuotavien, lämpöjohtoputkien kuvaaminen onnistuu maanpäältä lämpökameralla. Kun lumisessa maassa on suuri vuoto tai eristepuutos, se voidaan havaitaan usein paljaalla silmällä. Koska Suomi on pitkä maa ja talvi erityisesti etelässä usein vähäluminen, voidaan vuotoja joutua paikallistamaan myös lämpökameralla. Varsinkin jos tilaajalla ei ole mahdollisuutta esimerkiksi putkivuototapauksissa odotella mahdollista lumentuloa.

7.11 Kattojen vauriot

Kattojen vaurioita kuvataan Suomessa hyvin vähän lämpökameralla, eikä siitä juurikaan maininta suomenkielisissä lämpökuvauksista käsittelevissä materiaaleissa. Kattojen kuvaaminen on menetelmänä sellainen, jossa lämpökameraa voidaan hyödyntää erityisesti kesäaikaan, jolloin lämpökameraa käytetään normaalisti hyvin vähän rakennusten lämpökuvaukseen.

Lämpökuvauksella voidaan tutkia tasakattojen kostuneita eristeitä. Menetelmä soveltuu parhaiten katoille, joissa on huopakatto. Kosteus edesauttaa eristeiden ja kattorakenteiden homehtumista. Märät eristeet myös lisäävät katon painoa (*Holst 2000, 213*).

Ympäristötekijät ovat merkittävässä osassa, kun katon kosteusvaurioita tutkitaan lämpökuvauksella. Aurinko toimii kuvauksessa energianlähteenä, joten aurinkoinen päivä ennen tutkimusta on yleensä välttämätöntä. Katoilla, joissa pilvet, puut tai muut rakennukset varjostavat auringolta, ei tutkimus välttämättä onnistu täydellisesti. Vähintään 10 asteen lämpötilaero sisä- ja ulkolämpötilan välillä, vähintään 24 tunnin ajan, mahdollistaa kohtuullisen tutkimuksen (*Holst 2000, 216*).

Kuvaaminen tapahtuu siten, että auringon annetaan lämmittää kattoa päivällä. Kuvaus voidaan aloittaa heti auringon laskun jälkeen, jolloin kuivat rakennusosat näkyvät lämpimämpinä kuin kostuneet rakennusosat. Eristeissä oleva vesi pysyy pääsääntöisesti viileänä, koska kosteista rakennusosista haihtuva vesi jäähdyy niitä. Ulkopuolelta katsottuna katon märät eristeet näkyvät siis lämpökameralla viileämpinä kuin kuivat alueet.

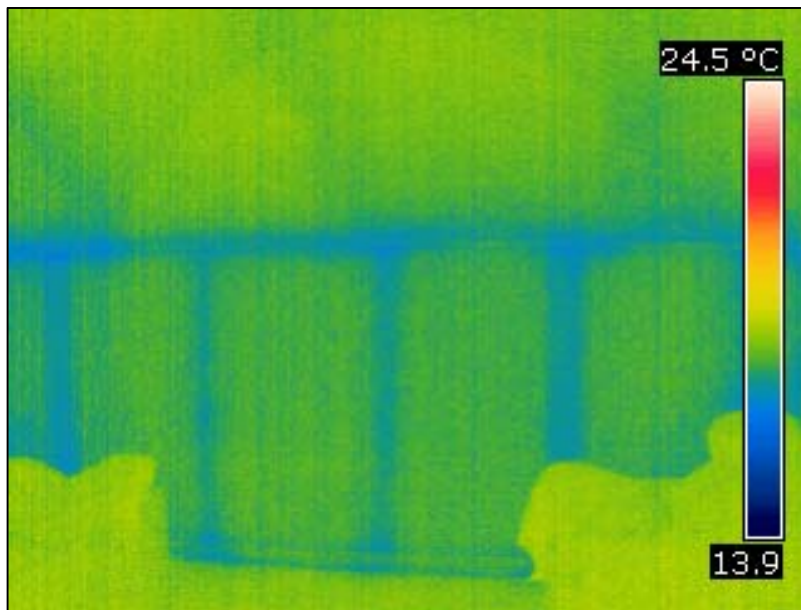
7.12 Muut lämpökameralla havaittavat viat ja vauriot

Takkojen ja hormien halkeamia voidaan suotuisissa olosuhteissa havaita lämpökameralla. Takan lämmittämisen jälkeen halkeamat näkyvät lämpökuvassa takan muuta pintaa lämpimämpänä. Kuvaus on järkevää tehdä silloin, jos epäilee takassa tai hormissa halkeamaa, joka voi huomaamatta jäätyään pahimmassa tapauksessa johtaa paloturvallisuuden heikkenemiseen tai tulipaloon.

Liin, Yaon, Leen ja Yangin tutkimuksen mukaan lämpökuvauksella voidaan käyttää luotettavasti myös irtoamassa olevien keraamisten laattojen paikallistamiseen julkisivusta.

Irtoamassa olevat laatat näkyvät lämpökamerassa muusta seinästä poikkeavana lämpötilana. Tällaisen julkisivututkimuksen avulla voidaan paikallistaa vaurioituneet alueet tarkasti, jolloin korjaussuunnitelmasta saadaan tarkempi ja kattavampi (*Journal of Non-destructive Evaluation 1: 2000, 11*).

Lämpökuvausta voidaan käyttää myös rakenteiden paikallistamiseen. Esimerkiksi puurakenteisen rakennuksen runkotolppien sijaintia voidaan paikallistaa lämpökameralla, kuten kuviossa 16 on esitetty.



Kuvio 16: Omakotitalon yläkerran ulkoseinän runkotolpat paikallistettuna lämpökameralla

8 Kuvaustulosten raportointi

8.1 Yleistä

Koska lämpökuvausten tilaajat eivät aina ole rakennusfysiikkaan tai lämpökuvaukseen perehtyneitä rakentamisen ammattilaisia, on lämpökuvauksen raportointi avainasemassa kuvaajan ja tilaajan välisessä kommunikaatiossa. Raportti tulee olla riittävän selkeä ja ymmärrettävä. Hyvässä lämpökuvausraportissa on esitetty vähintään ne viat, jotka edellyttävät korjausta tai muita jatkotoimenpiteitä.

Lämpökuvaaja esittää raportissa myös arvion vian syystä, sekä mahdollisen korjausehdotuksensa. Raportin pitää ehdottomasti olla puolueeton ja tosiasioihin perustuva. Tulosten vääristelystä, esim. lämpötila-asteikon vaihtelusta, ei ole kummallekaan osapuolelle hyötyä.

Kyseessä voi myös olla omistajan tai urakoitsijan kannalta isot taloudelliset arvot, jolloin tulosten pitää olla riittävän hyvin varmistettuja ja luotettavia (*Ympäristö ja terveys -lehti 4:2009, 27*).

8.2 Lämpötilaindeksi

Lämpökameralla mitataan pintojen lämpötiloja. Huoneilman ja huoneen pintojen ohjeelliset arvot on määritelty Asumisterveysohjeessa. Ohjearvot perustuvat Asumisterveysohjeen mukaan mittaolosuhteisiin, joissa ulkoilman lämpötila on -5 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C . Jos mittaustuloksen poikkeavat vertailuolosuhteista, voidaan mitattuja pintalämpötiloja verrata ohjearvoihin lämpötilaindeksiä käyttäen (*Asumisterveysohje 2003, 15*).

Lämpötilaindeksin laskemiseksi mitataan huonelämpötila, ulkolämpötila ja rakenteen sisäpinnan lämpötila. Lämpötilaindeksi on suhdeluku, jota käyttämällä voidaan arvioida ja vertailla eri rakenteiden lämpöteknistä kuntoa lämpöviihtyvyyden ja terveyshaitan kannalta. Sijaitivatpa rakenteet sitten samassa rakennuksessa tai eri puolilla Suomea.

Lämpökuvausraportoinnissa lämpötilaindeksi on lämpökuvaajalle tärkeä työkalu, joka mahdollistaa yhtenäisen raportoinnin. Lämpötilaindeksi on rakenteelle vastaava kuin

energiatodistus kodinkoneelle. Lämpötilaindeksin käyttö antaa aihetta tuntemattomillekin mahdollisuuden vertailla rakenteita keskenään.

Lämpötilaindeksi (eli thermal index) lasketaan rakenteesta kaavan 1 avulla

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

jossa,

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = mitattu sisäpinnan lämpötila, °C (*yleensä minimilämpötila*)

T_o = ulkolämpötila, °C

T_i = sisäilman lämpötila, °C (*mitataan 1,5 m korkeudelta keskeltä huonetilaa*)

Lähde: (Ympäristö ja terveys -lehti 4:2009, 24)

Seuraavassa taulukossa 3 on esitetty asumisterveysohjeessa esitettyjä lämpötilojen ja lämpötilaindeksien ohjeellisia arvoja. Hyvän tason ohjeellisten arvojen alittuessa rakente ei täytä uudisrakentamiselle asetettuja, rakentamismääräyskokoelman mukaisia, vähimmäisvaatimuksia. Välttävän tason ohjeellisten arvojen alittuessa voi rakenteen rakennusfysikaalisesta toimimattomuudesta aiheutua tilojen käyttäjille terveyshaittaa. Tämän vuoksi tulisikin pyrkiä aina ohjeellisissa arvoissa mainittuun hyvään tasoon.

Taulukko 3: Lämpötilojen ja lämpötilaindeksien ohjeellisia arvoja asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa (*Asumisterveysohje 2003, 17*)

<i>Asunto ja muu oleskelutila</i>	<i>Välttävä taso</i>		<i>Hyvä taso</i>	
<i>Huoneilman lämpötila</i>	<i>18 °C</i>		<i>21 °C</i>	
<i>Operatiivinen lämpötila</i>	<i>18 °C</i>		<i>20 °C</i>	
<i>Seinän lämpötila</i>	<i>16 °C</i>	<i>TI = 81</i>	<i>18 °C</i>	<i>TI = 87</i>
<i>Lattian lämpötila</i>	<i>18 °C</i>	<i>TI = 87</i>	<i>20 °C</i>	<i>TI = 97</i>
<i>Pistemäinen pintalämpötila</i>	<i>11 °C</i>	<i>TI = 61</i>	<i>12 °C</i>	<i>TI = 65</i>

Taulukossa TI = thermal index eli lämpötilaindeksi

Lämpötilaindeksillä voidaan Asumisterveysohjeen mukaan arvioida rakennuksen vaiipan lämpöteknistä toimivuutta. Seinän ja lattian pintalämpötiloja arvioidaan lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä – 5 °C ± 1

°C:n ulkolämpötilassa (*Asumisterveysohje 2003, 15*). Koska käytännössä hyvin harvoin ulkolämpötila on Suomessa tasan -5 °C , käytetään rakennusten lämpökuvausten raportoinnissa aina lämpötilaindeksiä.

Rakennuksen lämpökuvaus Ratu-kortissa on lämpötilaindeksille esitetty seuraavat ohjeavot ja korjausluokitus (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 5*):

TI < 61 %

- korjattava, korjausluokka 1
- ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa
- rakenteessa todennäköinen terveyshaitta

TI = 61-65 %

- korjaustarve selvitettävä (käytännössä rakenne tarkistettava), korjausluokka 2
- ei täytä Asumisterveysohjeen hyvää tasoa, mutta täyttää välttävän tason
- terveyshaitta mahdollinen
- todennäköinen rakennevirhe

T = 65-70 %

- lisätutkimuksia, korjausluokka 3
- täyttää Asumisterveysohjeen hyvän tason, mutta käyttötarkoitus huomioiden rakenteen toimivuudessa piilee riski
- rakenteen kosteustekninen toiminta tarkasteltava tai tehtävä muita lisätutkimuksia

T >70 %

- ei korjaustoimenpiteitä, korjausluokka 4
- täyttää Asumisterveysohjeen hyvän tason

Ongelmalliseksi lämpötilaindeksin käytön tekee Ratu-kortin mukaan se, että kuvauksia raportoitaessa tulisi huomioida sijaitseeko poikkeava rakenne oleskeluvyöhykkeellä vai ei. Kuitenkin ulkoseinän ja ylä- tai alapohjan liitoskohtien alhaiset lämpötilaindeksit kertovat yleensä rakenteessa olevasta virheestä, joista tulee raportoitaessa mainita. Ratu-kortin ohjeen mukaan kaikki alle 70 % lämpötilaindeksit raportoidaan (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 5*).

Kauppisen mukaan edellä esitettyjä lämpötilaindeksien arvoja ei tule käyttää suoraan ikkunarakenteiden pintalämpötilojen arviointiin, mutta lämpötilaindeksiä käyttämällä voidaan arvioida niiden mahdollista kunnostus- tai korjaustarvetta. Sen sijaan karmin ja seinärakenteen liitoslämpötilojen arviointiin kyseessä olevaa jaottelua voidaan käyttää (*Ympäristö ja terveys -lehti 4:2009, 27*).

Asumisterveysoppaan mukaan uusien ja uudehkojen rakennusten liitoskohtien pintalämpötilojen tulisi olla Asumisterveysohjeessa määritetyt arvoja korkeampia. Vanhoissakin rakennuksissa tulisi ulkovaipan liitoskohtien pintalämpötilatason olla pintalämpötilaindeksillä esitettynä yli 61 (*Asumisterveysopas 2008, 28 - 29*).

Kalameesin tutkimuksen mukaan Suomen Asumisterveysohjeen arvot eivät ole kansainvälisessä vertailussa mitenkään tiukat. Esimerkiksi Belgiassa, Saksassa, Ruotsissa, Sveitsissä, Puolassa, Portugalissa ja Iso-Britanniassa on lämpötilaindeksin raja-arvo huomattavasti tiukempi kuin Suomessa. Ainoastaan Ranskassa oli kyseiseen tutkimukseen liittyvän selvityksen mukaan alhaisempi raja-arvo kuin Suomessa (>52 %) (*Ympäristö ja terveys -lehti 4:2009, 26*)¹.

Lämpötilaindeksiä käytettäessä on myös huomioitava, että sen tarkkuus on Ratu-kortin mukaan parhaimmassakin tapauksessa + 3 lämpötilaindeksin yksikköä. Lämpötilaindeksi kerrotaan raportissa yleensä ilman desimaaleja, mikä lisää sen epätarkkuutta (*Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005, 7*).

8.3 Ratu -ohjekortti

Vuonna 2005 julkaistiin Rakennuksen lämpökuvauksen Ratu-ohjekortti, johon on tässäkin työssä viitattu jo aiemmin. Ohjekorttiin koottiin lämpökuvauksen toimintaohjeet niin kuvaajien kuin tilaajien tarpeita varten. Jokaisen rakennusten lämpökuvauksen tulisi osata kortti läpikotaisin, mutta ei sen osaamisesta ole haittaa myöskään kuvausten tilaajille. Korttiin on koottu rakennuksen lämpökuvauksen tilaamiseen ja suoritukseen liittyviä asioita.

¹Alkuperäinen lähde: Kalamees, Targo: Kosteuskuormien vaikutus lämpötilaindeksin raja-arvoon. Rakennusfysiikka-seminaari 2007, Tampereen teknillinen Korkeakoulu.

Mittausolosuhteet

Ohjekorttiin on määritelty seikkaperäisesti millaisissa olosuhteissa rakennuksia voidaan luotettavasti lämpökameralla kuvata. Raja-arvoja on annettu niin lämpötiloista kuin paine-eroista. Myös sään, lämmityksen ja ilmanvaihdon tilan huomioimisesta on omat ohjeet. Mittausolosuhteet on määritelty tarkasti siksi, että niillä oleellinen merkitys lämpökuvauksen onnistumisen, ja täten luotettavuuden kannalta.

Mittausten suoritus

Ratu-kortissa on esitetty millaisia toimenpiteitä rakennuksessa tulee tehdä ennen lämpökuvauksen aloittamista. Mittauksen valmistelee yleensä lämpökuvaaja ja hän myös tiedottaa valmistelevista toimista tilojen käyttäjää. Tilaajan on hyvä tiedostaa miksi tiettyjä toimenpiteitä tehdään, tai kielletään tekemästä, ennen lämpökuvausta. Tällaisia ovat esimerkiksi huonekalujen siirtäminen pois ulkoseiniltä tai tilojen tuulettamisen kieltäminen.

Lämpökuvauksen lisäksi kuvaaja tekee kohteessa muita oheismittauksia, joiden suorittamisesta on ohjeita myös Ratu-ohjekortissa. Lämpökuvaus yleensä aloitetaan ja päätetään oheismittauksiin. Oheismittaukset ovat tärkeitä kuvaustuloksia analysoitaessa ja raporttia laadittaessa. Hyvin harvoin lämpökuvaaja suorittaa lämpökuvausta ilman mitään oheismittauksia.

Lämpökuvien tulkinta ja raportoitavat poikkeamat

Myös lämpökuvien tulkinnasta on ohjekortissa esitetty pääpiirteet. Tilaajan kannattaa tutustua Ratu-kortin ohjeisiin lämpökuvien tulkinnasta, jotta hän osaa ”lukea” kuvia oikein.

Poikkeamien raportointia varten ohjekortissa esitellään tässäkin opinnäytetyössä aiemmin mainitut lämpötilaindeksin rajat sekä korjausluokitus. Ohjekortissa kerrotaan siis millaisista poikkeamista kuvaajan tulee raportoida, ja minkä tasoiset poikkeamat edellyttävät korjaustoimenpiteitä. Ohjekortissa mainitaan miten kuvaajan tulee huomioida, tuloksia tulkitessaan ja raportoidessaan, muut määräykset ja ohjeet, jotka vaikuttavat rakennusten sisäilmastoon tai käyttäjien terveydellisiin oloihin.

Raportointimuodot

Ohjekortissa esitellään kaksi tapaa raportoida lämpökuvauksen tuloksia. Raportointi voidaan tehdä joko mittausraportilla tai laajemmalla lämpökuvausraportilla. Lämpökuvausraportissa esitetään saatujen tuloksien lisäksi tarkasteluja kohteen lämpöteknisestä kokonaisuudesta sekä poikkeamien korjaus- ja jatkotoimenpide-ehtotuksia.

Aina ei ole tarvetta laatia lämpökuvauksesta raporttia lainkaan. Yleensä kyseessä on tällöin erikoistapaus, esim. yksittäinen nopea lattialämmitysputken paikallistaminen. Toisaalta lämpökuvien tallentaminen ei nykylaitteilla maksa juuri mitään, ja siksi onkin suositeltavaa ottaa kaikista kuvauksista varmuuden vuoksi lämpökuvia.

Lomakkeet ja tulkintaesimerkit

Ohjekortin liitteenä on muutama lämpökuvaukseen liittyvä lomake. Lämpökuvaussopimuslomaketta voidaan käyttää kuvaajan ja tilaajan välisenä sopimuslomakkeena. Kuvaajia varten on kenttätyölomake, ja käyttäjien tiedottamiseen käyttäjätiedotemalli. Ohjekortin liitteiksi on koottu myös useita erilaisia lämpökuvien tulkintaesimerkkejä niin kuvaajien kuin tilaajien työn tueksi.

9 Kyselytutkimus

9.1 Tutkimusongelma

Tutkimuksella pyrittiin selvittämään vastaajien tietämystä rakennusten lämpökuvaamisesta sekä kokemuksia lämpökuvauksen käytöstä uudis- ja peruskorjauskohteissa. Tutkimuksella haluttiin selvittää erityisesti lämpökuvaukseen liittyvää koulutustarvetta sekä syitä siihen, miksi lämpökuvausta ei käytetä nykyistä laajemmin ja useammin rakennusten laadunvarmistuksessa. Tutkimus tehtiin satunnaisesti valitulle joukolle, jossa oli edustajia tilaajien, rakennusurakoitsijoiden, lämpökuvaajien ja lämpökameramyymien parista.

9.2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmäksi valittiin survey- eli kyselytutkimus, koska se koettiin joustavaksi ja monipuoliseksi tutkimusmenetelmäksi. Huonoina puolina kyselytutkimuksessa on se, että aineistoon liittyy aina virheen mahdollisuus. Vastaajat saavat valmiit vastausvaihtoehdot, joista heidän tulee valita itselleen parhaiten sopivan vaihtoehto. Tämä asetti haasteeksi luoda kyselylomakkeesta sellainen, jossa on huomioitu mahdollisimman hyvin eri vastausvaihtoehdot.

Tutkimus tehtiin otantatutkimuksena, koska perusjoukko olisi ollut liian suuri. Pienemällä otannalla koettiin saatavan riittävän suuntaa-antavat tulokset, joita voidaan soveltaa koko perusjoukkoon. Otoksen suuruudeksi valikoitui yhteensä 154 henkilöä, joista 34 oli lämpökuvaajia, 85 tilaajien edustajaa, 8 toimii lämpökuvaukseen liittyvän opetuksen parissa, 6 myy lämpökameroita ja 21 toimii rakennusurakoitsijana.

9.3 Tutkimuksen suoritus

Kyselytutkimus tehtiin Internetin välityksellä käyttäen toimeksiantajani kehittämää Kihlanet®-kiinteistönhallinta ja laadunvalvontajärjestelmää, jossa on erillinen Kihla®-kyselytutkimussovellus. Kaikille vastaajaehdokkailla lähetettiin sähköpostilla kyselyn saate, ohjeet kyselystä ja vastaajakohtainen linkki kyselyn nettisivuille. Vastaukset kirjautuivat suoraan Kihla®-kyselytutkimussovellukseen, jossa niistä voidaan muodostaa erilaisia raportteja ja vertailuja.

Vastaajat vastasivat kyselyyn nimettömänä, mutta he saivat jättää kyselyn lopussa yhteystietonsa, mikäli halusivat osallistua kyselyn kannustimena olleen elokuvalippupaketin arvontaan. Kyselyn yhteenvedosta kiinnostuneet saivat myös jättää yhteystietonsa, ja heille lähetettiin kooste kyselyn vastauksista.

Kyselylomake laadittiin mahdollisimman yksinkertaiseksi ja ymmärrettäväksi, jotta erilaisella osaamis- ja koulutustaustalla varustautuneet vastaajat pystyivät vastaamaan kyselyyn. Kysely aloitettiin helpoilla vastaajien taustaa selvittävillä kysymyksillä, joihin vastaajien on helppo vastata. Myös Heikkilän mukaan lomakkeen alkuun on syytä sijoittaa helppoja kysymyksiä, joiden avulla pyritään herättämään vastaajan mielenkiinto tutkimusta kohtaan (*Heikkilä 2005, 48*).

Kyselyä testattiin ennen sen lähettämistä toimeksiantajani organisaatiossa, jonka jälkeen siihen tehtiin vielä muutamia testauksessa tärkeiksi koettuja korjauksia. Tästä huolimatta sovelluksen toiminnassa oli kyselyn lähettämishetkellä ongelmia, jotka onneksi pystyttiin korjaamaan nopealla aikataululla. Kaikki kyselyt saatiin liikkeelle muutaman päivän sisällä.

Kyselytutkimus tehtiin kesäkuun alussa 2009. Vastaajille annettiin ensimmäisellä kerralla kohtuullisin lyhyt aika vastata kyselyyn (1,5 viikkoa). Tällä haluttiin varmistaa se, että kyselyyn vastataan heti sen saavuttua. Vastauksia pyydettiin uudestaan kaksi kertaa, joista ensimmäisellä kerralla muistutettiin vielä mahdollisuudesta voittaa elokuvalippupaketti.

9.4 Tutkimuksen pätevyys ja luotettavuus

Heikkilän mukaan tutkimuksen pätevyyteen, eli validiteettiin, vaikuttaa se, mitataanko tutkimuksessa sitä mitä oli tarkoituskin selvittää (*Heikkilä 2005, 29*). Tässä tutkimuksessa vastausten luotettavuus varmistettiin antamalla muissa kuin vastaajien taustoja selvittävissä kysymyksissä vastaajille mahdollisuus valita: ”en voi vastata” tai ”en osaa vastata” -vaihtoehto. Tällä pyrittiin sulkemaan pois se mahdollisuus, että vastaaja joutuu tahtomattaan valitsemaan sellaisen vaihtoehdon, joka hänestä ei parhaiten sovi vastaukseksi.

Pätevässä tutkimuksessa tulee tutkimuslomakkeen kysymysten mitata oikeita asioita yksiselitteisesti, ja niiden tulee kattaa koko tutkimusongelma (*Heikkilä 2005, 29 ja 186*). Tämä varmistettiin tässä tutkimuksessa laatimalla tutkimuslomake siten, että se kattaa koko tutkimusongelman. Kyselylomakkeen lopussa vastaajilla oli mahdollisuus kirjoittaa vapaaseen tekstikenttään kyselyn aiheeseen liittyviä asioita ja kokemuksia. Koska vastaajat eivät tähän kirjanneet merkittävästi samoja asioita, voidaan olettaa, että kyselyssä oli kysytty jo kaikki oleellimmat aiheeseen liittyvät asiat, ja tutkimus on tältäkin osin validi.

Tutkimuksen luotettavuus, eli reliabiliteetti, tarkoittaa Heikkilän mukaan tulosten tarkkuutta. Tutkimuksen tulokset eivät saa olla sattumanvaraisia. Jotta tutkimus on luotettava, se tulee olla mahdollista toistaa samanlaisin tuloksin (*Heikkilä 2005, 29*). Koska tutkimuksen vastaukset tukevat sitä käsitystä mikä aiheesta oli jo ennen tutkimusta, ja koska tulokset olivat pääsääntöisesti yhdenmukaisia, voidaan tutkimusta pitää luotettavana.

9.5 Tutkimuslomake

Tutkimuslomakkeen kysymykset muodostuivat neljästä osasta:

- vastaajien taustaa selvittävät kysymykset
- vastaajien kokemukset lämpökuvauksesta
- vastaajien kokemukset lämpökameroista
- vastaajien kokemukset lämpökuvauksen ja siihen liittyvän koulutuksen tarpeista tulevaisuudessa

Kysymykset olivat pääsääntöisesti suljettuja, eli vaihtoehdot antavia kysymyksiä. Suljetuissa kysymyksissä on valmiit vastausvaihtoehdot, joista vastaaja valitsee sopivan tai sopivat. Niitä voidaan kutsua myös monivalintakysymyksiksi tai strukturoiduiksi kysymyksiksi (*Heikkilä 2005, 50*). Tällaisiin kysymyksiin päädyttiin, koska mahdolliset vastausvaihtoehdot olivat pääsääntöisesti tiedossa. Samalla haluttiin varmistaa tulosten selkeämpi käsittelymahdollisuus.

Kyselyn lopussa oli yksi avoin kysymys, johon vastaajat saivat kirjoittaa vapaasti kommenttejaan ja mielipiteitään itse kyselystä tai kyselyn aiheesta. Tällä haluttiin varmistaa se, että vastaajat saavat kertoa tutkijalle kyselyn aihepiiristä mieleen tulleita asioista.

Avoimeen kysymykseen tulikin hyvin mielenkiintoisia ja monipuolisia vastauksia. Kaikkia kysymyksiä ei haluttu tehdä avoimina kysymyksinä, koska silloin kysely koetaan helposti työlääksi, ja vastausten käsittely on suljettuja kysymyksiä huomattavasti työläämpää. Avoimet kysymyksen voivat houkutella myös vastaamatta jättämiseen ja niiden luokittelu on vaikeaa (*Heikkilä 2005, 49*).

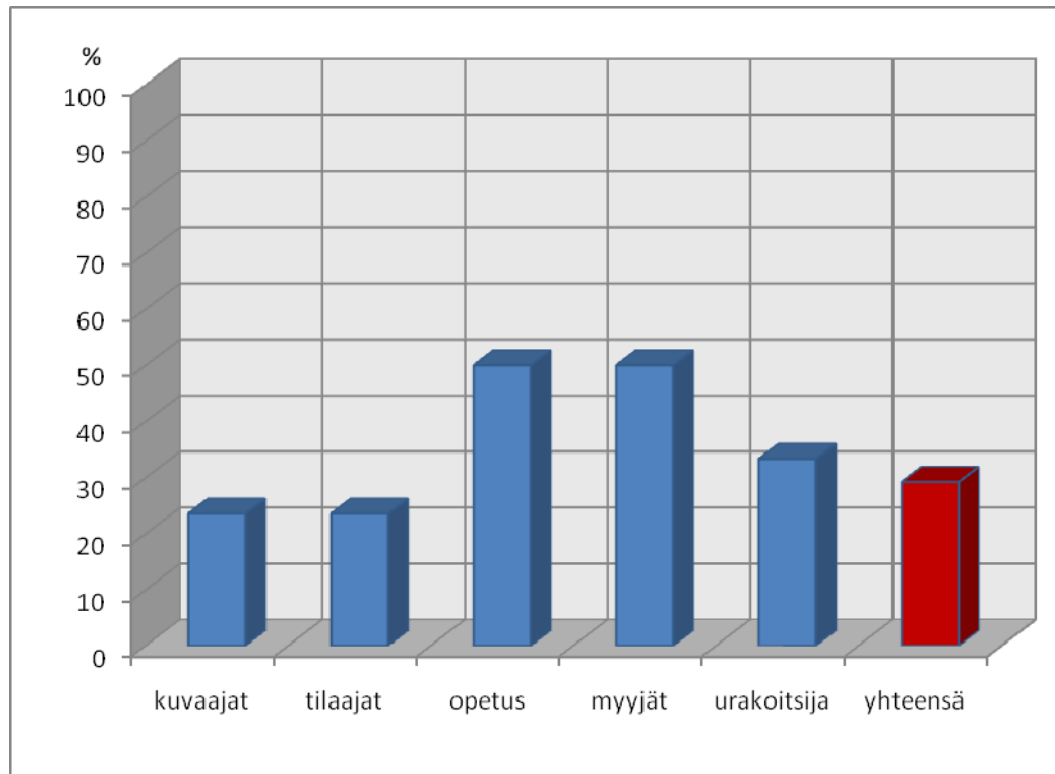
9.6 Vastausaktiivisuus

Kirje- ja nettikyselyssä kato, eli vastaamattomuus, voi olla hyvinkin suuri (*Hirsjärvi, Remses & Sajavaara 2007, 191*). Kyselyyn saatiin 45 vastausta, joka tuottaa vastausprosentiksi 29 %. Vastausprosentti on kohtuullinen. Mikäli kyselyä ei olisi toteutettu kesälomakaudella, vastausprosentti olisi voinut olla suurempi.

Vastauksia pyydettiin uudestaan kahteen otteeseen. Kummassakin yhteydessä vastaajille lähetettiin uusi saatekirje, jossa oli myös linkki kyselyyn. Kyselystä muistuttamisen seurauksena kyselyyn saatiin muutama vastaus lisää alkuperäiseen lähetyskierrrokseen verrattuna. Yhtenä syynä katoon saattaa osaltaan olla käytetyssä kyselytutkimusjärjestelmässä ollut ongelma, joka muutti saatekirjeen ulkoasua sekavammaksi.

Vastausaktiivisuutta arvioitiin myös eri vastaajaryhmien kesken. Tämä oli mahdollista, koska kyselyssä vastaajilta kysyttiin missä rakentamisen tai kiinteistön ylläpidon roolissa he toimivat. Vastausaktiivisuus eri vastaajaryhmillä on esitetty Kuviossa 16.

Vastausaktiivisuudessa, erityisesti kuvaajien ja tilaajien osalta, tulee huomioida se, että vastaajaehdokkaista 55 % oli tilaajaedustajia ja 22 % kuvaajaedustajia. Kaikista vastanneista tilaajaedustajia oli lukumäärällisesti eniten, huolimatta tilaajaedustajien alhaisemmasta vastausprosentista. Suurin osa vastaajista oli siis tilaajia.



Kuvio 16: Eri vastaajaryhmien sekä kaikkien vastaajien vastausaktiivisuus prosentteina

9.7 Virhemarginaali

Kyselyyn ei saatu vastausta kaikilta vastaajaehdokailta. Tutkimuksen tavoitteena oli kuitenkin tutkia ensisijaisesti tilaajaedustajien kokemuksia ja mielipiteitä rakennusten lämpökuvauksesta. Suurin osa vastaajista oli tilaajaedustajia, joten tutkimuksen virhemarginaalia voitaneen pitää kohtuullisen pienenä. Vastauksista havaitaan, että tilaajaedustajien vastaukset ovat yhdenmukaisia muiden vastaajien kanssa, joten tämä tukee myös teoriaa kohtuullisen pienestä kyselyn virhemarginaalista.

Koska rakennusten lämpökuvaus on monille isännöitsijän toimessa toimivalle tilaajaedustajalle vielä aika tuntematon menetelmä, voi olla syynä sille ettei kaikkia vastaajaehdokkaita saatu vastaamaan kyselyyn. Aiheesta tietämätön vastaajaehdokkaas on voinut ajatella, että koska hän ei aiheesta paljon tiedä, ei hänen vastauksensa ole kyselyssä merkityksellinen. Sellaiset vastaajat, joilla on edes jonkinlainen käsitys lämpökuvauksesta, ovat kenties herkemmin vastanneet kyselyyn.

9.8 Kokonaistulokset

Seuraavassa on esitetty kyselyn kokonaistulokset kysymyksittäin graafisissa kuvioissa esitettyinä. Joistakin kysymyksistä on laadittu koosteita, joissa vastausvaihtoehtoja on yhdistelty jonkin yhdistävän tekijän mukaan ryhmiksi. Niistä on esitetty erikseen oma kuvio.

9.8.1 Vastaajien profiili

Kysymyksen: *Sukupuolenne?* tulokset on esitetty kuviossa 17. Vastaajista 91 % on miehiä ja 9 % naisia.

Kysymyksen: *Ikänne?* tulokset on esitetty kuviossa 18. Vastauksista nähdään, että vastaajista suurin osa on 40-60 -vuotiaita.

Kysymyksen: *Ammatillinen koulutuksenne?* tulokset on esitetty kuviossa 19. Vastauksista nähdään, että yleisin koulutus on teknikon koulutus. Vastaajat saivat valita useamman vaihtoehdon.

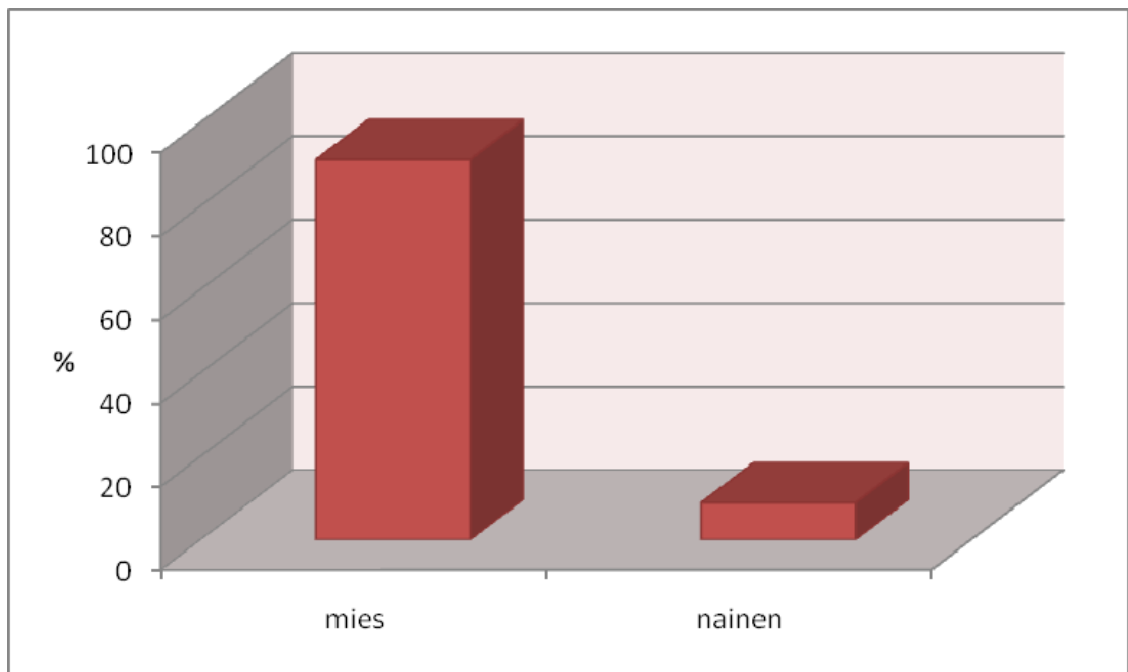
Kysymyksen: *Missä kiinteistön rakentamisen tai ylläpidon roolissa ensisijaisesti toimitte?* tulokset on esitetty kuviossa 20. Vastauksista koottiin myös kooste kuvioon 21, jossa vastaajien roolit on jaoteltuna kolmeen pääryhmään. Tilaajaedustajiin on laskettu kuuluvaksi omistaja, tilaaja, rakennuttaja, isännöitsijä ja valvoja. Urakoitsijaedustajiin kuuluvat urakoitsijat ja konsultit.

Kysymyksen: *Missä toimipisteenne sijaitsee?* tulokset on esitetty kuviossa 22. Vastauksista koottiin kuvio 23, joissa toimipisteen sijainti on jaettu kahteen pääryhmään, Etelä- ja Pohjois-Suomeen.

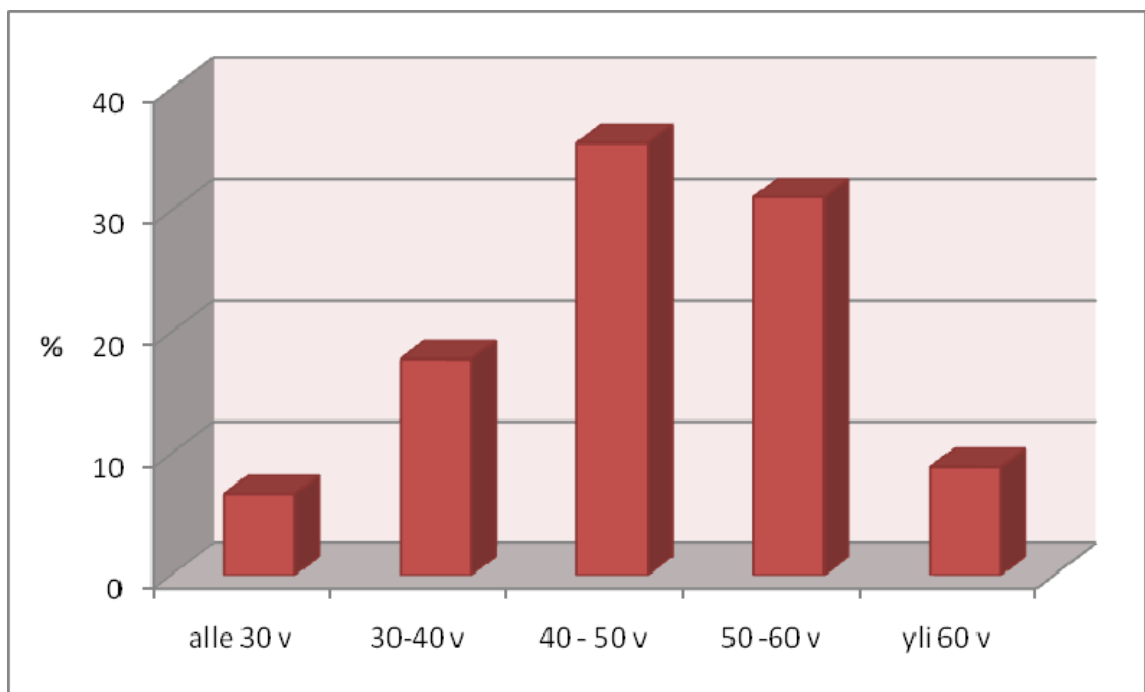
Kysymyksen: *Millä palvelusektorilla toimitte?* tulokset on esitetty kuviossa 24. Tuloksista nähdään, että suurin osa vastaajista kertoo toimivansa ensisijaisesti yksityisellä sektorilla. Vastaajat saivat valita useamman vaihtoehdon.

Kysymyksen: *Millä kiinteistösektorilla toimitte?* tulokset on esitetty kuviossa 25. Vastausten mukaan vastaajat jakautuivat aika tasaisesti eri kiinteistösektoreille. Vuokra-

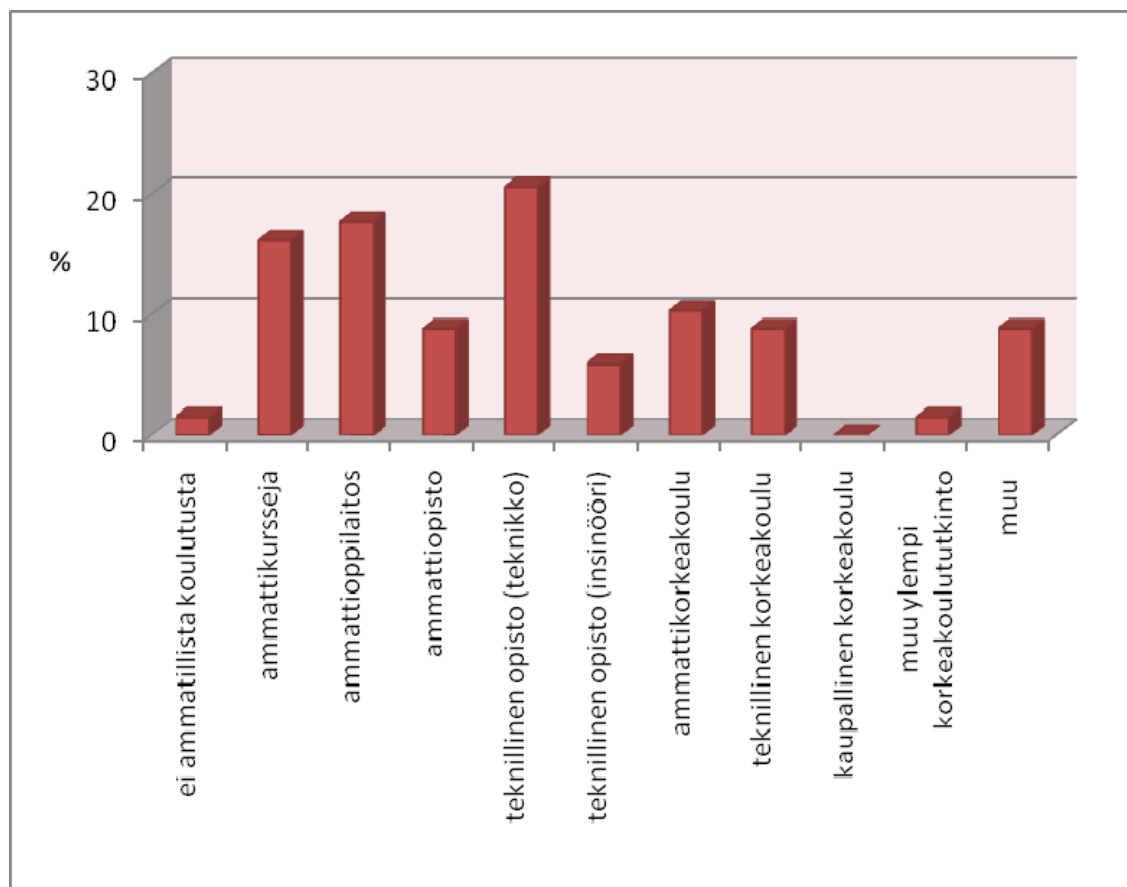
asunto- ja asunto-osakepuolella toimii yhteensä kolmasosa vastaajista. Vastaajat saivat valita useamman vaihtoehdon.



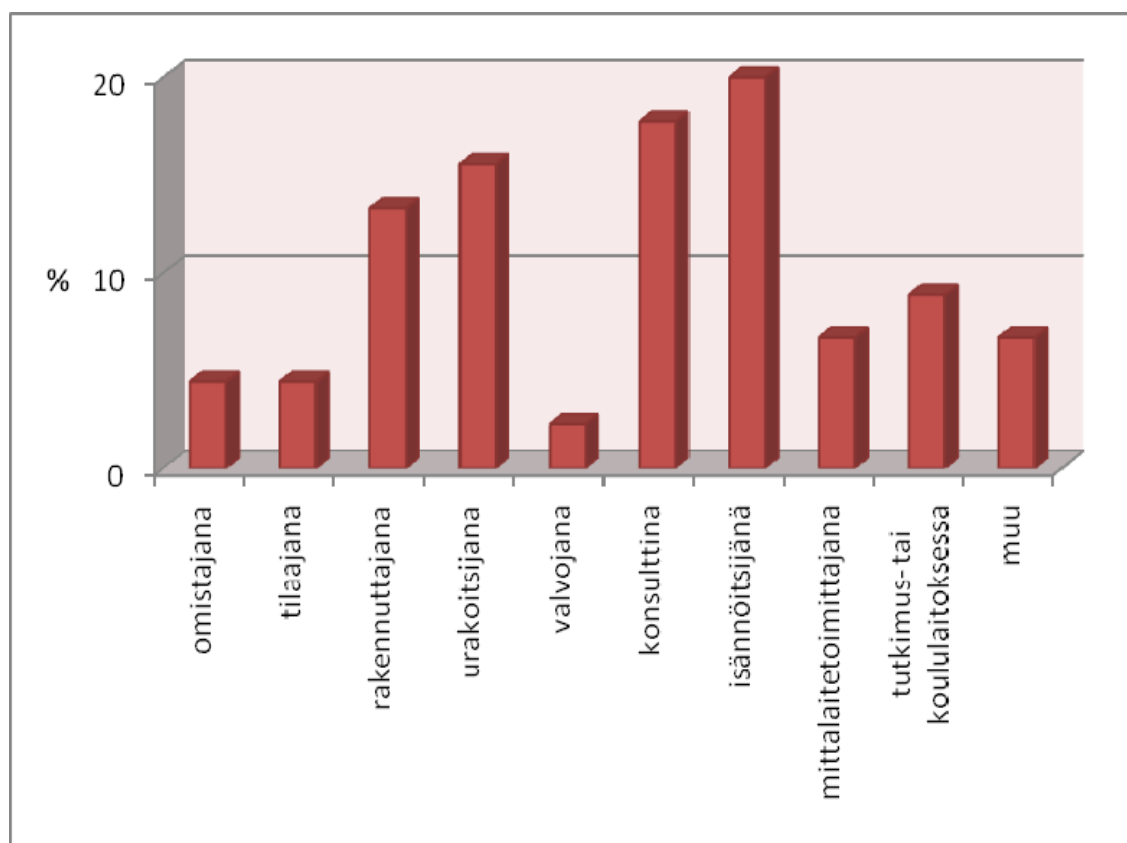
Kuvio 17: Vastaajien sukupuolijakauma



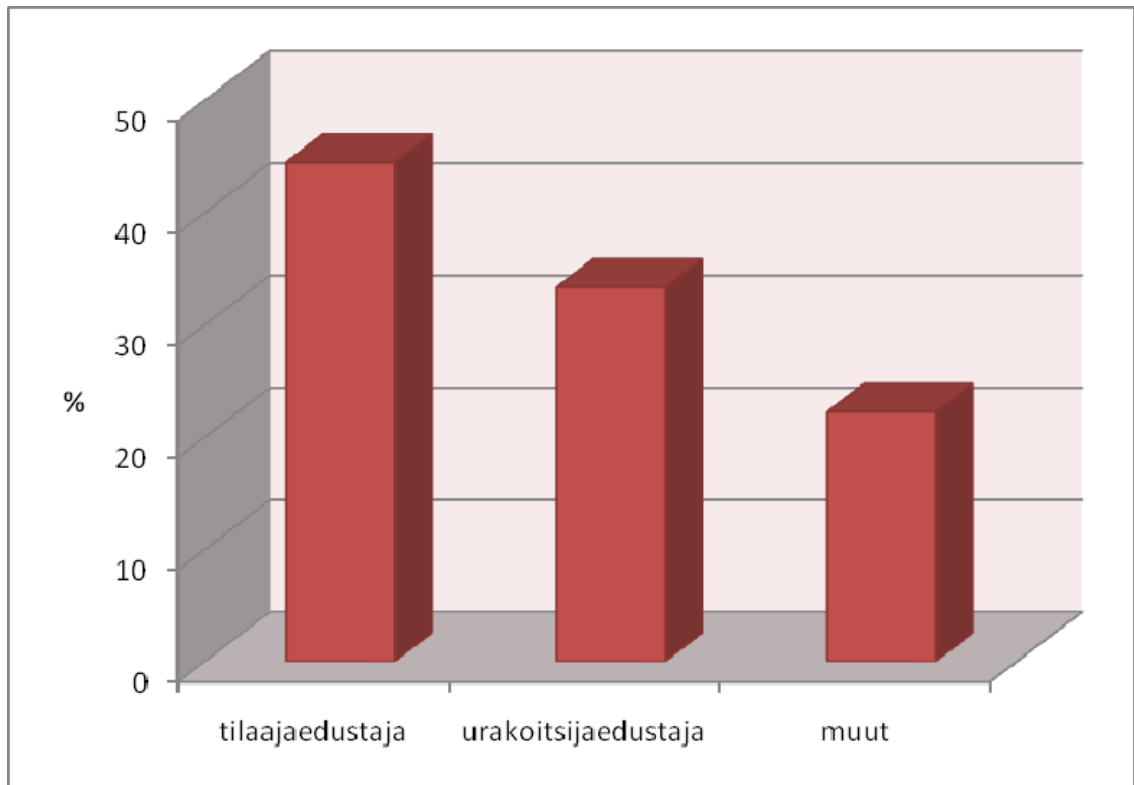
Kuvio 18: Vastaajien ikäjakauma



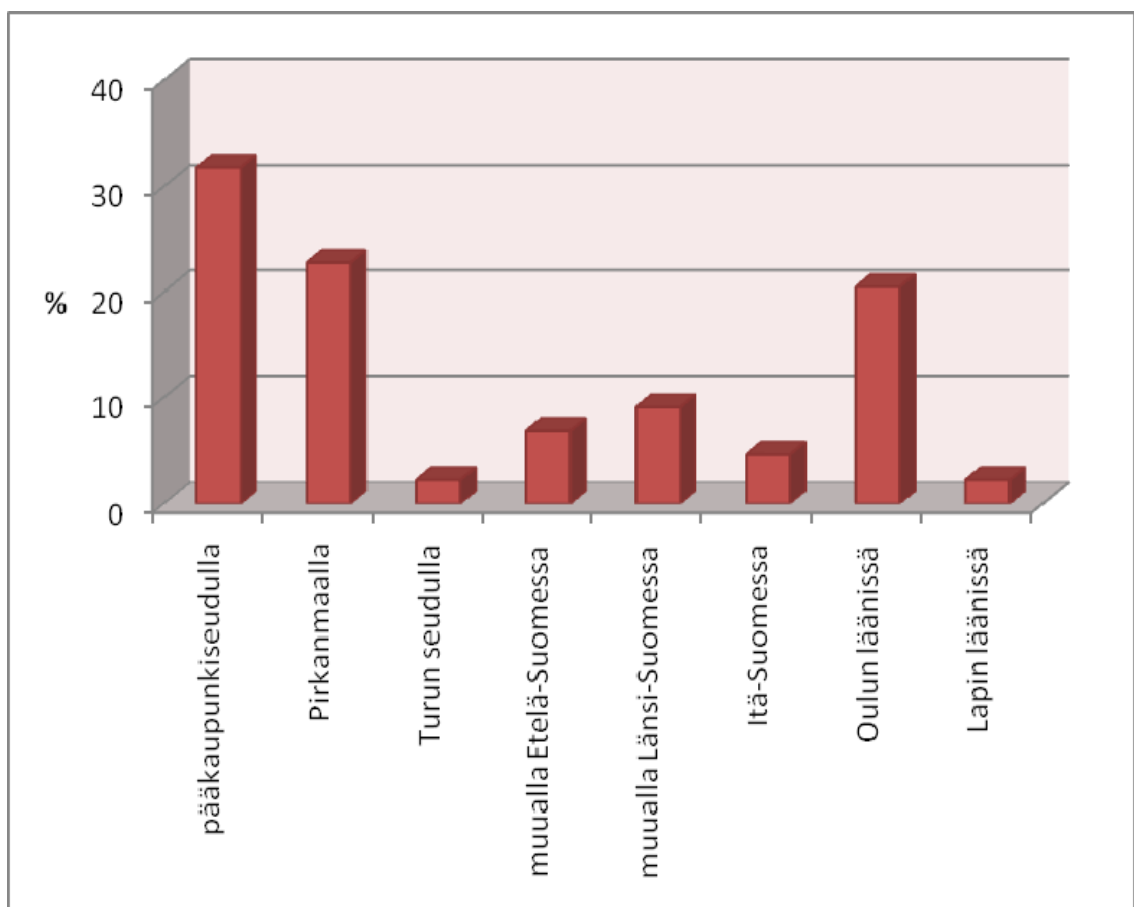
Kuvio 19: Vastaajien koulutustausta



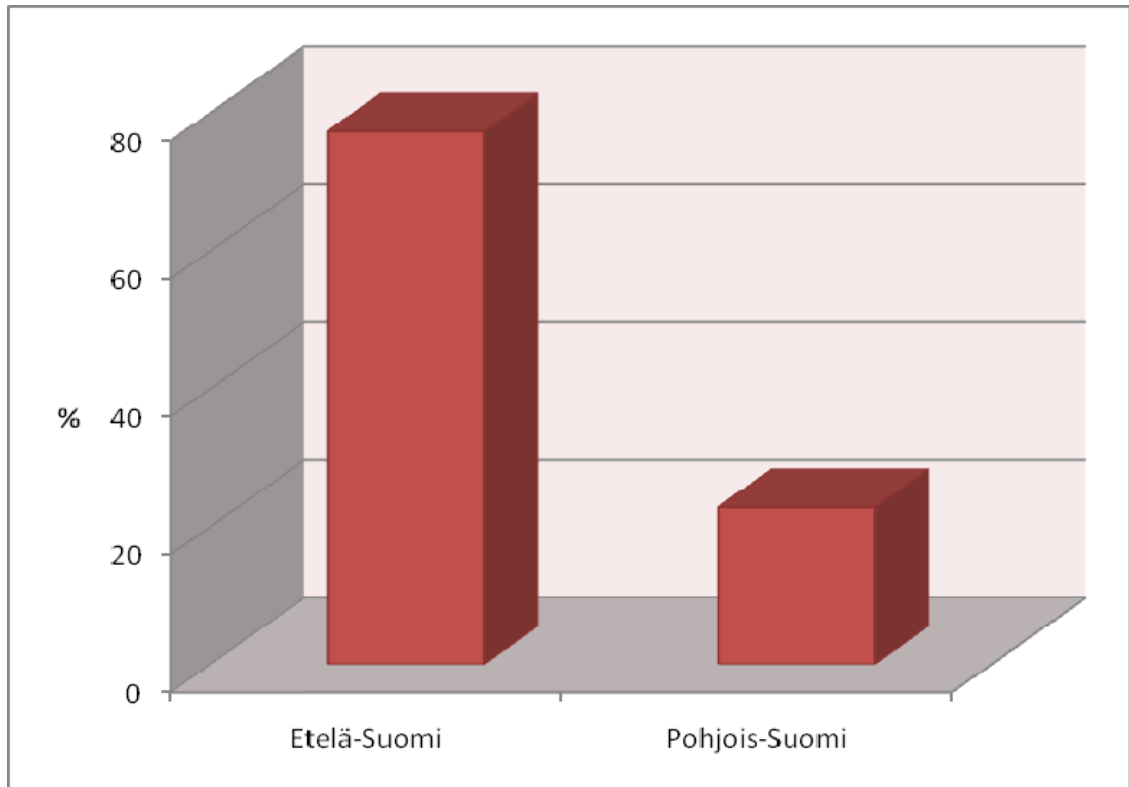
Kuvio 20: Vastaajien roolit rakentamisessa tai kiinteistön ylläpidossa



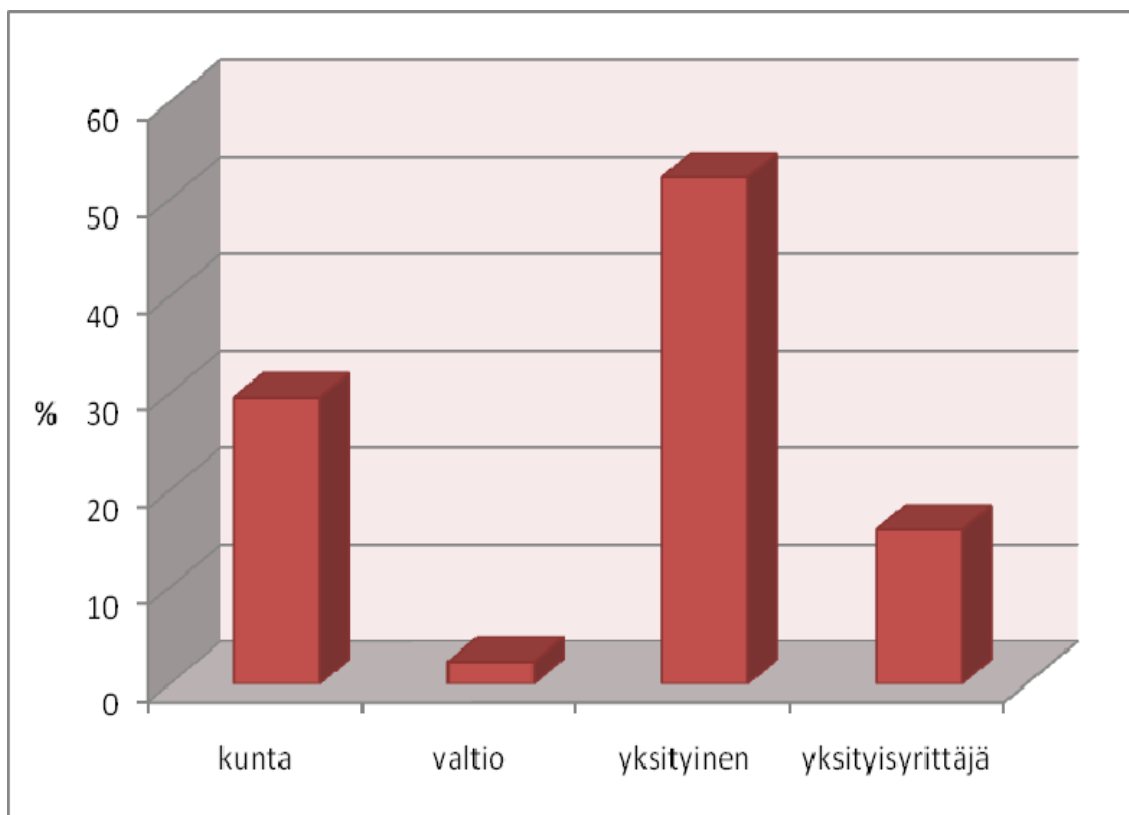
Kuvio 21: Vastaajien roolit jaoteltuna kolmeen pääryhmään



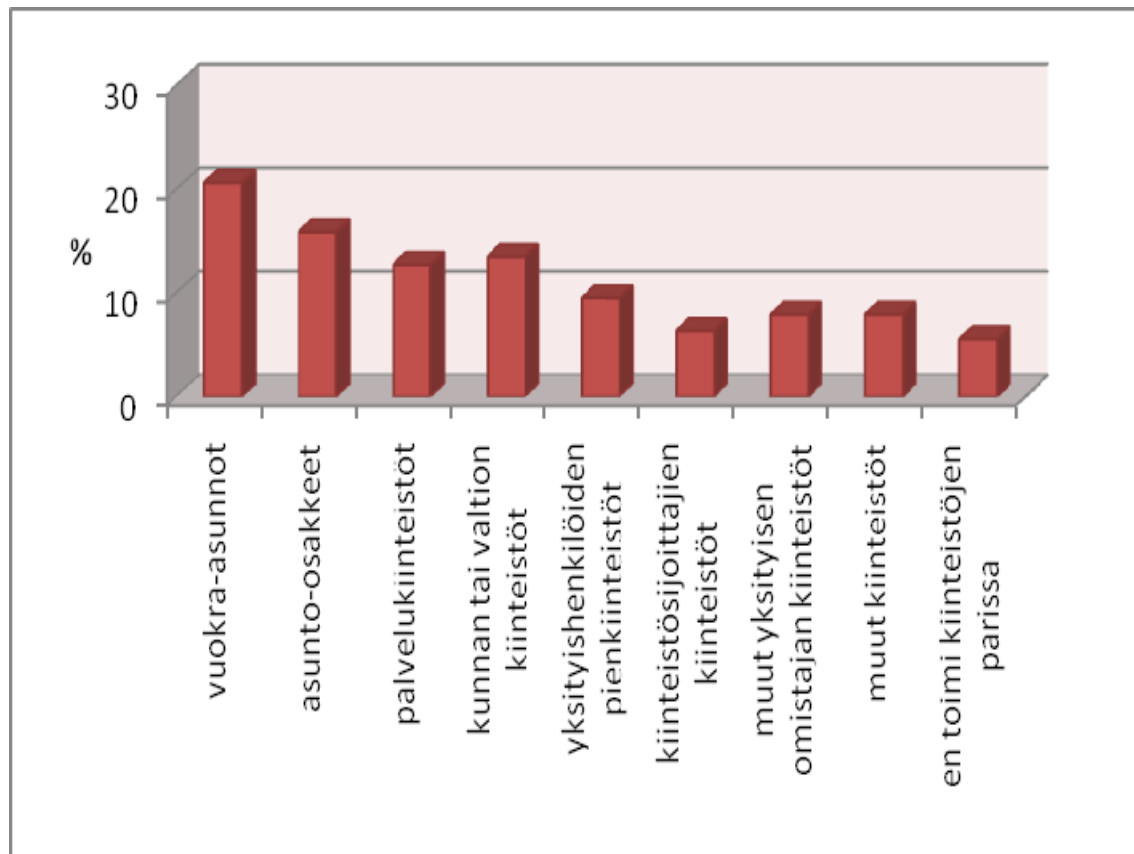
Kuvio 22: Vastaajien toimipisteen sijainti



Kuvio 23: Vastaajien toimipisteen sijainti jaoteltuna kahteen pääryhmään



Kuvio 24: Vastaajien palvelusektorijakauma



Kuvio 25: Vastaajien kiinteistösektorijakauma

9.8.2 Vastaajien kokemukset rakennusten lämpökuvaamisesta

Kysymyksen: *Missä laajuudessa olette tutustuneet rakennusten lämpökuvaukseen?* tulokset on esitetty kuviossa 26. Vastaajista suurin osa oli jollain tavalla tutustunut lämpökuvaamiseen, ja yli 30 % oli suorittanut lämpökuvauksia ja laatinut niistä raportteja.

Kysymyksen: *Kuinka usein uudiskohteenne lämpökuvataan?* tulokset on esitetty kuviossa 27. Lähes 40 % vastaajista vastasi, että ei voi vastata kysymykseen, mikä saattaa johtua osaltaan siitä, ettei heidän organisaatiossaan toimita uudiskohteiden parissa.

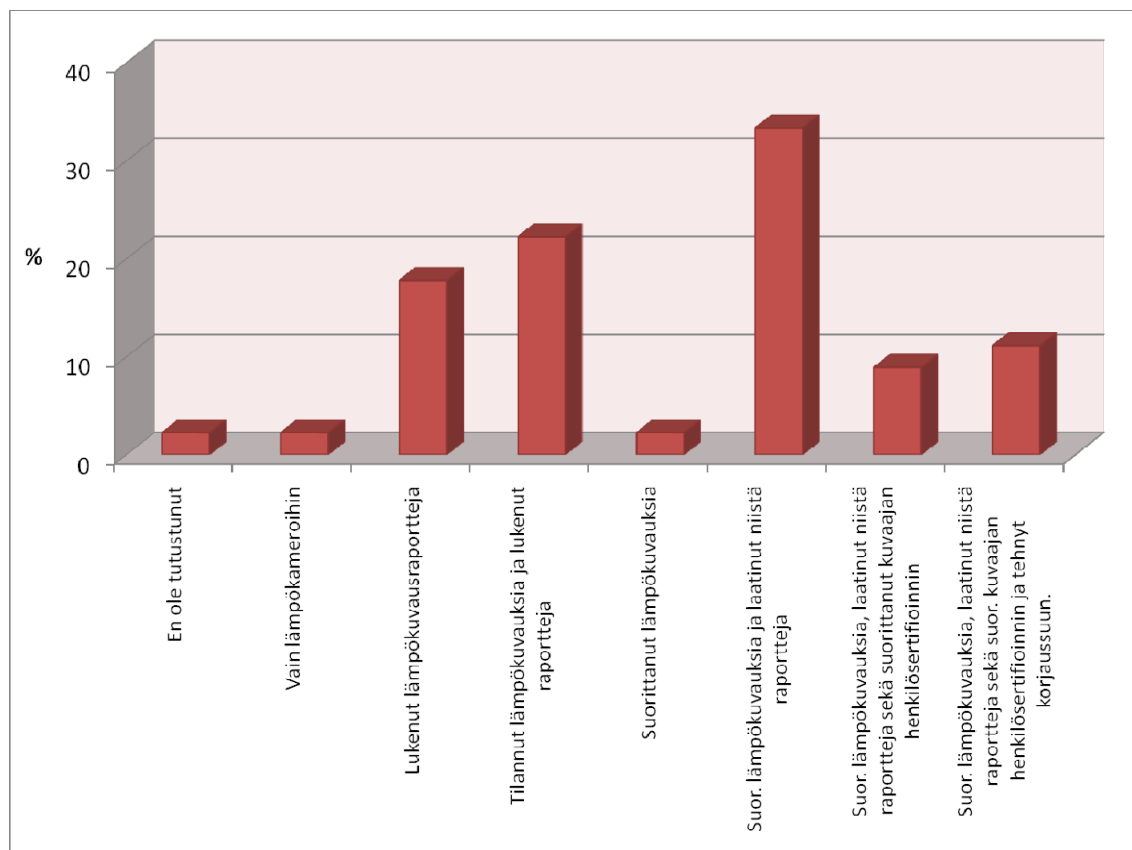
Kysymyksen: *Kuinka usein peruskorjattavat kohteenne lämpökuvataan?* tulokset on esitetty kuviossa 28. Lähes 30 % vastaajista kertoi, että peruskorjauskohteet kuvataan harvoin.

Kysymyksen: *Kuinka usein luulette suurimpien kilpailijoidenne käyttävän lämpökuvausta uudis- ja peruskorjauskohteissa?* tulokset on esitetty kuviossa 29. Vastaajat usko-

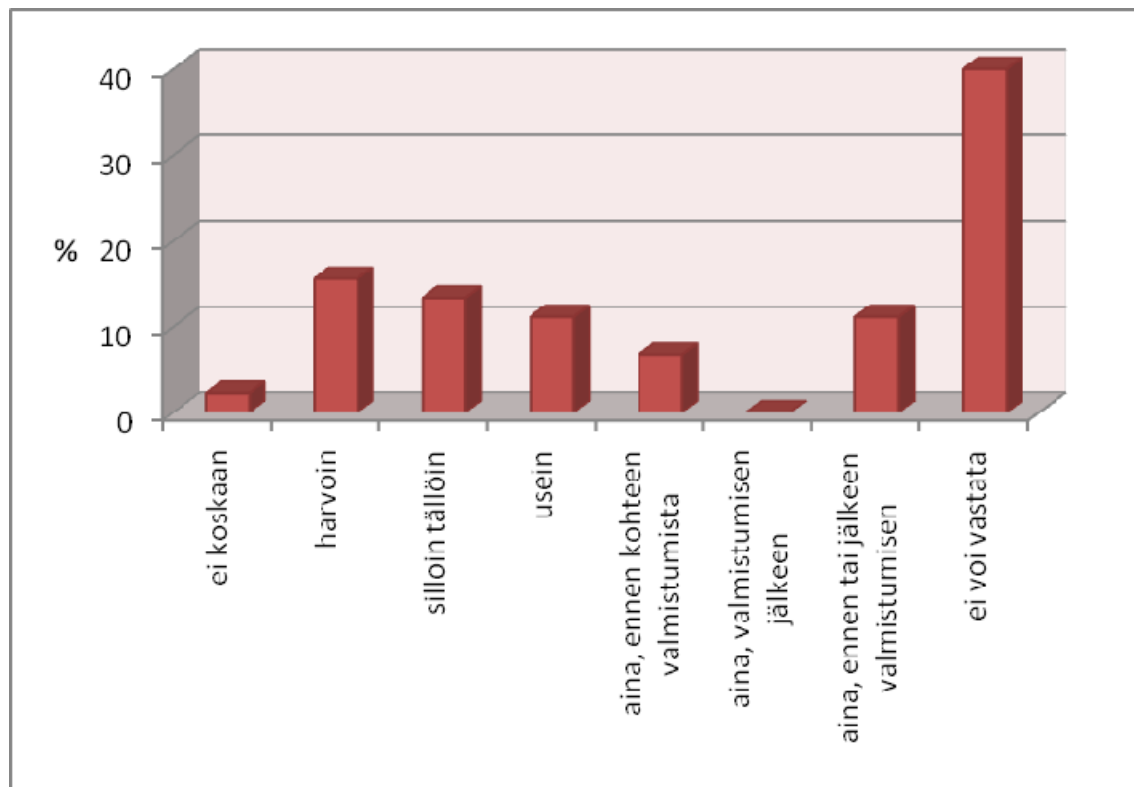
vat kilpailijoiden kuvaavan uudis- ja peruskorjauskohteitaan lämpökameralla useammin, kuin vastaajien kohteita kuvataan.

Kysymyksen: *Minkä arvelette olevan suurin syy siihen, että kaikkia uudis- ja peruskorjauskohteita ei lämpökuvata suomessa?* tulokset on esitetty kuviossa 30. Yli puolet vastaajista uskoi, että koska tilaajat eivät osaa tilata/vaatia lämpökuvauksia, niin kaikkia uudis- ja peruskorjauskohteita ei lämpökuvata Suomessa.

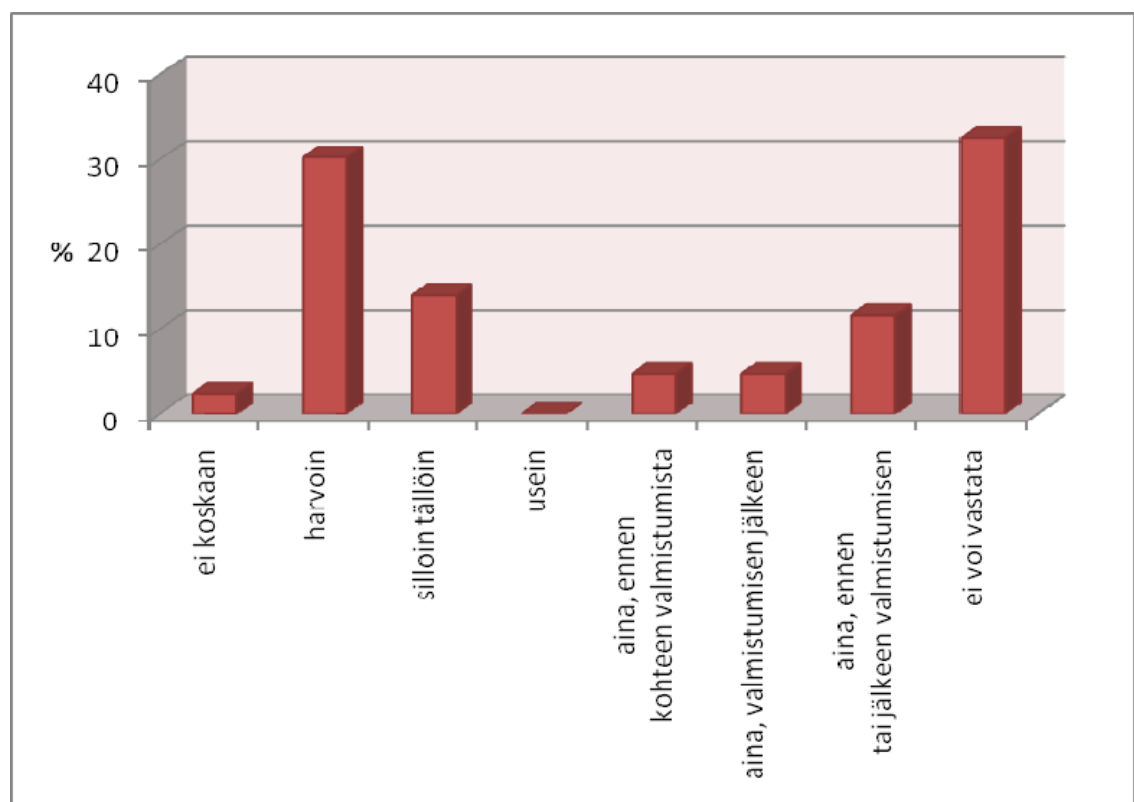
Kysymyksen: *Miten toivoisitte omassa organisaatiossanne hyödynnettävän lämpökuvauksia uudis- ja peruskorjauskohteissa?* tulokset on esitetty kuviossa 31. Vastaajista 60 % toivoi, että heidän omissa organisaatioissa hyödynnettäisiin lämpökuvauksia enemmän kuin nykyään.



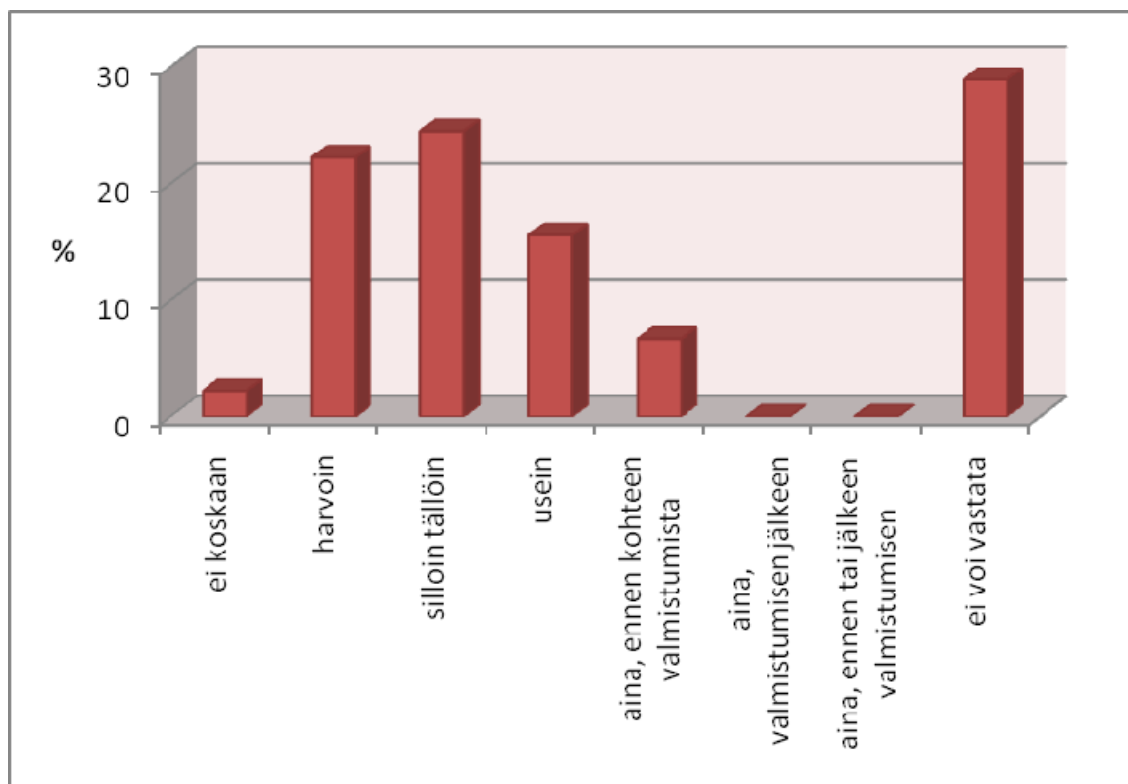
Kuvio 26: Vastaajien kokemuksen rakennusten lämpökuvauamisesta



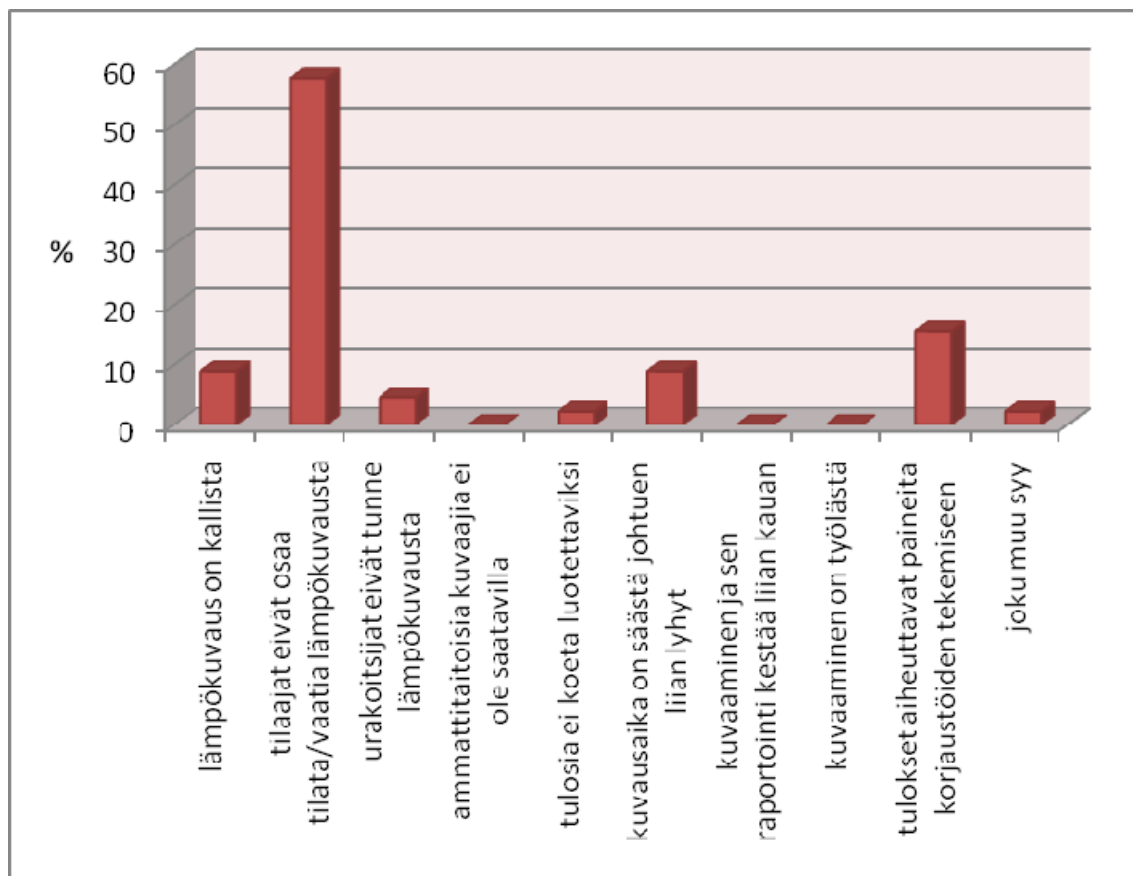
Kuvio 27: Vastaajien kokemukset uudiskohteidensa lämpökuvauksen suorittamisesta.



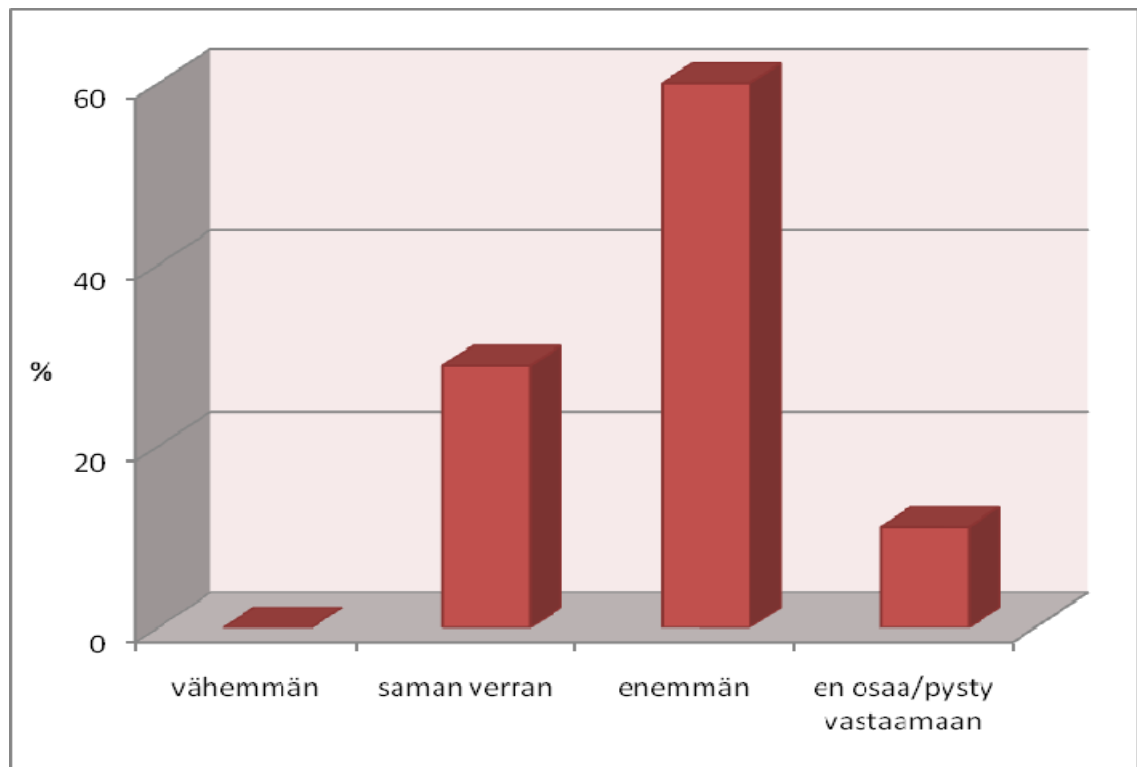
Kuvio 28: Vastaajien kokemukset peruskorjauskohteidensa lämpökuvauksen suorittamisesta



Kuvio 29: Vastaajien kokemukset kilpailijoiden uudis- ja peruskorjauskohteiden lämpökuvauksen suorittamisesta



Kuvio 30: Vastaajien mielestä syyt lämpökameran vähäiseen käyttöön



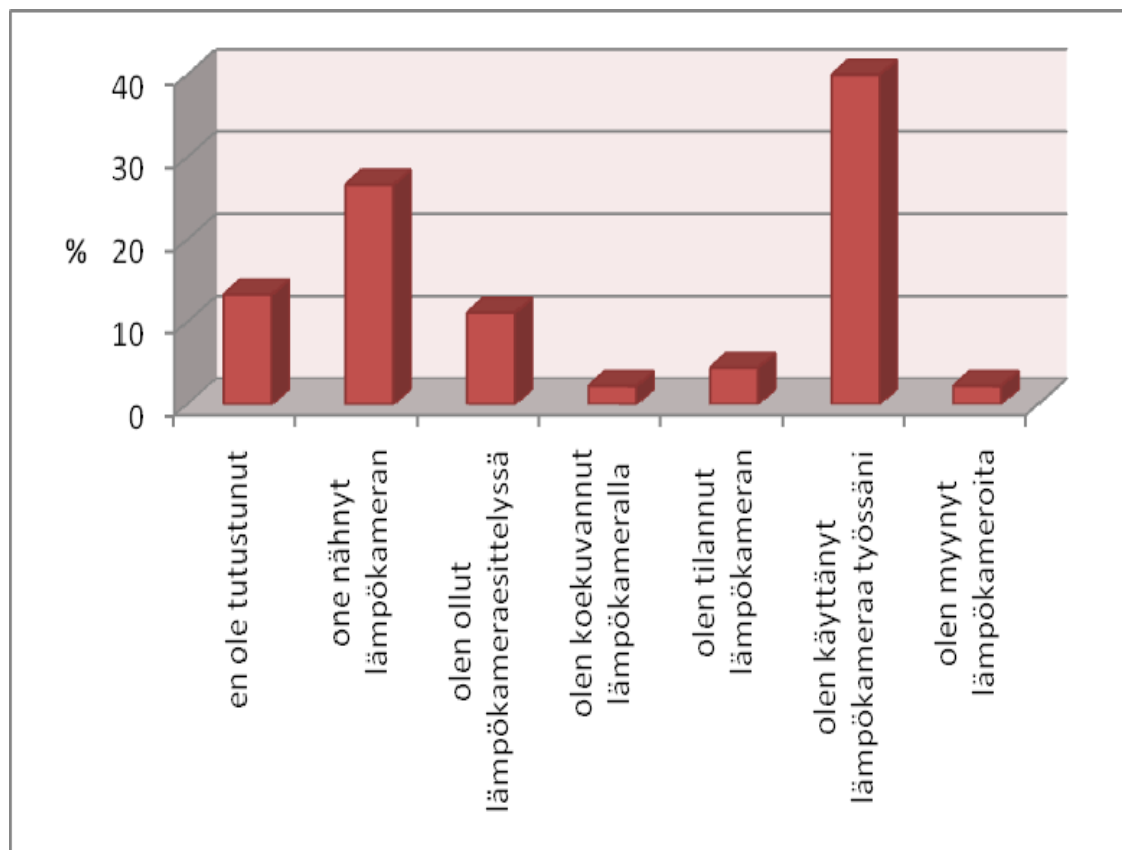
Kuvio 31: Vastaajien toiveet lämpökameran hyödyntämisestä omassa organisaatiossaan

9.8.3 Vastaajien kokemukset lämpökameroista

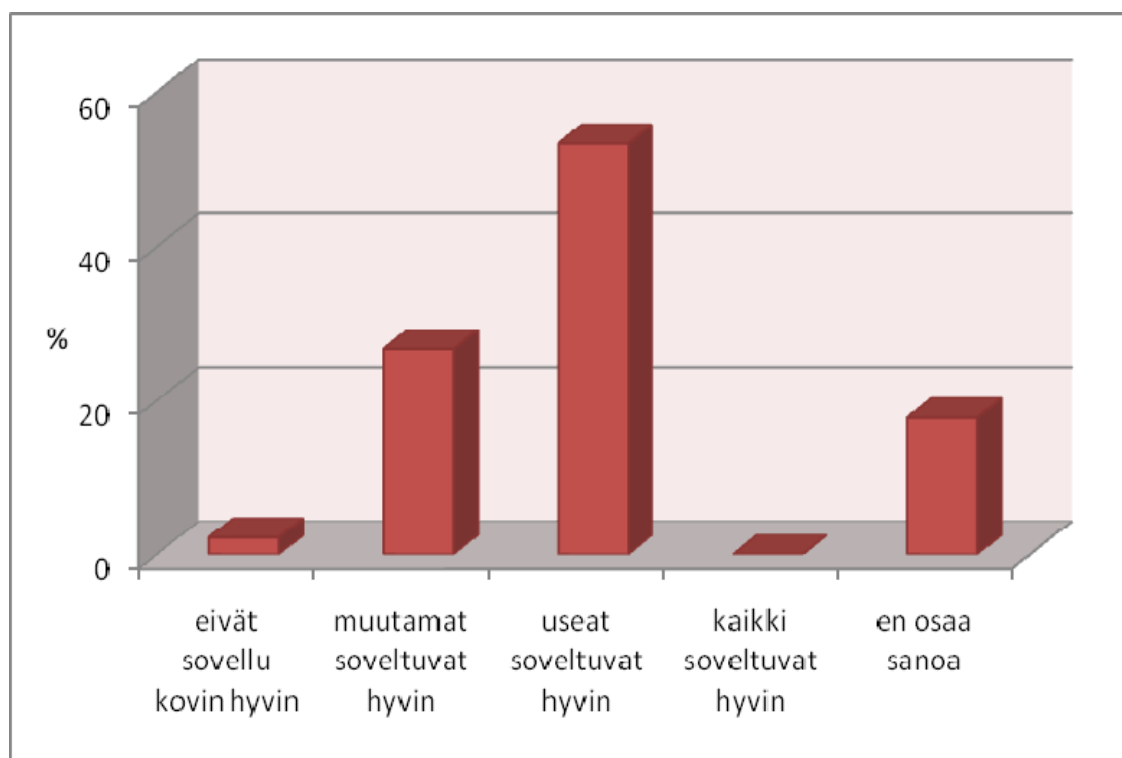
Kysymyksen: *Missä laajuudessa olette tutustuneet rakennusten lämpökuvaukseen soveltuviin lämpökameroihin?* tulokset on esitetty kuviossa 32. Vastaajista 40 % oli työssään joskus käyttänyt lämpökameraa.

Kysymyksen: *Millainen mielikuva teillä on Suomen markkinoilla olevista rakennusten lämpökuvaukseen soveltuvista lämpökameroista?* tulokset on esitetty kuviossa 33. Vastaajista 53 % mielestä useat kamerat soveltuvat hyvin rakennusten lämpökuvaukseen.

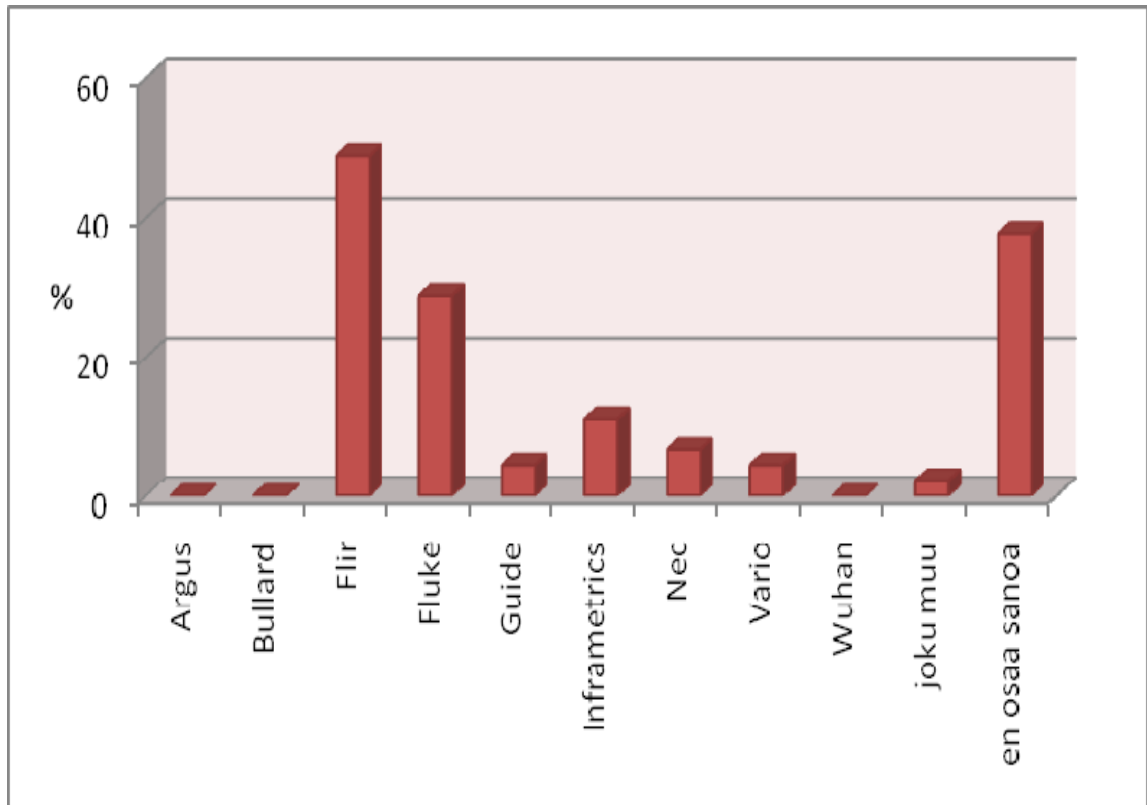
Kysymyksen: *Minkä merkkiset kamerat soveltuvat kokemuksenne mukaan parhaiten rakennusten lämpökuvaukseen?* tulokset on esitetty kuviossa 34. Suurin osa vastaajista oli sitä mieltä, että Flir ja Fluke -merkkiset kamerat soveltuvat parhaiten rakennusten lämpökuvaukseen. Vastaajat saivat valita useamman vaihtoehdon.



Kuvio 32: Vastaajien kokemukset lämpökameroista



Kuvio 33: Vastaajien kokemukset markkinoilla olevien lämpökameroiden soveltuvuudesta rakennusten lämpökuvaamiseen



Kuvio 34: Vastaajien kokemukset parhaiten rakennusten lämpökuvaamiseen soveltuvis- ta kameramerkeistä

9.8.4 Vastaajien kokemukset lämpökuvauksen suorittamisesta

Kysymyksen: *Oletteko tutustuneet rakennuksen lämpökuvauksesta tehtyyn Ratu-ohjekorttiin?* tulokset on esitetty kuviossa 35. Vastaajien kokemukset Ratu-ohjekortista jakautui tasaisesti kaikkien vastausvaihtoehtojen kesken.

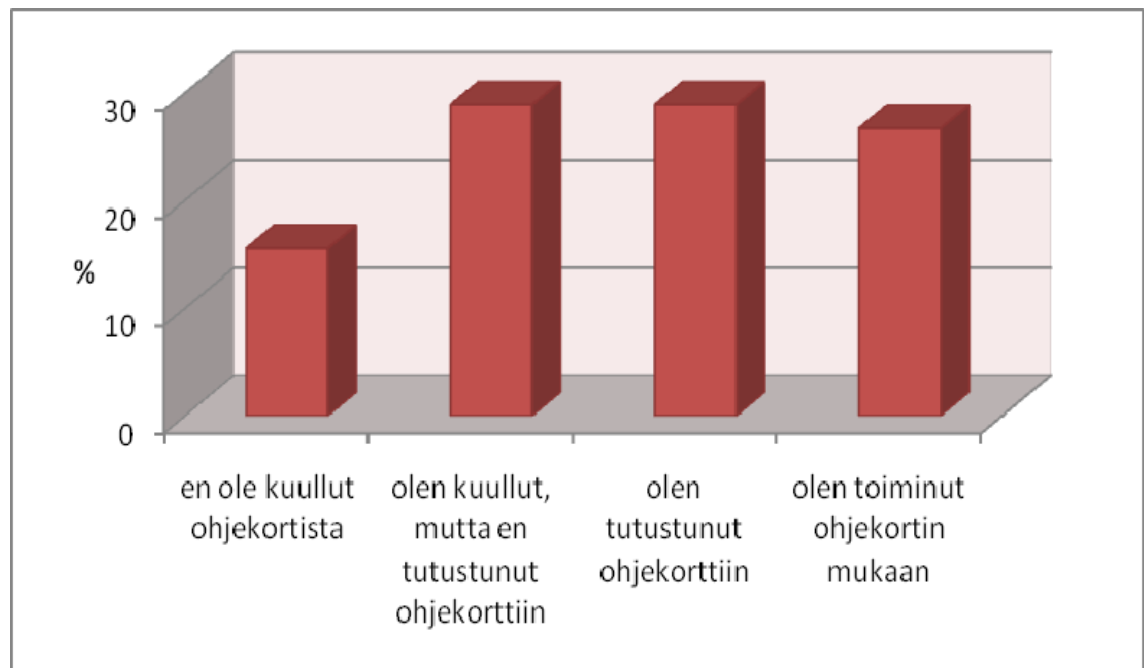
Kysymyksen: *Kuinka hyvin mielestänne tiedätte miten rakennusten lämpökuvaus tulisi suorittaa?* tulokset on esitetty kuviossa 36. Suurin osa vastaajista (yhteensä 91 %) kertoi tietävänsä vähintään pääpiirteittäin miten rakennusten lämpökuvaus tulisi suorittaa.

Kysymyksen: *Kuinka luotettavana tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä pidätte rakennuksen lämpökuvausta?* tulokset on esitetty kuviossa 37. Suurin osa vastaajista piti lämpökuvausta aika tai erittäin luotettavana tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä.

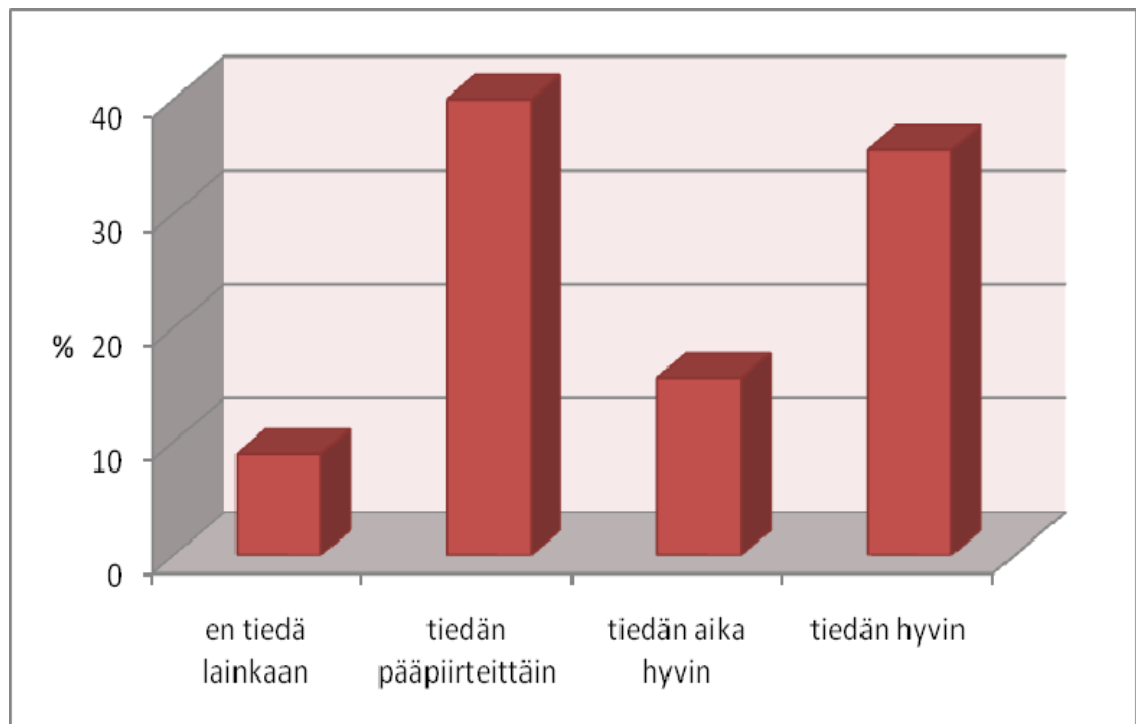
Kysymyksen: *Tulisiko uudis- ja peruskorjauskohteiden lämpökuvaus sisältyä mielestäsi?* tulokset on esitetty kuviossa 38. Vastajien mielestä lämpökuvaus tulisi joko sisältyä rakennusurakkasopimuksessa urakoitsijalle, tai olla tilaajan erillishankinta.

Kysymyksen: *Kuinka paljon arvioitte rakennuksen lämpökuvauksessa raportin laatimiseen kuluvan aikaa?* tulokset on esitetty kuviossa 39. Suurin osa vastaajista arvioi raportin laatimiseen kuluvan aikaa kaksi kertaa enemmän kuin kuvaamiseen.

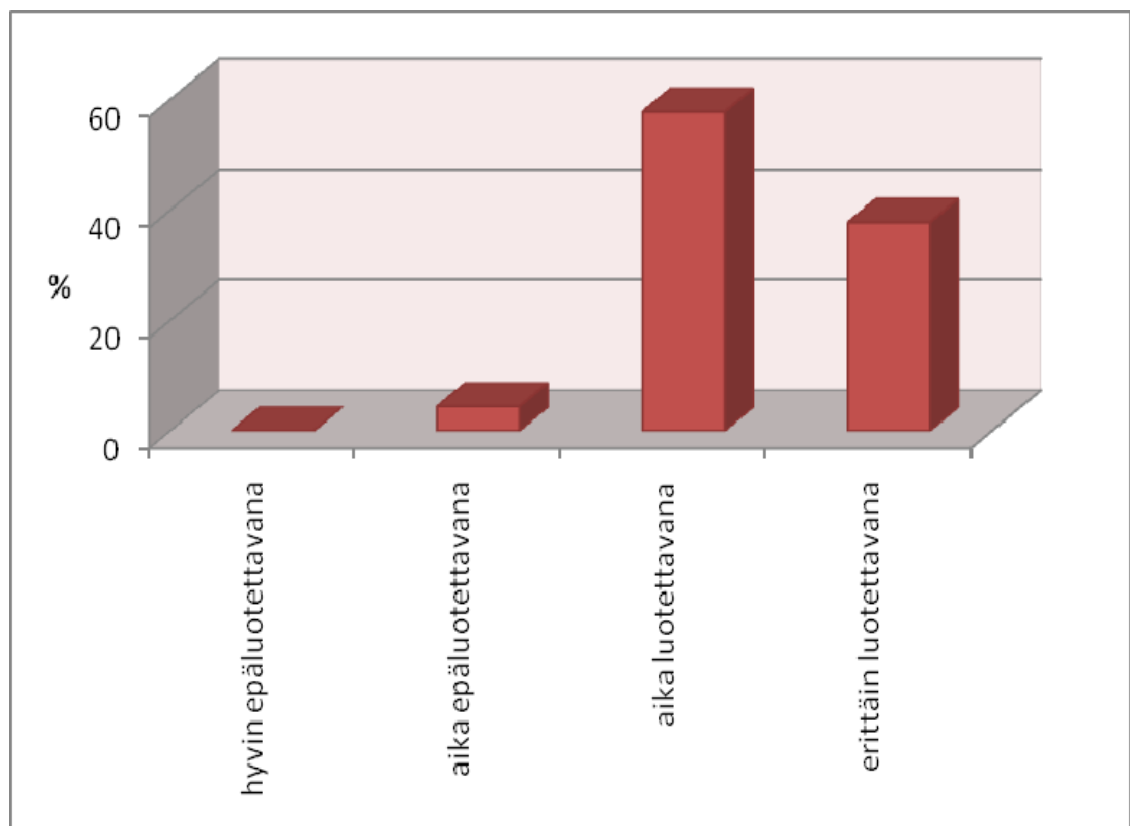
Kysymyksen: *Mitä seuraavista rakennusosista tai asioista olette tutkineet tai tutkituttaneet lämpökameralla?* tulokset on esitetty kuviossa 40. Vastaajat olivat tutkituttaneet tai tutkineet eniten ulkoseinien, ikkunoiden sekä parveke- ja takaovien ilmapuotoja ja eriste-
teviköitä. Vastaajat saivat valita useamman vaihtoehdon.



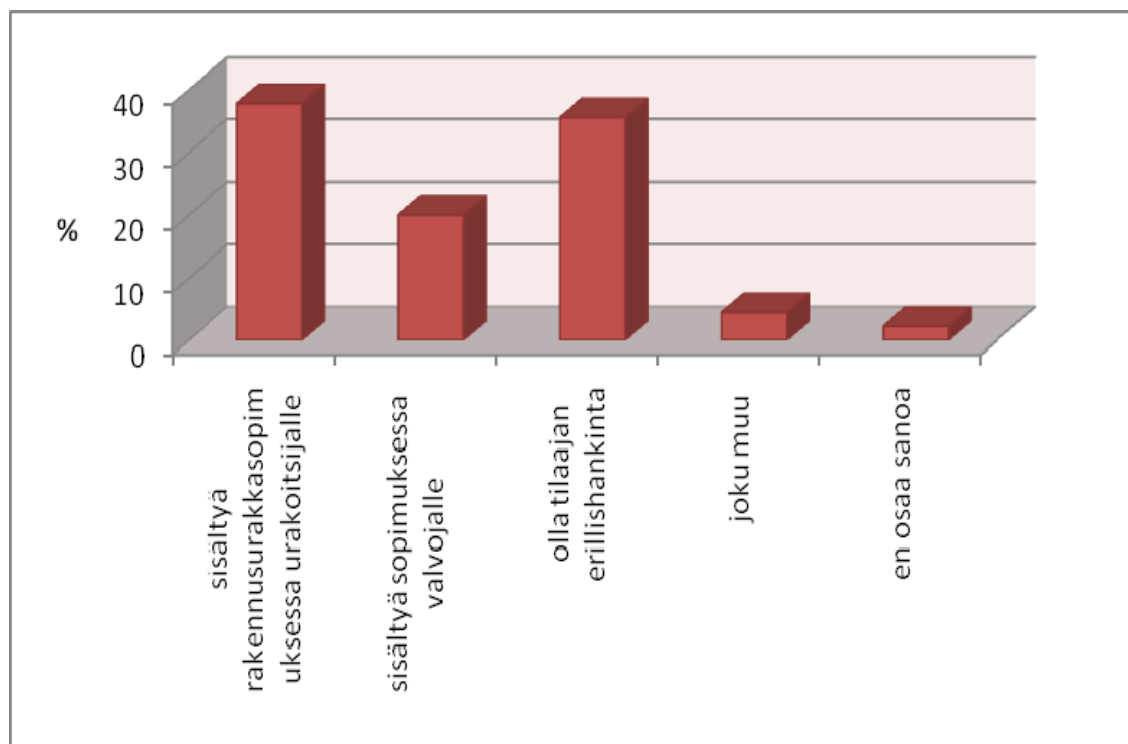
Kuvio 35: Vastaajien kokemukset rakennuksen lämpökuvauksen Ratu -ohjekortista



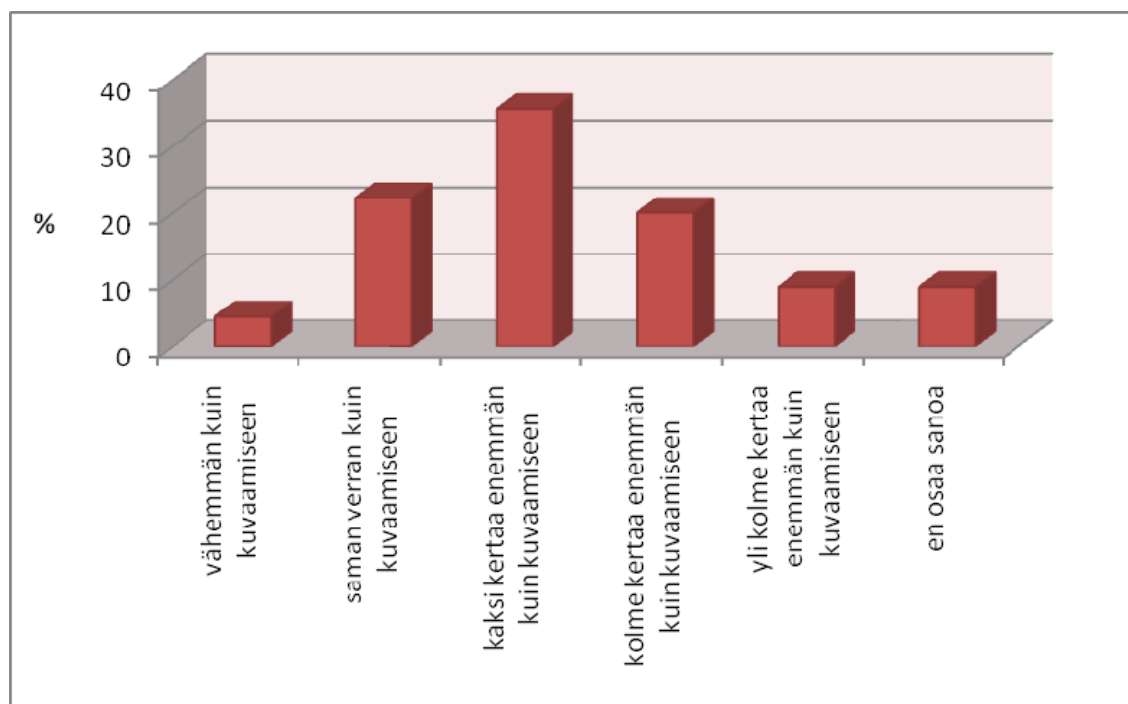
Kuvio 36: Vastaajien tietotaso rakennusten lämpökuvauksen suorittamisesta



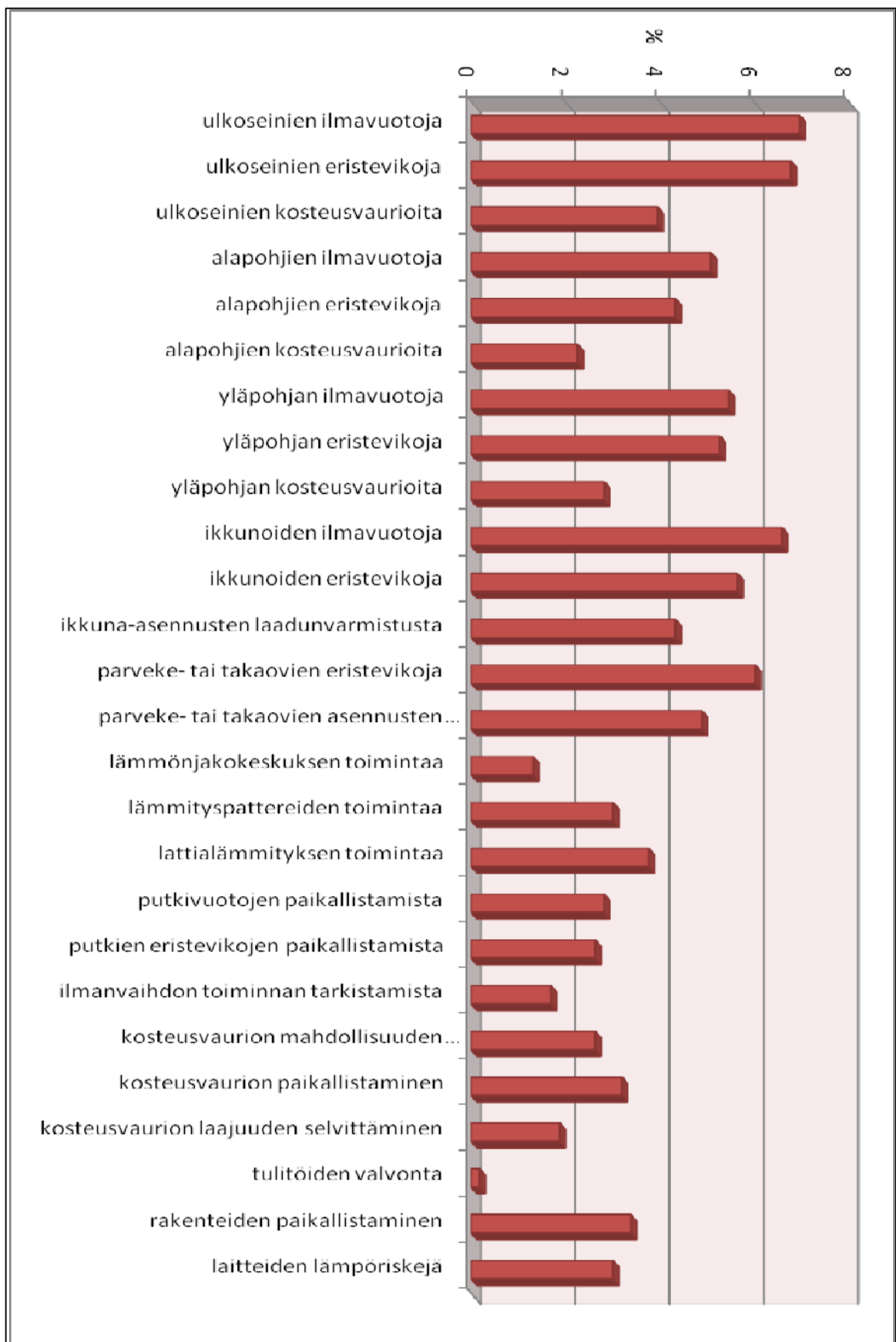
Kuvio 37: Vastaajien kokemukset lämpökuvauksen luotettavuudesta tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä



Kuvio 38: Vastaajien toive siitä, kenen sopimukseen lämpökuvaus tulisi sisällyttää



Kuvio 39: Vastaajien arvio siitä kauanko lämpökuvauksen raportointi kestää

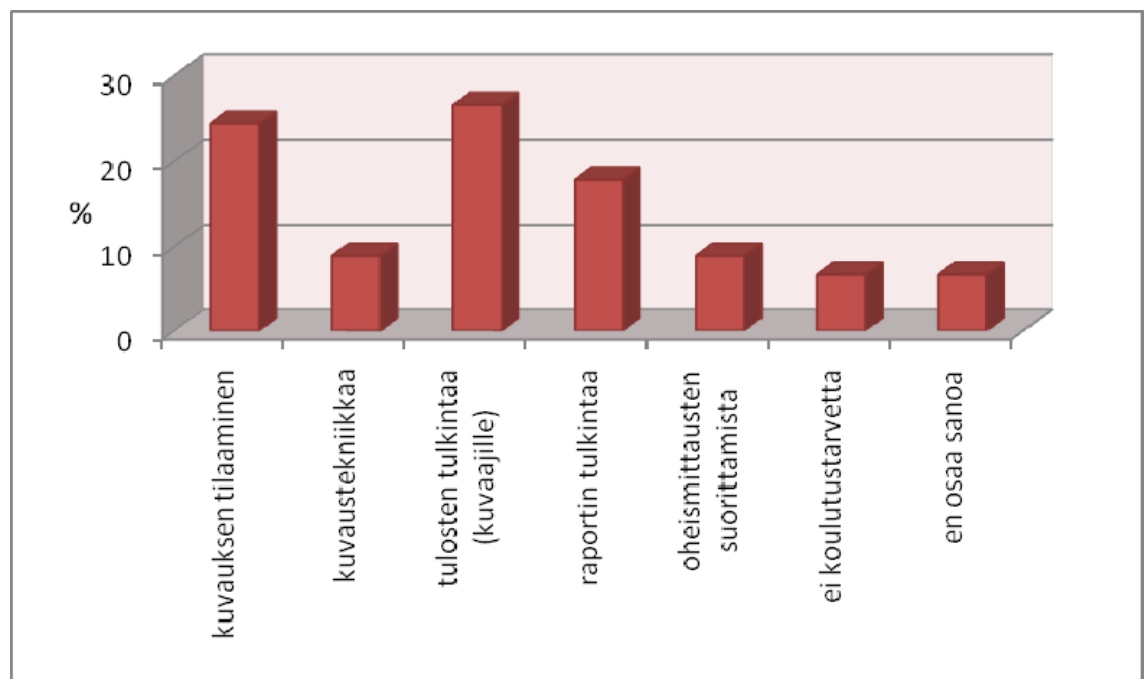


Kuvio 40: Vastaajien kokemuksia eri rakennusosien tutkimisesta tai tutkituttamisesta lämpökameralla

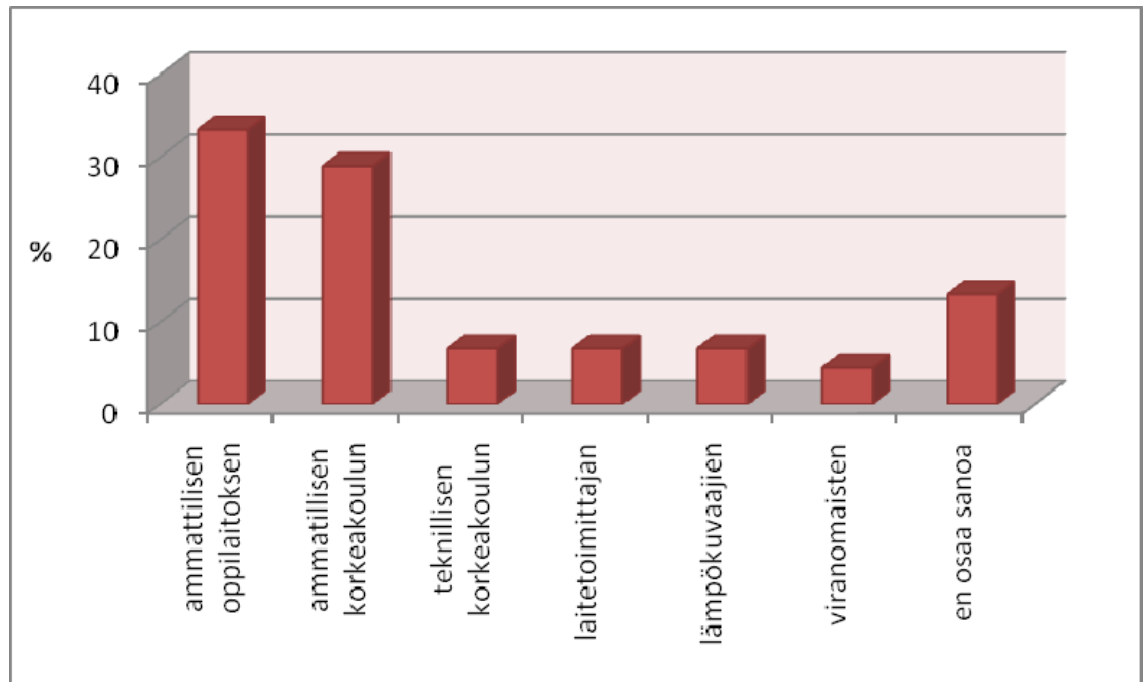
9.8.5 Vastaajien kokemukset koulutustarpeista

Kysymyksen: *Mitä lämpökuvaukseen liittyvää lisäkoulutusta toivoisitte järjestettävän?* tulokset on esitetty kuviossa 41. Eniten vastaajat toivoivat lisäkoulutusta kuvaajille tulosten tulkintaan ja tilaajille lämpökuvauksen tilaamiseen ja raportin tulkintaan. Vastaajat saivat valita useamman vaihtoehdon.

Kysymyksen: *Kenen pitäisi järjestää mahdollista rakennusten lämpökuvaukseen liittyvää lisäkoulutusta?* tulokset on esitetty kuviossa 42. Eniten toivottiin lämpökuvaukseen liittyvää lisäkoulutusta järjestettävän ammattioppilaitoksissa ja ammatillisessa korkeakoulussa. Vastaajat saivat valita useamman vaihtoehdon.



Kuvio 41: Vastaajien toiveet lämpökuvauksen liittyvästä lisäkoulutuksesta



Kuvio 42: Vastaajien toiveet lämpökuvauksen liittyvän lisäkoulutuksen järjestäjätahosta

9.8.6 Vastaajien vapaamuotoinen kommentointi

Kyselylomakkeen lopussa vastaajille annettiin mahdollisuus vastata vapaasti *Muita kokemuksiaanne ja kommenttejanne rakennusten lämpökuvaukseen liittyen?* kysymykseen.

Useassa vastauksessa korostettiin lämpökuvauksraportin selkeyden tärkeyttä ja raporttien yhtenäistä ilmettä. Myös tulosten vertailukelpoisuutta peräänkuulutettiin useassa kommentissa. Vastaajilla oli kokemuksia siitä, että lämpökuvauksen tulkitsemisessä ja raportoinnissa on runsaitakin eroja kuvaajien välillä, mikä saattaa antaa menetelmästä epäluotettavan kuvan. Raportoinnin tulkintaan kaivattiin koulutusta ja ohjeistusta tilaajille, jotta kuvauksella löydetty virheet osataan suhteuttaa mm. tilan käyttötarkoitukseen.

Tilaajien kokemattomuus tai tietämättömyys lämpökuvauksesta tuli ilmi muutamassa kommentissa. Tilaajilla ei vastaajien mukaan ole tietoa kaikista lämpökameran soveltamismahdollisuuksista tai tieto on virheellistä. Esim. oletetaan, että lämpökameralla voidaan havaita hometta. Tilaajat pitävät kuvausta yleisesti myös kalliina, pohtimatta kuitenkaan sen tuomia taloudellisia etuja.

Muutama vastaaja peräänkuulutti myös kuvaajien ammattitaitoa erityisesti kuvausten tulkintaan. Tätä voisi osaltaan parantaa ilmatiiviyksmittausten liittäminen lämpökuvauk-

sen yhteyteen, koska sillä saadaan helpommin todennettua ilmavuotojen ja eristevikojen ero. Kuvaajilta puuttuu muutaman vastaajan mielestä myös rakennusten LVI-tekniikan tuntemista, mikä edesauttaisi oikeiden tulkintojen tekemisessä.

Osa vastaajista toivoi myös tarkempia ohjeita tai määräyksiä siitä, miten ja millaisissa olosuhteissa (ilmanvaihto, lämmitys) rakennusten lämpökuvaus ja sen oheismittaukset tulisi suorittaa. Muutama vastaaja toivoi, että lämpökuvaustekniikka ja sen tuomat edut saataisiin markkinoitua myös loppukäyttäjille, jotta he osaisivat vaatia sitä omistajilta/rakentajilta.

9.9 Tilajaedustajien tulokset suhteessa kokonaistuloksiin

Seuraavassa on esitetty tilajaedustajien, eli omistajien, tilaajien, rakennuttajien, valvojen ja isännöitsijöiden, tulokset suhteessa kokonaistuloksiin. Tuloksia on vertailtu niiltä osin, kuin tuloksia oli tutkimuksen kannalta järkevää vertailla tai niissä oli muuta huomionarvoista.

Tilajaedustajista kolmasosa (30 %) kertoi, että heidän uudiskohteensa lämpökuvataan harvoin. Kolmasosa kertoi, että ne kuvataan aina. Vastaukset tilajaedustajien osalta kysymykseen: *Kuinka usein uudiskohteenne lämpökuvataan?* on esitetty kuviossa 43.

Peruskorjauskohteiden osalta 40 % tilajaedustajista kertoi, että ne kuvataan harvoin. Myös peruskorjauskohteista kolmasosa kuvataan tilajaedustajien mukaan aina. Vastaukset tilajaedustajien osalta kysymykseen: *Kuinka usein peruskorjattavat kohteenne lämpökuvataan?* on esitetty kuviossa 44.

Tilajaedustajista yli puolet (65 %) oli sitä mieltä, että suurin syy siihen, ettei kaikkia uudis- ja peruskorjauskohteita lämpökuvata Suomessa on se, että tilaajat eivät osaa tilata tai vaatia lämpökuvausta. Kuudesosan (15 %) mielestä syynä on se, että lämpökuvausten tulokset aiheuttavat paineita korjaustöiden tekemiseen. Kysymyksen *Minkä arvelette olevan suurin syy siihen, että kaikkia uudis- ja peruskorjauskohteita ei lämpökuvata Suomessa?* vastaukset tilajaedustajien osalta on esitetty kuviossa 45.

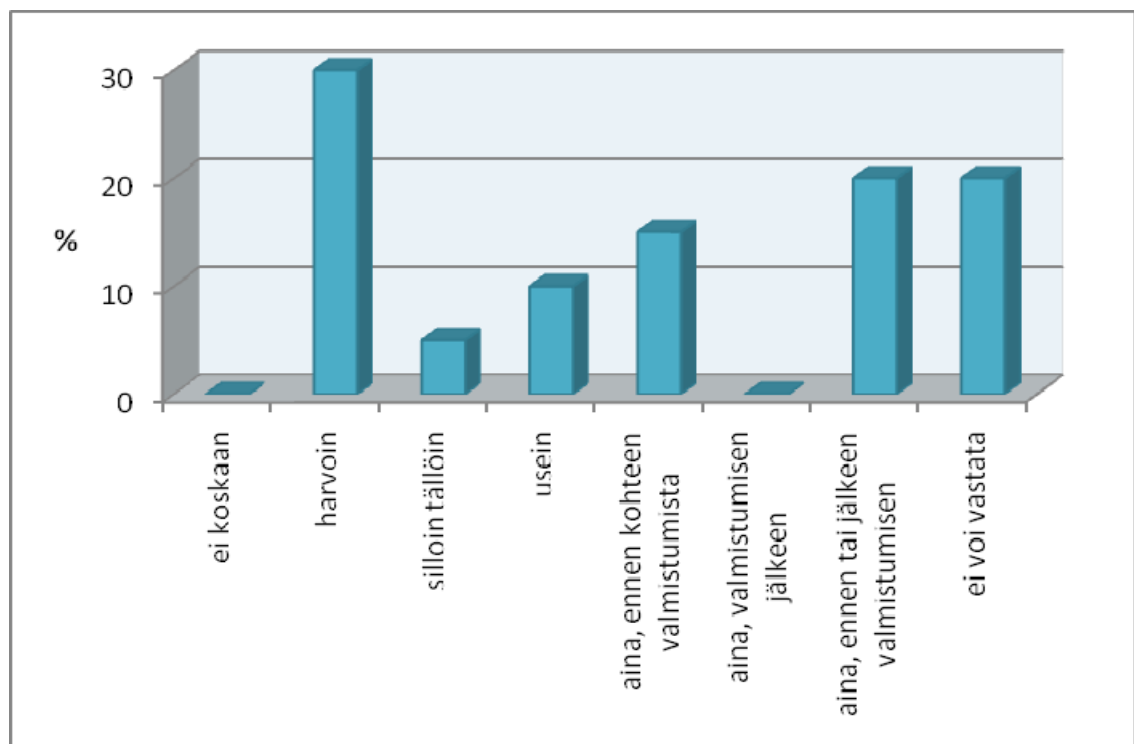
Lähes puolet (40 %) tilajaedustajista oli kuullut rakennusten lämpökuvauksesta tehdystä Ratu-ohjekortista, mutta ei ollut tutustunut siihen. Kolmasosa (30 %) ei ollut kuullut

kortista lainkaan ja vain neljäsosa (25 %) oli tutustunut siihen. Tilaajaedustajien vastaukset kysymykseen *Oletteko tutustuneet rakennuksen lämpökuvauksesta tehtyyn Ratu -ohjekorttiin?* on esitetty kuviossa 46.

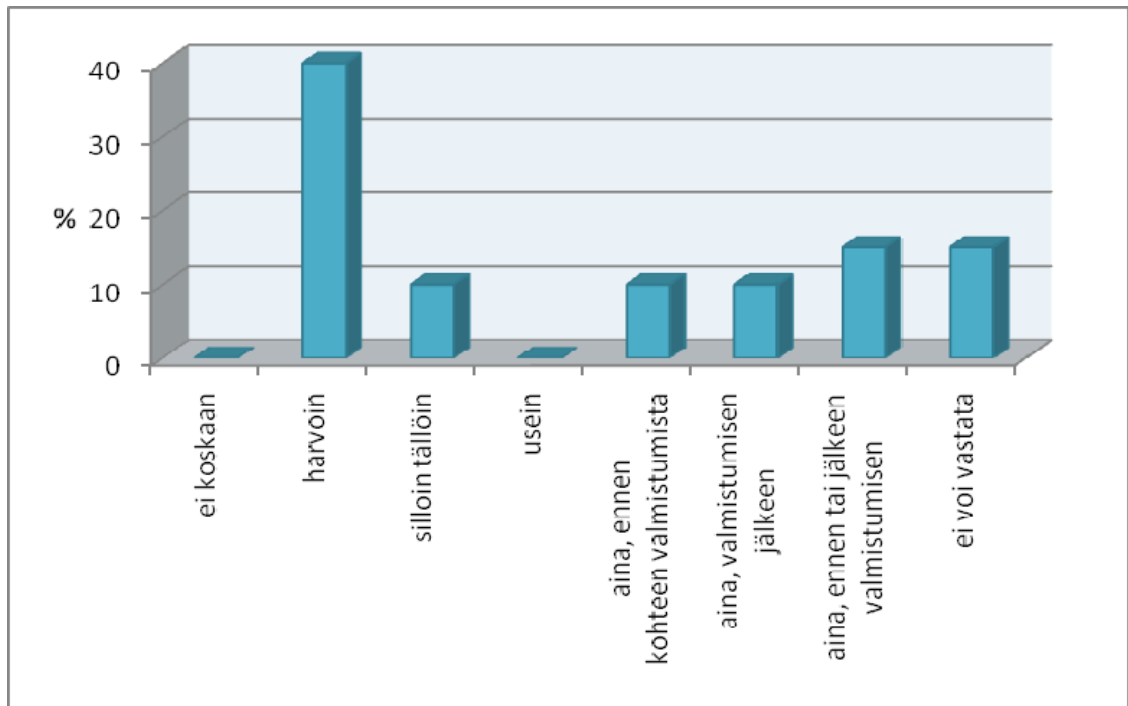
Lähes kaksi kolmasosaa tilaajaedustajista vastasi tietävänsä pääpiirteittäin miten lämpökuvaus tulisi suorittaa. Kuviossa 47 on esitetty tilaajaedustajien vastaus kysymykseen *Kuinka hyvin mielestänne tiedätte miten rakennusten lämpökuvaus tulisi suorittaa?*

Raportin tulkintaan toivottiin tilaajaedustajien keskuudessa eniten (37 %) lisäkoulutusta. Vastaukset kysymykseen *Mitä lämpökuvaukseen liittyvää lisäkoulutusta toivoisitte järjestettävän?* on esitetty kuviossa 48.

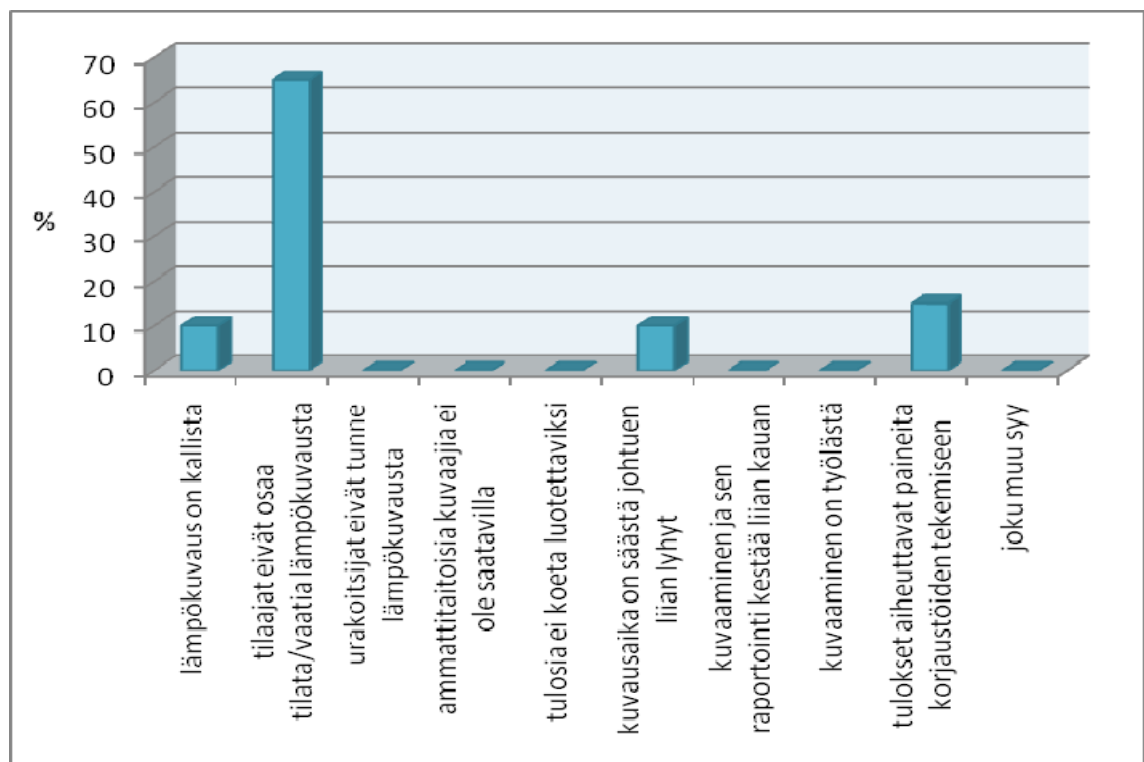
Lisäkoulutusta toivottiin tilaajaedustajien vastauksissa järjestettävän eniten joko ammatillisessa korkeakoulussa (27 %) tai ammatillisessa oppilaitoksessa (21 %). Tilaajaedustajien vastaukset kysymykseen *Kenen pitäisi järjestää mahdollista rakennusten lämpökuvaukseen liittyvää lisäkoulutusta?* on esitetty kuviossa 49.



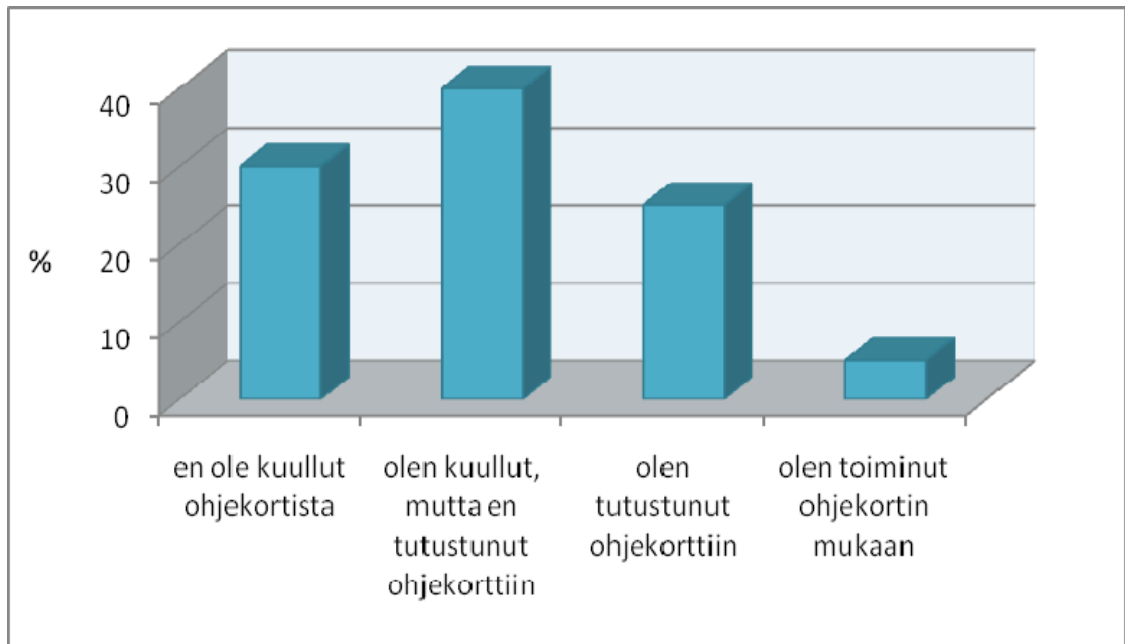
Kuvio 43: Tilaajaedustajien kokemukset siitä, kuinka usein heidän uudiskohteet lämpökuvataan



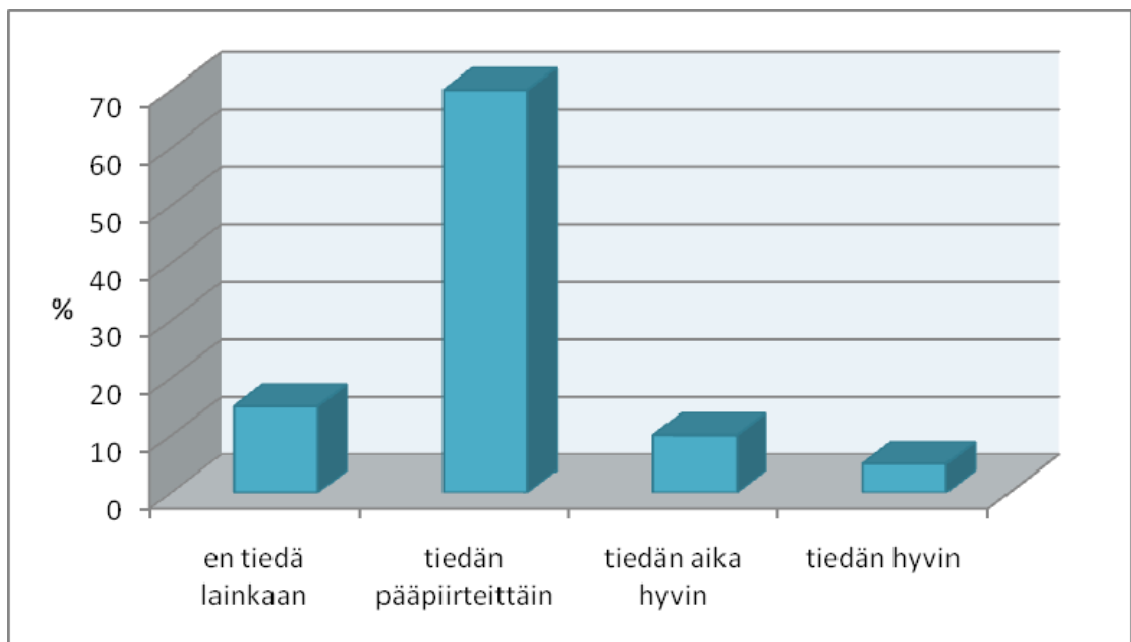
Kuvio 44: Tilaajaedustajien kokemukset siitä, kuinka usein heidän peruskorjattavat kohteet lämpökuvataan



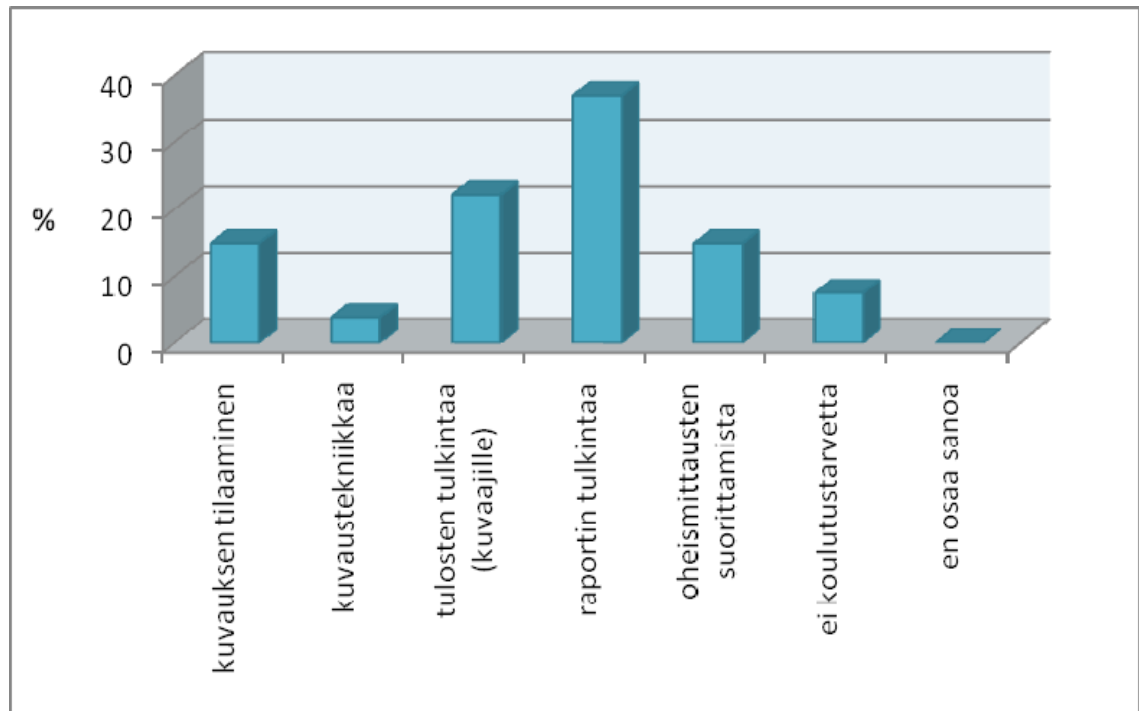
Kuvio 45: Tilaajaedustajien kokemukset mikä on suurin syy siihen, ettei kaikkia uudisia peruskorjauskohteita lämpökuvata.



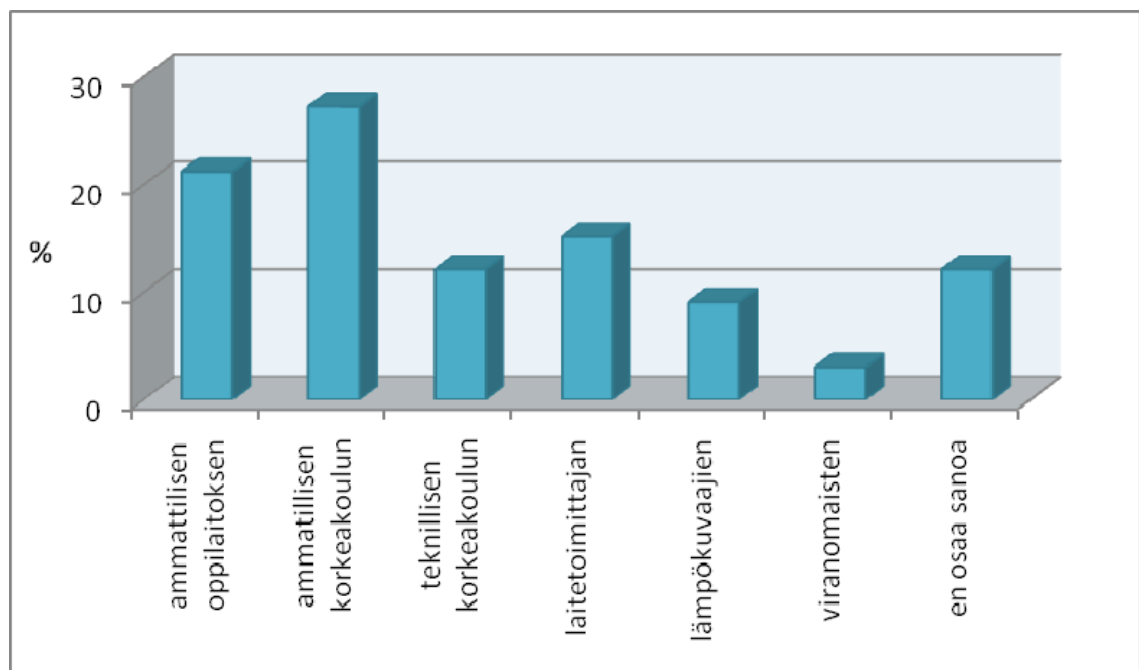
Kuvio 46: Tilajaedustajien kokemukset rakennusten lämpökuvauksesta tehdystä Ratu-ohjekortista



Kuvio 47: Tilajaedustajien tietotaso rakennusten lämpökuvauksen suorittamisesta



Kuvio 48: Tilaajaedustajien vastaukset lisäkoulutustarpeesta



Kuvio 49: Tilaajaedustajien mielipide siitä, kenen lisäkoulutusta tulisi järjestää

9.10 Tulosten analysointi

9.10.1 Lämpökuvauksen yleisyys

Tuloksista voidaan päätellä, että rakennusten lämpökuvausta ei tehdä järjestelmällisesti kaikkiin uudis- ja peruskorjauskohteisiin. Erityisesti tilaajaedustajien vastauksista selvisi, että rakennusten lämpökuvaus on yleisempää uudiskohteissa kuin peruskorjauskohteissa. Vastaajat arvelivat, että kilpailijat tekevät tai teettävät lämpökuvauksia vastaajia hieman useammin. Yli puolet vastaajista toivoi, että lämpökuvausta hyödynnettäisiin vastaajan organisaatiossa nykyistä enemmän.

Tuloksista ei selkeästi tullut ilmi, että lämpökuvausta tehtäisiin huomattavasti enemmän ennen kohteen valmistumista, kuin valmistumisen jälkeen. Mikäli lämpökuvaus pyritään tekemään rakentamisvaiheessa, esim. katselmusten tai muun valvontatyön yhteydessä, viat ja puutteet havaitaan aikaisemmin ja tarvittavien korjaustöiden tekeminen on helpompaa ja halvempaa. Näin tehtäessä, takuukorjauksissa ja vuosikorjauksessa tehtävien isompien töiden määrä todennäköisesti pienentyy merkittävästi.

9.10.2 Esteet lämpökuvauksen suosiolle

Suurimmaksi syyksi sille, että kaikkia uudis- ja peruskorjauskohteita ei lämpökuvata Suomessa nousi tuloksissa selkeästi esille se, että vastaajien mielestä tilaajat eivät osaa tilata tai vaatia lämpökuvausta. Tätä tulosta tukee myös tilaajaedustajien vastauksista esiin noussut tulos, jossa tilaajaedustajista vain neljäsosa kertoi tutustuneensa lämpökuvauksesta tehtyyn Ratu-ohjekorttiin. Heistä kuitenkin kaksi kolmasosaa vastasi tietävänsä miten lämpökuvaus tulisi suorittaa. Herää kysymys, että miten tilaajaedustajat ovat lämpökuvauksen suorittamiseen tutustuneet, jos käytännössä ainoaan suomenkieliseen ohjeistukseenkaan, eli Ratu-korttiin, ei ole tutustuttu.

Miten tilaajille saadaan lisää osaamista lämpökuvauksesta? Tilaajaedustajien tulee saada lisää tietoa lämpökuvauksen eduista ja soveltamistavoista, jotta se koetaan luotettavana laadunvarmistusmenetelmänä ja ammattitaitoiset tilaajat alkavat sitä myös hyödyntämään. Tuloksissa esiin tullut tilaajien riittävän selkeän ja yhtenäisen raportoinnin tarve täytyy ottaa myös huomioon. Tähän saattaa osaltaan vaikuttaa myös se, että kaikilla tilaajilla ei ole lainkaan rakennusfysiikan koulutusta. Koulutus puuttuu esimerkiksi vain kaupallisen koulutuksen saaneilta isännöitsijöiltä. Asunto-osakeyhtiöissä raportteja lu-

kevat usein myös hallituksen jäsenet, jotka voivat olla maallikkojäseniä vailla minkäänlaista rakennusalan osaamista.

Yllättävää tuloksissa oli se, että lämpökuvauksen korkeaa hintaa ei koettukaan suurimmaksi syyksi sille, miksi tilaajaosapuolet eivät hyödynnä lämpökuvauksia niin paljon kuin mahdollista. Rakennusten lämpökuvauksen hinta lienee siis kohdallaan. Tilaajat ovat kenties valmiita maksamaan myös siitä, että saavat laadukasta ja luotettavaa lämpökuvauksista selkeästi raportoituna.

9.10.3 Lisäkoulutustarpeet

Tulosten mukaan vastaajat toivoivat kuvaajille lisäkoulutusta lämpökuvauksien tulkitsemiseen. Tämä voi johtua siitä, että tilaajilla on huonoja kokemuksia väärin tulkituista lämpökuvauksista, ja niiden aiheuttamista turhista korjauskustannuksista. Tilaajat ovat ehkä todenneet, että ammattitaitoisia lämpökuvauksia ei ole riittävästi saatavilla. Sertifiointia hakevilta kuvaajilta tulee vaatia tietyn tasoista rakennus- ja LVI-alan pohjakoulutusta sekä useamman vuoden työkokemusta. Lämpökuvauksien tulkitseminen ja raportointi on kuitenkin lämpökuvauksen tärkein vaihe, mikä tulisi antaa ammattilaisen tehtäväksi.

Muiksi toivotuiksi koulutusaiheiksi nousivat tilaajille suunnattu kuvausten tilaamisen lisäkoulutus ja lämpökuvauksien tulkitsemisen koulutus. Nämä tulokset kertovat siitä, että tilaajat eivät vastaajien mielestä ymmärrä lämpökuvauksia ja niiden raportointia riittävästi. Tämä on varmasti yksi syy sille, ettei lämpökuvauksista hyödynnetä riittävän laajasti. Ehkäpä lämpökuvauksien tuloksiin ei uskalleta luottaa, jos löydettyjen vikojen syitä ei täysin ymmärretä. Tämä tulos asettaa haasteita rakennus- ja kiinteistöalan oppilaitoksia kohtaan. Erityisesti sellaisissa koulutuksissa, joissa järjestetään perus- tai jatkokoulutusta tilaajaosapuolille (isännöitsijät, rakennuttajat, valvojat jne.), tulisi entistä enemmän käydä myös lämpökuvaukseen liittyviä asiakokonaisuuksia.

Lisäkoulutuksen järjestäjäksi toivottiin tulosten perusteella eniten ammatillisia oppilaitoksia ja toiseksi eniten ammatillisia korkeakouluja. Ammatillisten oppilaitosten mahdollisuus vastata tuloksissa esiin nousseisiin koulutustarpeisiin, erityisesti lämpökuvauksien tulkitsemisen ja raportointien tulkitsemiseen, lienee kohtuullisen haastava tehtävä. Rakennusfysiikan syvällisempi opetus kun tapahtuu vasta opistotasolla insinöörinkoulutuksessa, eikä

perusopetuksessa ammatillisissa oppilaitoksissa. Yhtenä vaihtoehtona voidaan pitää sitä, että Rakennuksen lämpökuvaaja -sertifikaatin koulutussisältö tulisi yhtenä vaihtoehtona ammattikorkeakoulututkinnon tai ylempään ammattikorkeakoulututkinnon vapaasti valittaviin opintojaksoihin.

Voidaanko tuloksista siis päätellä, että vastaajat toivovat rakennusfysiikkaa opetettavan enemmän jo ammatillisissa oppilaitoksissa esim. talonrakentajille? Lisäämällä rakentajien ymmärtämystä erityisesti erilaisten rakenneratkaisujen rakennusfysikaalisesta toiminnasta, saadaan vähennettyä rakennusvaiheessa syntyviä rakennusvirheitä, joita myöhemmin sitten lämpökuvauksella löydetään. Rakentajien lämpökuvaukseen liittyvän osaamistason lisääminen, saattaa kannustaa työn suorittajia tekemään työ kerralla hyvin. Vastaajat ovat voineet käsittää ammatillisiksi oppilaitoksiksi myös ammatilliset aikuis-koulutuskeskukset.

Koulutuksen yhtenä haasteena voitaneen pitää sitä, että tämän hetken nuoriso on tottunut erilaisiin oppimismenetelmiin, kuin suurin osa kyselyyn vastanneista. Kyselyyn vastasi eniten ikäluokassa 40-60 vuotta olevat henkilöt. Nykyaikaisten oppimismenetelmien hyödyntämistä lämpökuvaajien ja tilaajien koulutuksessa, on syytä käyttää koulutusta kehitettäessä. Asiaan tulee varautua jo ennen kuin seuraava ikäluokka siirtyy tilaajiksi ja kuvaajiksi. Menetelmät, joilla tällä hetkellä työelämässä oleva ikäluokka on opiskellut, eivät välttämättä sovellu sellaisenaan tuleville ikäluokille.

9.10.4 Lämpökamerat

Tuloksien mukaan yli puolet vastaajista oli sitä mieltä, että useat markkinoilla olevat lämpökamerat soveltuvat hyvin rakennusten lämpökuvaamiseen. Parhaimmin soveltuviksi kameramerkeiksi vastaajat arvioivat Flir ja Fluke -merkkiset kamerat, joita käytetäänkin rakennusten lämpökuvauksessa eniten. Tämä kertonee osaltaan siitä, että kaikki vastaajat eivät tiedä millaisia vaatimuksia nimenomaan rakennusten lämpökuvaamiseen tarkoitetuille kameroille asetetaan. Tämä voi kuvastaa myös sitä, että rakennusten lämpökuvaamiseen erikoistuneita lämpökameravalmistajia on vain muutamia. Parhaimmiksi merkeiksi vastaajat arvioivat ne kameramerkit, joita on markkinoitu runsaasti viimeaikoina.

9.10.5 Lämpökuvauksen luotettavuus

Vastaajista suurin osa piti tulosten perusteella lämpökuvausta aika tai erittäin luotettavana tilaajan laadunvarmistusmenetelmänä. Vastauksissa nousi myös vahvasti esille se, että kaikki vastaajatahot toivoivat lämpökuvauksen yleistyvät rakennusten laadunvarmistusmenetelmänä.

Käytännössä on havaittu, että tilaajat joilla yksi rakennushanke on mennyt kunnolla pieleen, ja vikojen löytämiseksi käytetään lopulta lukuisten muiden tutkimusten jälkeen onnistuneesti lämpökameraa, käyttävät sitä lähes poikkeuksetta seuraavissakin hankkeissa. Kun lämpökuvausta siis uskalletaan kerran käyttää uudis- tai peruskorjaushankkeen laadunvarmistuksessa, sen erinomaisuus ja puolueettomuus ainetta rikkomattomana tutkimusmenetelmänä ymmärretään, sekä tilaajan että urakoitsijan taholta. Tämä tosin edellyttää yleensä sitä, että tilaaja on saanut kuvauksesta sellaisen raportin, jonka tuloksia hänen on helppo ymmärtää.

Avoimet laadunvarmistustoimet lisäävät rakennustyön laatua jo ennen kuin työtä on edes aloitettu. Ei ole harvinaista törmätä erityisesti pientalotyömaalla urakoitsijaan, joka kuullessaan rakennusta lämpökuvattavan työn aikana tilaajan toimesta vastaavan tähän, että: ”täytyykin kertoa miehille, että tämä täytyy tehdä hyvin”. Tilaajan kiinnostus työn suorittajan työtä kohtaan voi siis olla suoraan verrannollinen saatavaan laatuun. Toivottavasti viimeistään siinä vaiheessa työn suorittajaakin kiinnostaa työn suorittaminen laadukkaasti, kun eri työmailla korjataan samoja rakennusvirheitä aina lämpökuvauksen jälkeen.

Voidaan siis todeta, että rakennustyön laadunvarmistuksessa käytettävän lämpökuvauksen keskeisenä tehtävänä on tähdätä tulevaisuuden ongelmien estämiseen. Lämpökuvaukseen aletaan luottaa viimeistään siinä vaiheessa, kun tilaajille ja urakoitsijoille pystytään esittämään, että paljonko lämpökuvauksella saadaan rahallista hyötyä säästämällä korjaus- ja ylläpitokuluissa.

9.10.6 Uudet tavat hyödyntää lämpökameraa

Tulosten ja kokemuksen mukaan lämpökameraa käytetään rakennusten laadunvarmistuksessa lähinnä ilmavuotojen ja eristevikojen paikallistamiseen, vaikka mahdollisuudet

laajempaankin käyttöön on olemassa. Erityisesti ikkunoiden ja ovien asennusten laadunvarmistuksessa lämpökamera on erittäin käyttökelpoinen, niin uudis- kuin peruskorjauskohteissa.

Jonkin verran lämpökuvausta hyödynnetään myös kosteusvaurioiden ja vesivahinkojen paikallistamiseen, vaikka niissä lämpökameraa voitaisiin hyödyntää nykyistä useammin. Kosteutta voidaan paikallistaa lämpökameralla myös kesäaikaan, jolloin lämpökuvaajilla on yleensä sääolosuhteista johtuen vähemmän töitä. Nopealla lämpökuvauksella voidaan erityisesti vesivahinkotapauksissa selvittää vaurion laajuus ja aloittaa kohdennetut kuivatustoimenpiteet.

Ulkomaisessa kirjallisuudessa mainittiin myös kesällä tehtävästä kattojen lämpökuvauksesta, jollaista ei Suomessa ainakaan tietävästi juuri lainkaan tehdä. Kesäaikaisella lämpökameran käytöllä rakennusten lämpökuvaajille saadaan tasaisempi työkuorma ympäri vuoden. Suomessa on myös paljon tasakattoisia kerrostaloja, joiden vesikaton kunnan tutkimiseen lämpökamera on hyvin varteenotettava ratkaisu. Tämän menetelmän jatkokehittelyyn Suomen olosuhteisiin sopivaksi, on hyvä kiinnittää huomioita rakennusten lämpökuvausta kehitettäessä.

9.11 Jatkokehitystarpeet

9.11.1 Lämpökameran asetukset

Lämpökameran asetusten määrittely on lämpökuvauksen suorittamisessa ja raportoinnissa ensiarvoisen tärkeää. Tutkimuksen aikana, ja käytännön lämpökuvauksia suorittaessa, havaittiin erityisesti lämpökuvan lämpötila-asteikon yhdenmukaisuuden tärkeys. Lämpötila-asteikkoa muuttamalla saadaan lämpökuva näyttämään todellista tilannetta paremmalta tai huonommalta. Jotta erityisesti tilaajien on helpompi ymmärtää lämpökuvausraporttia, tulisi lämpötila-asteikon määrittelyyn kiinnittää enemmän huomiota lämpökuvausraportoinnin ohjeistusta kehitettäessä.

9.11.2 Rakennusmenetelmien kehittäminen

Lämpökuvauksella voidaan tutkia erilaisten rakennusmenetelmien ja rakenneratkaisujen eroja sekä niille tyypillisiä lämpöprofileja. Tällöin kuvaajien on lämpökuvausta tehdes-

sään helpompi havaita eri rakenneratkaisuille ominaisen lämpöprofiilin poikkeamat. Esimerkiksi rakenteiden tyypilliset kylmäsilat voidaan huomioidaan raportoinnissa rakenteen normaalina ominaisuutena, eikä tulkita niitä rakennusvirheiksi. Eri rakennusmenetelmien ja rakenneratkaisujen tutkiminen lämpökameralla tuo suunnittelijoiden ja tilaajien tietoisuuteen erilaisten ratkaisujen vaikutuksesta rakenteen lämpöprofiiliin ja sitä kautta tilan viihtyisyyteen.

9.11.3 Raportoinnin kehittäminen

Tuloksista voidaan selkeästi lukea, että rakennusten lämpökuvausten raportointiin toivotaan kehitystä. Raportointiin on annettu suuntaa-antavia ohjeita esimerkiksi Rakennusten lämpökuvausta käsittelevässä Ratu-ohjekortissa, mutta sitä ei ole riittävän syvästi sisäistetty kaikkien kuvaajien toimesta. Kuvaajien saatavilla on jo nyt valmiita raporttimallipohjia, joiden hyödyntäminen erilaisissa raportointiohjelmissa asettaa haasteita kuvaajille. Raportointiohjelmat ovat yleensä lämpökamerasta riippuvaisia, koska ne on kehitetty eri kameravalmistajien toimesta. Raportointia varten täytyisikin kehittää erilaisiin raportointiohjelmiin sopiva yleinen malli, joka täyttää myös lämpökuvaukselle asetetut vaatimukset. Yksi tilaajien ja kuvaajien hyväksi kokema raporttimalli on esitetty liitteenä 3.

9.11.4 Tilaajien ohjeistuksen ja koulutuksen kehittäminen

Tilaajilla on tulosten mukaan selkeä tarve saada lisäkoulutusta itse lämpökuvaamisesta, kuvauksen tilaamisesta ja raporttien tulkinnasta. Tilaajatahot täytyy saada ymmärtämään lämpökuvauksen mahdollisuudet ja rajat, jotta tilaajien halukkuus käyttää lämpökuvausta tilaajan laadunvarmistuksessa lisääntyy. Tämän vuoksi tilaajille suunnattua lisäkoulutusta isännöinti- ja kiinteistöalan insinöörikoulutuksissa sekä olemassa olevien tilaajien täydennyskoulutusta tulisi kehittää.

9.11.5 Lämpökuvauksen kustannusvaikutusten selvittäminen

Lämpökuvauksen suosion pullonkaulana on selkeästi tilaajien osto-osaamisen puute. Tämä johtuu siitä, että lämpökuvauspalvelua ei uskalleta tilata, koska lämpökuvauksesta ei tiedetä tarpeeksi. Jotta tilaajaedustajat ja urakoitsijaedustajat saadaan hyödyntämään lämpökuvausta nykyistä enemmän, lämpökuvauksen kustannuksia säästäviä vaikutuksia tulisi selvittää tarkemmin. Lämpökuvauksen tekeminen maksaa, mutta niin maksaa

myös laaduttomuus. Optimaalisessa tapauksessa lämpökuvauksen tulokset ohjaavat rakennustuotantoa laadukkaampaan suuntaan, jolloin korjaus- ja ylläpitokuluissa voi syntyä merkittäviäkin säästöjä.

10 Yhteenveto

Lämpökuvaus koetaan monipuolisena, puolueettomana ja luotettavana tilaajan uudis- ja peruskorjauskohteiden laadunvarmistusmenetelmänä. Lämpökuvausta ei tehdyn tutkimuksen mukaan tilaajien osaamisen puutteiden vuoksi kuitenkaan osata vielä täysin hyödyntää rakennusten laadunvarmistuksessa. Tilaajat uskovat tietävänsä miten rakennuksen lämpökuvaus tulisi suorittaa, mutta lämpökuvauksesta tehdyn Ratu-ohjekortin sisältöä ei kuitenkaan tunnettu.

Lämpökuvausta olisi mahdollista hyödyntää nykyistä monipuolisemmin uudis- ja peruskorjauskohteiden sekä olemassa olevien kohteiden laadunvarmistuksessa, jos lämpökuvauksella saavutettavat hyödyt saadaan tilaajien tietoon. Tehdyn tutkimuksen mukaan tilaajille toivotaan järjestettävän lisäkoulutusta, jossa käydään läpi rakennusten lämpökuvausta ja sen tilaamista. Koulutuksen kautta tilaajien tietämys lämpökuvauksen mahdollisuuksista lisääntyy.

Rakennusten lämpökuvaajilta vaaditaan mm. rakennusfysiikan, lakien, ohjeiden ja määräysten tuntemusta, jotta he pystyvät laatimaan lämpökuvauksistaan luotettavia ja selkeitä raportteja tilaajien tarpeisiin. Kuvaajien tulee siis tietää mihin saatuja kuvaustuloksia verrataan, ja miltä tutkittavat rakennusosat niiden valossa näyttävät. Kuvaajien tulisi tehdä tuloksista tämän pohjalta asiantuntevia päätelmiä. Tehdyn tutkimuksen mukaan lämpökuvaajille toivotaan lisäkoulutusta nimenomaan kuvaustulosten tulkintaan sekä yhtenäisen ja selkeän raportoinnin laadintaan.

Työssä löydettiin lämpökameran uudeksi hyödyntämistavaksi tasakattojen kosteusvaurioiden paikallistaminen. Menetelmää voidaan hyödyntää kesäisin, jolloin lämpökameran käyttö on muuten vähäisempää.

Lämpökuvauksen käytön lisääminen tilaajan laadunvarmistuksessa parantaa todennäköisesti rakentamisen laatua. Lämpökuvauksesta saatujen tulosten perusteella voidaan tehdä vertailuja erilaisten rakennuskohteiden vaikutusta tilan viihtyvyyteen, ja käyttää saatua tietoa seuraavien kohteiden suunnitteluvaiheessa. Lämpökuvauksen käyttö laadunvarmistuksessa ohjaa myös urakoitsijoita tekemään työ laadukkaasti.

11 Lähteet

Painetut lähteet

- Asumisterveysohje 2003. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.
- Asumisterveysopas 2008. Sosiaali- ja terveysministeriö. 2. korjattu painos. Pori: Suomen Ympäristö- ja terveysalan kustannus Oy
- Flir Systems Inc. 2008. Flir i5 -lämpökameran esite. Danderyd, Ruotsi: Flir Systems Inc.
- Heikkilä, Tarja 2005. Tilastollinen tutkimus. 5.-6. painos. Helsinki: Edita Prima Oy
- Hirsjärvi, Sirkka, Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula 2007. Tutki ja kirjoita. 13. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Holst, Gerald C. 2000. Common sense approach to thermal imaging. Florida: JCD Publishing
- Kankainen, Jouko & Junnonen Juha-Matti 2001. Laatuajattelu ja rakennustyömaan laatutoiminnot. Tampere: Rakennustieto Oy
- Kansainvälinen laadunhallinnan ja laadunvarmistuksen standardisanasto SFS-EN ISO 8402:1995
- Kaplan, Herbert 2007. Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment 3.painos. Washington Usa: Spie Press.
- Lillrank, Paul 1998. Laatuajattelu. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Möllmann, Klaus-Peter, Pinno, Frank & Vollmer, Michael 2007, Influence of Wind Effects on Thermal Imaging – Is the Wind Chill Effect Relevant. Inframation 2007-seminaari: Infrared Training Center.
- Rakennustietosäätiö RTS 1995. Rakennuksen sisäilmasto RT 07-10564. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rakennustietosäätiö RTS 2003a. Lämmöneristys, Ohjeet 2003 C4, RT RakMK-21217. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rakennustietosäätiö RTS 2003b. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2003 D2, RT RakMk-21218. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rakennustietosäätiö RTS 2007a. Rakennuksen lämmöneristys, Määräykset 2007 C3, RT RakMK-21355. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rakennustietosäätiö RTS 2007b. Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2007, RT RakMk-21354. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rakennustietosäätiö RTS 2009. Sisäilmastoluokitus 2008 RT 07-10946. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2005. Rakennuksen lämpökuvaukset Ratu 1213-S. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Silén, Timo 1998. Laatujohtaminen. Porvoo: WSOY

Snell, John & Spring, Rob 2002. Nondestructive Testing of Building Envelope Systems using Infrared Thermography. Inframation 2002-seminaari: Infrared Training Center.

Wood, Scott & Weber, Bill 2003. IR Thermography In The Building Science Industry. Inframation 2003-seminaari: Infrared Training Center.

Ympäristöministeriö 2008. Rakennusten lämmöneristys, Määräykset 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristö ja terveys -lehti 7-8: 2007. Lämpökuvaus paljastaa kiinteistön ongelmakohdat. 38 vsk. Pori: Suomen Ympäristö- ja terveysalan kustannus Oy

Ympäristö ja terveys -lehti 4: 2009. Asumisterveyteen liittyvien mittauksen laadunvarmistus. 40 vsk. Pori: Suomen Ympäristö- ja terveysalan kustannus Oy

Sähköiset lähteet

Finlex, Valtion säädöstietopankki. Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) [viitattu 18.8.2009]
Saataavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Flir Systems Inc, Infrared Cameras [viitattu 25.9.2009]
Saataavissa: <http://www.flir.com/thermography/eurasia/en/content/?id=11338>

Journal of Nondestructive Evaluation 1:2000. Application of Infrared Thermography Technique in Building Finish Evaluation. 19 vsk. Springer [viitattu 13.7.2009]
Saataavissa: <http://www.ingentaconnect.com/content/klu/jone>

Sisäilmayhdistys, Ilmavirtaukset rakennuksessa [viitattu 10.9.2009]
Saataavissa: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/ilmavirtaukset_rakennuksessa/

Tilastokeskus, Aloitetut rakennukset 2009, 1. vuosineljännes mennessä [viitattu 16.8.2009]
Saataavissa: http://www.stat.fi/til/ras/2009/01/ras_2009_01_2009-05-29_tau_001.html.

VTT:n henkilösertifikaatin saaneet rakennusten lämpökuvaajat 6.8.2009 [viitattu 16.8.2009]
Saataavissa: http://www.vtt.fi/service/exp/certification/valid_certifications_education.jsp.

Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Maankäyttö- ja rakennuslaki. [viitattu 18.8.2009]
Saataavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=78023&>.

Vim-ilma, Vimin -korvausilmalaitteen toimintaperiaate [viitattu 15.9.2009]
Saataavissa: <http://www.vim-ilma.fi/toiminta.htm>

Wikipedia. Infrapunasäteily [viitattu 10.9.2009]
Saataavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/infrapunas%C3%A4teily>

Taloudellinen tiedotustoimisto, Sähkömagneettinen spektri [viitattu 10.9.2009]
Saataavissa: <http://www.tat.fi/fi/koulut/psade/psade.pdf>

12 Liitteet

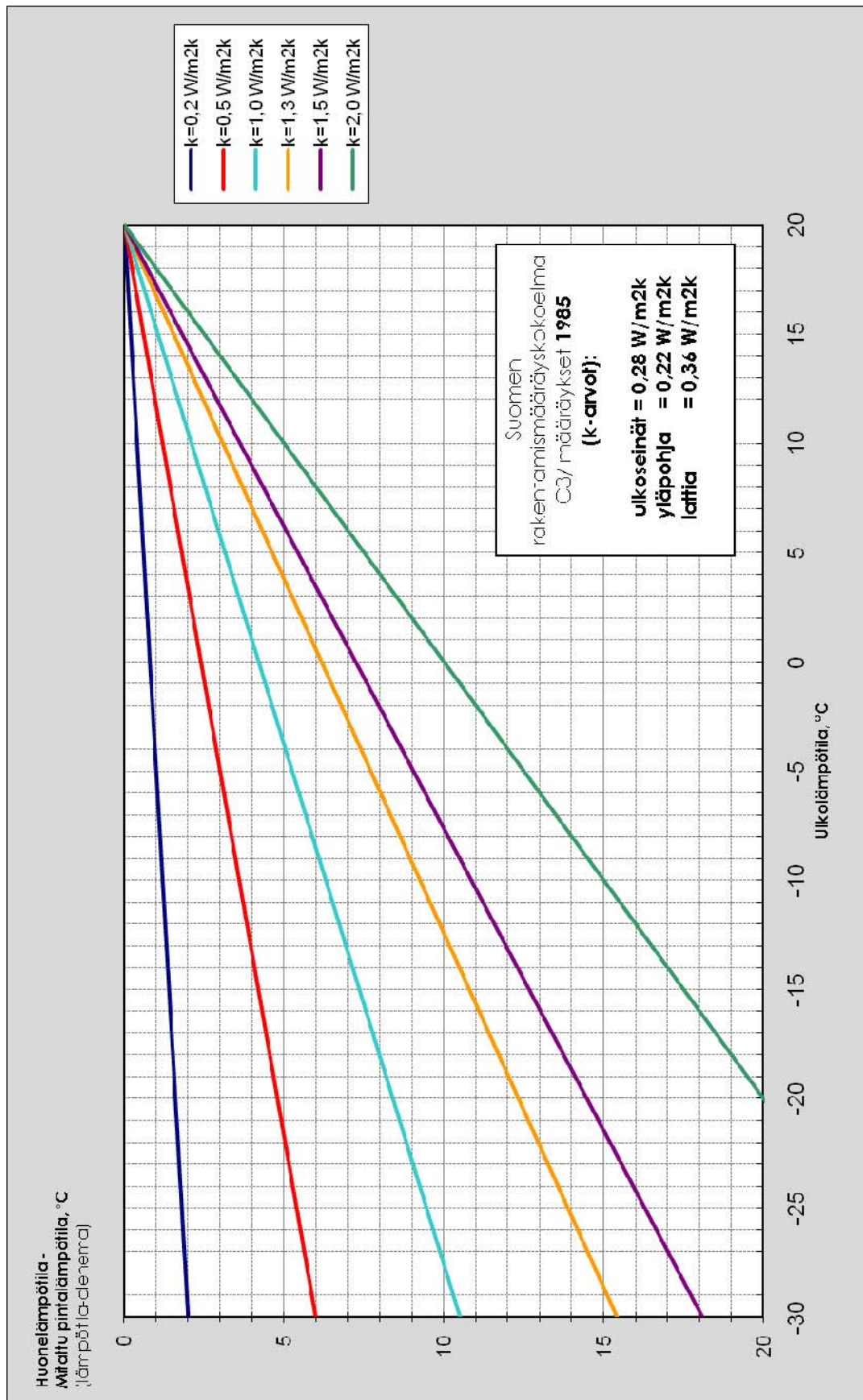
Liite 1:

Heikon tason lämpötilaindeksiraja (TI=61) eri ulko- ja sisälämpötiloissa. Punaisella ne lämpötilat, jotka alittavat Asumisterveysohjeen pistemäiselle pintalämpötilalle annetun välttävän tason.

Sisäilma °C	Ulkoilma °C																														
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
17,0	14,3	13,9	13,5	13,1	12,7	12,3	11,9	11,5	11,2	10,8	10,4	10,0	9,6	9,2	8,8	8,4	8,0	7,6	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1	3,7	3,4	3,0	2,6
17,5	14,6	14,2	13,8	13,4	13,0	12,6	12,2	11,8	11,5	11,1	10,7	10,3	9,9	9,5	9,1	8,7	8,3	7,9	7,6	7,2	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,0	3,7	3,3	2,9
18,0	14,9	14,5	14,1	13,7	13,3	12,9	12,5	12,2	11,8	11,4	11,0	10,6	10,2	9,8	9,4	9,0	8,6	8,3	7,9	7,5	7,1	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,4	4,0	3,6	3,2
18,5	15,2	14,8	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	10,9	10,5	10,1	9,7	9,3	8,9	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,7	4,3	3,9	3,5
19,0	15,5	15,1	14,7	14,3	13,9	13,5	13,2	12,8	12,4	12,0	11,6	11,2	10,8	10,4	10,0	9,6	9,3	8,9	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8
19,5	15,8	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,5	13,1	12,7	12,3	11,9	11,5	11,1	10,7	10,3	9,9	9,6	9,2	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	6,4	6,0	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1
20,0	16,1	15,7	15,3	14,9	14,5	14,2	13,8	13,4	13,0	12,6	12,2	11,8	11,4	11,0	10,6	10,3	9,9	9,5	9,1	8,7	8,3	7,9	7,5	7,1	6,7	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4
20,5	16,4	16,0	15,6	15,2	14,8	14,5	14,1	13,7	13,3	12,9	12,5	12,1	11,7	11,3	10,9	10,6	10,2	9,8	9,4	9,0	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7
21,0	16,7	16,3	15,9	15,5	15,2	14,8	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	12,4	12,0	11,6	11,3	10,9	10,5	10,1	9,7	9,3	8,9	8,5	8,1	7,7	7,4	7,0	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0
21,5	17,0	16,6	16,2	15,8	15,5	15,1	14,7	14,3	13,9	13,5	13,1	12,7	12,3	11,9	11,6	11,2	10,8	10,4	10,0	9,6	9,2	8,8	8,4	8,0	7,7	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,3
22,0	17,3	16,9	16,5	16,2	15,8	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,4	13,0	12,6	12,3	11,9	11,5	11,1	10,7	10,3	9,9	9,5	9,1	8,7	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	6,4	6,0	5,6
22,5	17,6	17,2	16,8	16,5	16,1	15,7	15,3	14,9	14,5	14,1	13,7	13,3	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,0	10,6	10,2	9,8	9,4	9,0	8,7	8,3	7,9	7,5	7,1	6,7	6,3	5,9
23,0	17,9	17,5	17,2	16,8	16,4	16,0	15,6	15,2	14,8	14,4	14,0	13,6	13,3	12,9	12,5	12,1	11,7	11,3	10,9	10,5	10,1	9,7	9,4	9,0	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6	6,2
23,5	18,2	17,8	17,5	17,1	16,7	16,3	15,9	15,5	15,1	14,7	14,3	13,9	13,6	13,2	12,8	12,4	12,0	11,6	11,2	10,8	10,4	10,0	9,7	9,3	8,9	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9	6,5
24,0	18,5	18,2	17,8	17,4	17,0	16,6	16,2	15,8	15,4	15,0	14,6	14,3	13,9	13,5	13,1	12,7	12,3	11,9	11,5	11,1	10,7	10,4	10,0	9,6	9,2	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8
24,5	18,8	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,5	16,1	15,7	15,3	14,9	14,6	14,2	13,8	13,4	13,0	12,6	12,2	11,8	11,4	11,0	10,7	10,3	9,9	9,5	9,1	8,7	8,3	7,9	7,5	7,1
25,0	19,2	18,8	18,4	18,0	17,6	17,2	16,8	16,4	16,0	15,6	15,3	14,9	14,5	14,1	13,7	13,3	12,9	12,5	12,1	11,7	11,4	11,0	10,6	10,2	9,8	9,4	9,0	8,6	8,2	7,8	7,5
25,5	19,5	19,1	18,7	18,3	17,9	17,5	17,1	16,7	16,3	15,9	15,6	15,2	14,8	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	12,4	12,0	11,7	11,3	10,9	10,5	10,1	9,7	9,3	8,9	8,5	8,1	7,8
26,0	19,8	19,4	19,0	18,6	18,2	17,8	17,4	17,0	16,6	16,3	15,9	15,5	15,1	14,7	14,3	13,9	13,5	13,1	12,7	12,4	12,0	11,6	11,2	10,8	10,4	10,0	9,6	9,2	8,8	8,5	8,1
26,5	20,1	19,7	19,3	18,9	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,6	16,2	15,8	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,4	13,0	12,7	12,3	11,9	11,5	11,1	10,7	10,3	9,9	9,5	9,1	8,8	8,4
27,0	20,4	20,0	19,6	19,2	18,8	18,4	18,0	17,6	17,3	16,9	16,5	16,1	15,7	15,3	14,9	14,5	14,1	13,7	13,4	13,0	12,6	12,2	11,8	11,4	11,0	10,6	10,2	9,8	9,5	9,1	8,7
27,5	20,7	20,3	19,9	19,5	19,1	18,7	18,3	17,9	17,6	17,2	16,8	16,4	16,0	15,6	15,2	14,8	14,4	14,0	13,7	13,3	12,9	12,5	12,1	11,7	11,3	10,9	10,5	10,1	9,8	9,4	9,0
28,0	21,0	20,6	20,2	19,8	19,4	19,0	18,6	18,3	17,9	17,5	17,1	16,7	16,3	15,9	15,5	15,1	14,7	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	12,4	12,0	11,6	11,2	10,8	10,5	10,1	9,7	9,3
28,5	21,3	20,9	20,5	20,1	19,7	19,3	18,9	18,6	18,2	17,8	17,4	17,0	16,6	16,2	15,8	15,4	15,0	14,7	14,3	13,9	13,5	13,1	12,7	12,3	11,9	11,5	11,1	10,8	10,4	10,0	9,6
29,0	21,6	21,2	20,8	20,4	20,0	19,6	19,3	18,9	18,5	18,1	17,7	17,3	16,9	16,5	16,1	15,7	15,4	15,0	14,6	14,2	13,8	13,4	13,0	12,6	12,2	11,8	11,5	11,1	10,7	10,3	9,9
29,5	21,9	21,5	21,1	20,7	20,3	19,9	19,6	19,2	18,8	18,4	18,0	17,6	17,2	16,8	16,4	16,0	15,7	15,3	14,9	14,5	14,1	13,7	13,3	12,9	12,5	12,1	11,8	11,4	11,0	10,6	10,2
30,0	22,2	21,8	21,4	21,0	20,6	20,3	19,9	19,5	19,1	18,7	18,3	17,9	17,5	17,1	16,7	16,4	16,0	15,6	15,2	14,8	14,4	14,0	13,6	13,2	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	10,9	10,5

Liite 2:

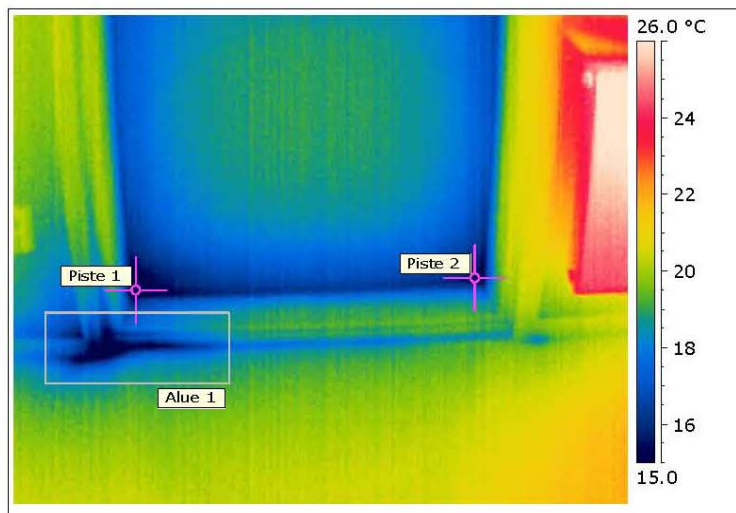
K-arvokäyrät eri sisä-, ulko- ja pintalämpötiloissa sekä vuosien 1995 – 2003 k- arvo-
määräykset.



Liite 3:

Lämpökuvausraporttimalli

KOHDE: Mallikatu 1, 33100 Tampere
TEKNIikka: Patterilämmitys (vesikiertoinen) ja koneellinen poistoilmanvaihto
KUVAUS: Peruskorjauskohteen kuvaaminen ennen käyttöönottoa
PVM: 19.2.2009
KALUSTO: Lämpökamera ThermoCam P25, Lämpömittari Ray Temp 8, Paine-eromittari SwemaAir 300
KUVAAJA: Mauno Mallila, puh. 040 123 4567

1.1 Huoneisto C10 (4h+k+s 104 m²)/takaovi

Lämpökuvaa 1.



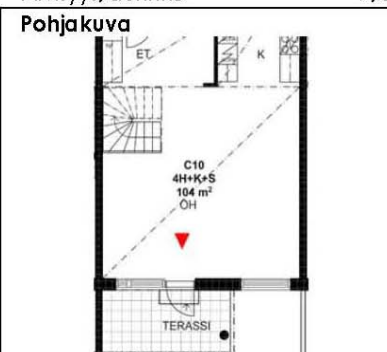
Valokuva 1.

Tunniste	Arvo
Piste 1	13.5 °C
Piste 2	14.6 °C
Alue 1: Min	12.2 °C
Alue 1: Keskiarvo	17.5 °C
Lämpötilaindeksi PISTE 1	53
Lämpötilaindeksi PISTE 2	60
Lämpötilaindeksi ALUE 1	75
Lämpötilaind. ALUE 1 min	47

Lämpötilaindeksin pistemäisen pintalämpötilan raja-arvot:

alle 61 = heikko
 61 – 64 = välttävää
 65 – 100 = hyvä

Muut mittausparametrit	Arvo
Ukolämpötila	3.6 °C
Huonelämpötila	22.1 °C
Paine-ero keskimäärin	-3.1 Pa
Ympäristön lämpötila	22.1 °C
Käytetty emissiivisyys	0.96
Suhteellinen kosteus	30.0 %
Kuvausetäisyys	3.0 m
Tuuli	2 m/s
Pilvisyys/aurinko	7/8

**Lämpökuvaajan kommentit:**

Takaoven tiivisteissä on ilmavuoto oven alanurkissa, koska tiiviste ei ole yhtenäinen. **Lämpötilaindeksi on tasolla heikko. Oven tiiveys on tarkistettava.**

Takaoven karmin ja seinän liitoksessa (karmin vasen alapää) on eristevika tai ilmavuoto. Alueen 1 **lämpötilaindeksi on tasolla heikko. Rakenne on tarkistettava.**