

Lari Silvonen

Tarkastuspalvelun kehitys: lämpötila-analyysi ja lämpökuvauus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri AMK
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
9.3.2012

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Lari Silvonon Tarkastuspalvelun kehitys: lämpötila-analyysi ja lämpökuvaus 57 sivua + 3 liitettä 9.3.2012
Tutkinto	insinööri AMK
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	rakennusten sähkö- ja tietotekniikka
Ohjaajat	projektipäällikkö Janne Katajamäki lehtori Hannu Turunen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli kehittää lämpötila-analyysistä ja lämpökuvauksesta tarkastusmallit Suomen Talokeskus Oy:n käyttöön. Tarkastus- ja raportointipohjat tuotettiin Tampuuri-kiinteistötietojärjestelmän Tarkastussovellukseen.</p> <p>Tarkastussovellus on Talokeskuksen käyttöön ja omistukseen kehitetty tietokantapohjainen Tampuurin alla toimiva erilaisten tarkastusten tekemiseen soveltuva ohjelmisto. Tarkastuksia ovat mm. kuntoarviot, pelastussuunnitelmat ja energiakatselmukset. Kentällä tapahtuva työ tehdään kannettavalla tietokoneella.</p> <p>Lämpötila-analyysissä tarkkaillaan kiinteistön lämmitys- ja säätöjärjestelmien toimintaa huoneistoihin sekä lämmönjakohuoneeseen asennettavien tallentavien lämpötila-antureiden avulla. Mittausjakson pituus on tavallisesti noin viikko. Mittaustuloksista muodostettavien kuvaajien avulla voidaan kartoittaa patteriverkoston perussäädön tarve sekä havaita säätöautomaatiikan mahdolliset puutteet.</p> <p>Lämpökamera muuntaa paljaalle silmälle näkymättömän infrapunasäteilyn kuvaksi, joka esittää kohteen tai näkymän lämpötilajakauman. Lämpökuvauksella voidaan selvittää rakennetta rikkomatta rakennuksen vaipan ilmapuodot, kylmäsillat, lämmöneristyksen kunto ja tasaisuus sekä tietyin edellytyksin paikantaa kosteusvaurioita. Lämpökameralla voidaan myös tarkastella taloteknisten järjestelmien kuntoa ja toimintaa.</p> <p>Rakennusten lämpökuvauksessa käytettävältä lämpökameralta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia. Testien ja käyttäjäkokemusten perusteella valittiin insinööriyössä vertailtavaksi kaksi kameraa, jotka soveltuvat ominaisuuksiltaan erinomaisesti tähän käyttötarkoitukseen.</p> <p>Insinööriyön tuloksena molemmat tarkastusmallit saatiin valmiiksi ja otettiin tuotantoon. Lämpökuvaussovellusta testattiin ensimmäisen kerran käytännössä helmikuussa 2012. Kuvauskohteena oli asuinkeuhkalo Porvoossa. Sovelluksen käyttö havaittiin sujuvaksi, ja selkeästä rakenteesta oli hyötyä kuvauksen suorituksessa.</p>	
Avainsanat	lämpötila-analyysi, loggeri, lämpökuvaus, lämpökamera

Author(s) Title Number of Pages Date	Lari Silvonen Developing inspection service: temperature analysis and thermal imaging 57 pages + 3 appendices 9 March 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building services
Instructors	Janne Katajamäki, Project Manager Hannu Turunen, Senior Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to develop two new types of inspection service products: temperature analysis and thermal imaging. The Bachelor's thesis reviewed the creation of the inspection and report forms for an inspection application of a database system.</p> <p>The methods used in the energy inspections were studied for this project. The temperature analysis is carried out with the same equipment as the energy inspection, and is also mainly conducted in the same way. The content of a thermal imaging inspection was defined according to the information gained on two courses in October 2011.</p> <p>There are certain requirements for thermal imaging cameras used in building inspections. Based on tests and user experiences on the courses, two cameras were chosen for the comparison in this thesis.</p> <p>As a result of this project, the inspection and report forms for temperature analysis and thermal imaging were created, and these inspections were offered for clients as service products. The thermography application was tested for the first time in February 2012. The subject of the inspection was an apartment building in Porvoo. The results indicated that the use of the application is easy and supports the conducting of the inspection.</p>	
Keywords	temperature analysis, temperature sensor, thermography, thermal imaging camera

Sisällys

Käsitteitä

1	Johdanto	1
2	Tarkastussovellus	3
2.1	Tarkastustoiminta	3
2.2	Tarkastuslomake ja tila- ja laiterekisteri	3
2.3	Ylläpidon työkalut	5
3	Lämpötila-analyysi	8
3.1	Yleistä	8
3.2	Laitteisto	10
3.3	Tarkastuslomakkeen ja raportointipohjan muodostus	11
3.4	Mittausten suoritus	13
3.5	Loggereiden purku	14
3.6	Raportointi	16
3.7	Lämpötilakuvaajat	19
3.7.1	Huonelämpötilat	19
3.7.2	Patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat ja ulkolämpötila	20
3.7.3	Käyttöveden meno- ja paluulämpötilat	22
4	Lämpökuvaus	23
4.1	Lämpökamera	23
4.1.1	Lämpökameran toimintaperiaate	23
4.1.2	Kiinteistökuvauksissa käytettävä lämpökamera	28
4.2	Rakennusten lämpökuvaus	31
4.3	Oheismittaukset	38
4.4	Kuvauksen olosuhdevaatimukset	41
4.5	Lämpötilaindeksi	42
4.6	Tarkastuslomakkeen ja raportointipohjan muodostus	43
4.7	Lämpökuvauksen suoritus	44
4.8	Raportointi	48
4.8.1	Lämpökuvausraportti	48
4.8.2	Mittausraportti	50

5	Yhteenveto	54
	Lähteet	56
	Liitteet	
	Liite 1. Lämpötila-analyysin malliraportti	
	Liite 2. Lämpökuvauksen malliraportti	
	Liite 3. Lämpökuvauksmittausraportti	

Käsitteitä

autentikointi	Autentikointi on prosessi, jolla varmennetaan käyttäjän ja palvelimen välinen yhteys käyttäjätunnuksen ja salasanan avulla.
emissiivisyys	Emissiivisyys kuvaa kappaleen kykyä säteillä suhteessa täydelliseen säteilijään. Emissiivisyys on siis kerroin, jonka arvo on välillä 0... 1.
kastepiste	Kastepiste on se ilman lämpötila, jossa ilman sisältämän vesihöyryn tiivistyminen alkaa.
matriisi-ilmaisin	Matriisi-ilmasin on ilmaisinkenno jossa on oma ilmaisिन jokaista kuvapistettä varten.
loggeri	Loggeri on mittaustietoja tallentava anturi.
lämpötilaindeksi	Lämpötilaindeksiä voidaan käyttää rakennuksen vaipan lämpöteknisen toimivuuden arvioinnissa silloin, kun mittauksia ei voida tehdä Asumisterveysohjeen määrittelemissä vakioolosuhteissa (ulkolämpötila $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ja sisälämpötila $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$).
oleskeluvyöhyke	Huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.
replikointi	Tietokantojen replikointi tarkoittaa tietokantojen päivitystä paikasta toiseen siten, että vain muuttuneet osat päivitetään tai kopioidaan. Tietokannat voivat sijaita usealla eri palvelimella tai yhdessä palvelimessa ja useassa työasemassa. Kantoihin tehdyt muutokset päivittyvät automaattisesti kaikkiin muihin kantoihin.
Tampuuri	Tampuuri on kiinteistötietojärjestelmä, joka koostuu dynaamisesta kohde- ja osapuolirekisteristä, johon liittyy useita erilaisia kiinteistöjen hallintaan ja ylläpitoon liittyviä sovelluksia.
Tarkastussovellus	Tarkastussovellus on internetissä Tampuurin alla toimiva tietokantapohjainen erilaisten tarkastusten tekemiseen soveltuva ohjelmisto.

1 Johdanto

Rakennusten energiatehokkuuteen ja sisäilmaston laatuun kiinnitetään vuosi vuodelta enemmän huomiota. Energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Kioton ilmastopöytäkirja ja Suomen ilmastostrategia. Tavoitteena on saavuttaa hyvä sisäilma ja asumisviihtyvyys energiaa tuhlaamatta. Tämä edellyttää toimenpiteitä sekä uudisrakentamisessa että olemassa olevassa rakennuskannassa. Maankäyttö- ja rakennuslakiin perustuvat Suomen rakentamismääräykset velvoittavat ja opastavat energiatehokkaisiin ratkaisuihin. [1]

Rakentamismääräykset koskevat edelleen pääasiassa vain uudisrakentamista. Korjausrakentamista koskevat määräykset ovat vielä valmisteilla, ja ne on määrä julkaista 2012. Määräyksiä on tarkoitus soveltaa sellaiseen korjausrakentamiseen, jonka yhteydessä voidaan parantaa energiatehokkuutta osana muusta syystä johtuvaa korjaus- tai uusimistyötä. [2]

Rakennusten lämmityksen osuus Suomen energiankulutuksesta oli vuonna 2010 noin 30 prosenttia [3]. Lämmönkulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa lämmön tuotanto- ja siirtotapa, säätöjärjestelmät, ilmastointijärjestelmä sekä rakennuksen vaiipan ominaisuudet, lämmönjohtavuus ja ilmanpitävyys. Seuraamalla järjestelmien toimintaa ja selvittämällä mahdolliset puutteet ja viat voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä energiakustannuksissa sekä parantaa asumisviihtyvyyttä. Luotettavien ja kattavien katselmus- ja tarkastuspalveluiden kysyntä on viime vuosina kasvanut määräysten tiukentuessa ja toisaalta mittauslaitteistojen kehittyessä.

Insinööriyön tavoitteena on tuottaa lämpökuvauksesta ja lämpötila-analyysistä tarkastusmallit Suomen Talokeskus Oy:n käyttöön. Lämpötila-analyysi on käytännössä täysin uusi tuote, vaikka vastaavia mittauksia on tehty osana energiakatselmuksia. Lämpökameraa on käytetty muun muassa kuntotutkimusten tukena, mutta varsinaista lämpökuvauksipalvelua Talokeskus ei ole tarjonnut aiemmin. Osana insinööriyötä tarkastellaan myös markkinoilla olevia lämpökameroita. Mittaustulosten tulkintaa ja varsinaista sovel- luskehitystä ei käsitellä tässä työssä tarkemmin.

Tarkastus- ja raportointipohjat tuotetaan Talokeskuksen Tampuuri-kiinteistötietojärjestelmän Tarkastussovellukseen. Tampuuri koostuu dynaamisesta kohde- ja osapuolirekisteristä, johon liittyy useita erilaisia kiinteistöjen hallintaan ja ylläpitoon liittyviä sovelluksia. Näitä ovat muun muassa kulutusseuranta, huoltokirja ja kunnossapito. Talokeskus käyttää Tarkastussovellusta tietyissä katselmuksissa ja tarkastuksissa. Tavoitteena on tulevaisuudessa siirtää kaikki tarkastustoiminta Tarkastussovellukseen.

Lämpökuvausta varten suoritin Infradex Oy:n järjestämän ITC Level 1 -koulutuksen ja Rakennusteollisuuden koulutuskeskuksen järjestämän lämpökuvauksen henkilösertifiointiin valmentavan rakennuksen lämpökuvaaja -koulutuksen. Kursseilla käytiin läpi lämpökuvauksen teoriaa, suoritusta, raportointia, laitteistoja ja ohjelmistoja.

Talokeskus on kiinteistöjen korjausrakentamiseen, ylläpitoon ja energianhallintaan sekä kiinteistöjen tiedonhallinnan ratkaisuihin erikoistunut insinööritoimisto, jonka toimipisteet sijaitsevat Helsingissä, Lahdessa, Tampereella ja Jyväskylässä. Talokeskuksen liikevaihto on noin 14 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä noin 120. Yrityksen pääomistaja on Suomen Kiinteistöliitto 59,9 %:n osuudella. Yhtiö on perustettu vuonna 1923 ja se on ottanut 17.1.2011 käyttöön markkinointinimen Talokeskus. Suomen Talokeskus-konsernin muodostavat emoyhtiö Suomen Talokeskus Oy ja kiinteistöalan tietojärjestelmiä ja tiedon hallinnan palveluita toimittava Agenteq Solutions Oy. [4]

2 Tarkastussovellus

2.1 Tarkastustoiminta

Talokeskuksen tuottamien tarkastusraporttien sisällöt vaihtelevat tekijöittäin. Siirtyminen yhtenäisesti kaikessa tarkastustoiminnassa käytettävään sovellukseen tehostaa ja parantaa tarkastustoimintaa ja sen laatua. Tarkastussovellus on Talokeskuksen käyttöön ja omistukseen kehitetty tietokantapohjainen Tampuurissa toimiva erilaisten tarkastusten tekemiseen soveltuva ohjelmisto. Tarkastuksia ovat mm. kuntoarviot, pelastussuunnitelmat ja energiakatselmukset. [5]

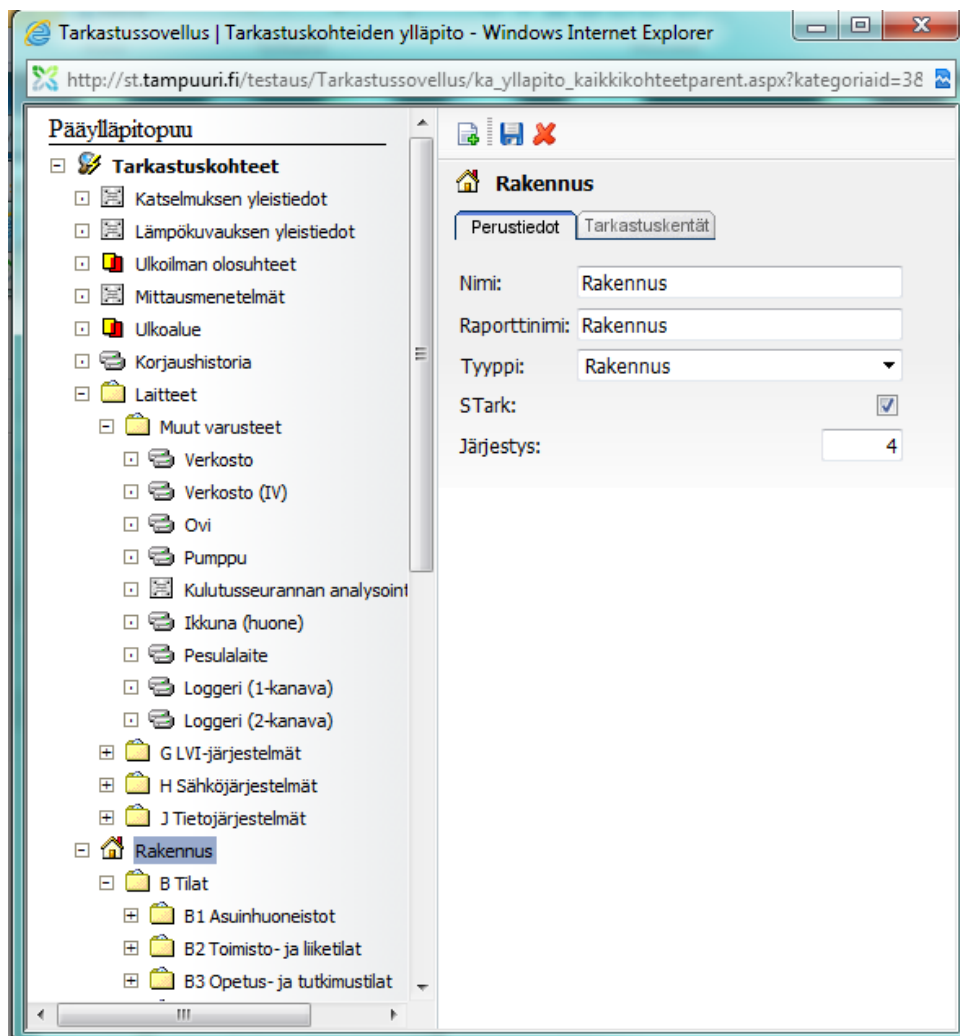
Kentällä tapahtuva työ tehdään kannettavalla tietokoneella ja paikallisesti toimivalla Tarkastussovelluksella. Tiedot välitetään kannettavalta palvelimelle replikoinnin ja autentikoinnin avulla. Tietojen replikointi tarkoittaa tietokantojen päivitystä paikasta toiseen siten, että vain muuttuneet osat päivitetään tai kopioidaan. Tietokannat voivat sijaita usealla eri palvelimella tai yhdessä palvelimessa ja useassa työasemassa. Kantoihin tehdyt muutokset päivittyvät automaattisesti kaikkiin muihin kantoihin. Autentikoinnilla varmennetaan käyttäjän ja palvelimen välinen yhteys käyttäjätunnuksella ja salasanalla, jotta replikointi voidaan suorittaa mistä tahansa IP-osoitteesta. Työt voidaan tehdä myös suoraan palvelimelle internetin välityksellä. Tosin langattomat nettiyhteydet eivät aina toimi sadan prosentin varmuudella tai riittävän nopeasti. Käytännössä työn sujuvuuden kannalta replikointi on havaittu parhaaksi tiedonvälitystavaksi. [5]

2.2 Tarkastuslomake ja tila- ja laiterekisteri

Kenttätoiminnassa kohteet katselmoidaan tila- ja laitekohtaisesti. Kentällä täytetään kohteittain muokattava tarkastuslomake. Tarkastuslomakkeen muodostaminen tapahtuu kenttätoiminnan yhteydessä suoraan kannettavalle tietokoneelle. Sähköisen lomakkeen muodostamiseksi on rakennettu tila- ja laiterekisteri, josta tarkastuslomakkeelle valitaan tarkastettavat tilat ja laitteet. Rekisterin esitysmuodoksi on valittu kansiomainen puurakenne, josta tulee myös tarkastussovelluksessa käytettävä nimitys pääylläpitu (kuva 1). Rekisterissä tiloille ja laitteille määritellään tarvittavat tietokentät, jois-

sa kerrotaan, mitä tietoja tarkastuksen yhteydessä on kerättävä. Insinööriyössä pääylläpitopuuta täydennettiin vastaamaan uusien tarkastusten tarpeita. [5]

Tarkastussovellus pohjautuu tällä hetkellä viiteen kategoriaan: kuntotarkastukseen, turvatarkastukseen, energiakatselmukseen, tekniseen tarkastukseen ja huoneistotarkastukseen. Insinööriyössä kehitetyt lämpötila-analyysin ja lämpökuvauksen tarkastuspohjat sijoitettiin energiakatselmuskategoriaan. Sovelluksen dynaaminen rakenne mahdollistaa kategorioiden lisäämisen tulevaisuudessa tarpeen mukaan. Jokaisella kategoriolla on oma pääylläpitopuu. Puiden rakenne sekä tarkastuskohteiden sisältämät tarkastuskentät pystytään näin yksilöimään näin yksilöimään kunkin kategorian tarpeisiin.



Kuva 1. Energiakatselmuskategorian pääylläpitopuu.

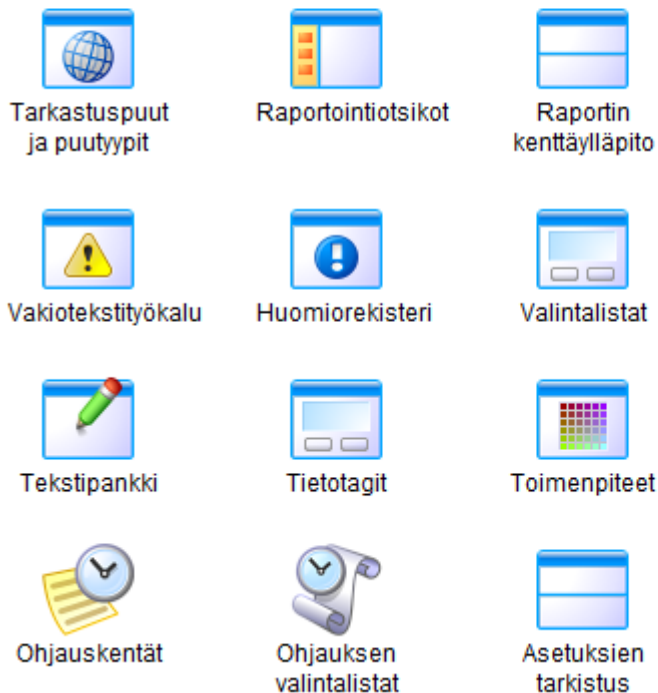
2.3 Ylläpidon työkalut

Tarkastuslomakkeiden ja raporttien ohjelmoimisen sijaan tarkastussovellukseen on tehty tarvittavat työkalut tarkastusten ja raporttien luomiseen ja ylläpitoon (kuva 2). Työkaluilla pystytään rakentamaan yksilöityjä tietokantapohjaisia tarkastusmalleja sekä määrittelemään niistä muodostettavien raporttien sisältö ja ulkoasu.

Tarkastussovellus - Ylläpito

Kuntotarkastus Turvatarkastus **Energiakatselmus** Tekninen tarkastus Huoneistotarkastus

Elmus - Ylläpitotyökalut



Kuva 2. Tarkastussovelluksen ylläpitotyökalut kategorioittain.

Tarkastuspuut ja puutyypit -työkalulla voidaan lisätä ja poistaa tiloja ja laitteita pääylläpituksessa sekä määritellä niille kuuluvia tarkastuskohdekenttiä. Työkalulla muodostetaan myös tarkastusten peruspuut, eli määritellään ne tilat ja laitteet, jotka uutta tarkastusta perustettaessa automaattisesti tulevat tarkastuslomakkeelle.

Raportointiotsikot-työkalulla muodostetaan raportissa käytettävä sisällysluettelo. Otsikoiden alle valitaan listasta käytettävät moduulit. Esimerkiksi kenttäteksti-moduuliin Tarkastussovellus tuo tarkastuslomakkeelta tarkastuskentän tiedot. Kaikkia tarkastuksessa kerättäviä tietoja ei ole aina tarpeen raportoida asiakkaalle, joten raportille tuotavat tarkastuskenttätiedot määritellään raportin kenttäylläpito -työkalulla. Tällä työkalulla ohjataan tarkastuslomakkeelta siirtyvät tarkastuskenttätiedot oikeiden moduulien alle.

Vakiotekstityökaluun tallennetaan raporteille tulostuvat vakionuotoiset tekstiosiot. Vakiotekstit kohdennetaan raportille raportointiotsikot-työkalulla. Vakiotekstien sisään voidaan lisätä informaatiota sisältäviä tunnisteita, eli tietotageja, joiden avulla voidaan tekstin sekaan hakea esimerkiksi rakennuksen tietoja suoraan Tampuurin kohderekisteristä. Tietotagien luominen tapahtuu tietotagit-työkalulla. Tietotagille määritellään tyyppi, sekä sijainti mistä kyseinen tieto löytyy. Kuvassa 3 on esitetty tietotagin luominen. Tällä tietotagilla haetaan tarkastuksen kohteen rakennustilavuus Tampuurin kohderekisteristä.

Tietotagi työkalu

Tietotagin tyyppi

Kohteista Osapuolista Tarkastussovelluksesta Erikoistagi

Tagin rakennus Tampuurin kohteista

Kustannuspaikka
 Rakennus
 Asunto
 Kiinteistö
 OSAJÄRJESTELMÄ
 PÄÄJÄRJESTELMÄ
 Ohjekansio

Valitse

Rakennusvuosi
 Rakennustilavuus
 YosahkonMittaus
 Kiinteistötyyppi
 OljynKulut Mittaustapa
 Lämmitysmuoto
 Laskennan kiinteistötyyppi

Lisää valittujen kenttien nimet sarakkeen nimeksi.

Nimi Kohde - Rakennustilavuus
 Haetaan kohderekisteristä rakennustilavuus

kuvaus

Tietotagi kaikkiin kategorioihin

Kuva 3. Tietotagin luominen.

Huomio- ja toimenpiderekistereihin tallennetaan yleisimmin käytettävät havainnot ja toimenpide-ehdotukset, joita voidaan tarkastuksen ja raportoinnin yhteydessä liittää helposti tarkastuskohteelle. Toimenpide-ehdotuksia ovat muun muassa laitteistojen kunnosta tai iästä johtuva uusimistarve sekä lämmityksen säätökäyrän muutokset.

Valintalistat-työkalulla luodaan alasetoalikoita tarkastuskentissä käytettäväksi. Esimerkkejä käytettävistä alasetoalikoista: laitevalmistaja, lämmitysjärjestelmä ja ikkunatyyppi.

Tekstipankkiin tallennetaan sellaisia raportille liitettäviä tekstiosuuksia, joita käytetään toistuvasti mutta joiden ei haluta oletusarvoisesti tulostuvan raportille kuten vakiotekstit. Esimerkiksi Turvatarkastus-kategoriassa tekstipankkiin on tallennettu muun muassa kaksi pelastustietä koskevaa tekstiä, joista valinta tehdään sen mukaan, onko kiinteistöllä virallinen pelastustie vai ei.

3 Lämpötila-analyysi

3.1 Yleistä

Huoneilman lämpötila vaikuttaa oleellisesti viihtyvyyteen. Liian alhainen tai korkea lämpötila saattaa aiheuttaa terveydellisiä haittoja, väsymistä ja keskittymiskyvyn alenemista. Suuret lämpötilaerot voivat aiheuttaa lämpösäteilyn epäsymmetrisyyttä eli vedon tunnetta. Korkea huonelämpötila tarkoittaa yleensä myös suurempia lämmityskustannuksia. [6]

Lämmitysjärjestelmät voidaan karkeasti jakaa kolmeen osaan: lämmöntuotantoon, -jakeluun ja -luovutukseen. Näiden osa-alueiden toimintaa säätelevät erilaiset säätölaitteet, kuten säätökeskus, venttiilit ja termostaatit. Verkoston säätäminen oikean huonelämpötilan saavuttamiseksi on todella tärkeä toimenpide kiinteistön energiatalouden kannalta. [7]

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän lämmityspatterien menoveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Mitä kylmempi sää, sitä kuumempaa vettä kiertää patteriverkostossa. Menoveden lämpötilaa säädetään tähän tarkoitukseen suunnitellulla säätökeskuksella. Tämä laite sisältää säätökäyrän, joka toimii menoveden lämpötilan asetusarvona. Säätökäyrän muuttaminen vaikuttaa koko kiinteistön lämpötiloihin, joten patteriverkoston tulisi olla perussäädetty ennen kuin käyrää lasketaan tai nostetaan. [7]

Motivan arvioiden mukaan jopa 75 prosenttia Suomen rakennuskannasta on puutteellisesti perussäädetty (kuva 4). Lämmitysverkoston perussäädössä vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä viritetään toimimaan suunnitelmien mukaisesti. Perussäädöllä voidaan vähentää energiankulutusta jopa 10–15 prosenttia. Yhden asteen pudotus huonelämpötilassa vastaa yleensä noin 5 prosentin säästöä lämmityskustannuksissa. [8]

Yleistilanne



Keskilämpötila:
asuinhuoneistot 24,0 °C

Haitat:

Osassa huoneistoja liian korkea lämpötila = epämukavuutta ja lämmönhukkaa, tarvetta ylimääräiseen tuulettamiseen.

Osassa huoneistoja liian alhainen lämpötila = epämukavuutta ja tarvetta lisälämmitykseen.

Ihannetilanne



Keskilämpötila:
asuinhuoneistot 21,0 °C

Hyödyt:

Energiansäästö, tasaiset huone- lämpötilat, terveellinen sisäilma, asukkaat viihtyvät ja voivat hyvin.

Laitteet teknisesti ajan tasalla = helppo huoltaa.

Kuva 4. Puutteellisesti perussäädetty lämmitysverkosto ja oikein säädetty verkosto. [8]

Kiinteistön lämpötila-analyysillä pyritään kartoittamaan lämmitysjärjestelmän perussäädön tarve sekä havaitsemaan säätöautomaatiikan toiminnan mahdolliset puutteet. Huoneistojen lämpötilaa sekä patteriverkoston ja käyttöveden meno- ja paluulämpötiloja tarkkaillaan yhtäjaksoisesti noin viikon ajan. Mittaustuloksista muodostetaan kuvaajia ja niiden perusteella tehdään päätelmiä ja toimenpide-ehdotuksia.

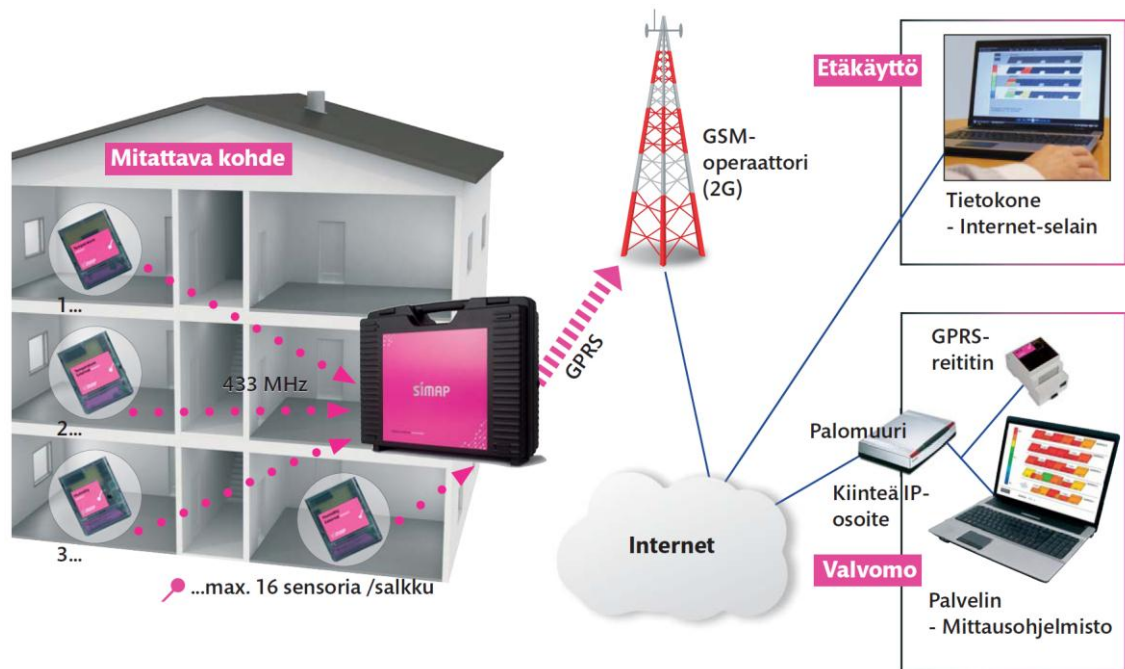
Mittausjärjestelmää on käytetty aikaisemmin osana asuinkiinteistöjen energiakatselmuksia. Nyt kysyntä tämältyyppiselle tarkastukselle on kuitenkin kasvanut, ja tämän insinööriyön tavoitteena on tuottaa lämpötila-analyysistä tarkastus- ja raportointipohjat Tarkastussovellukseen.

3.2 Laitteisto



Kuva 5. SiMAP-mittaussalkku.

Mittauksissa käytetään Si-Tecnon SiMAP-mittaussalkkuja (kuva 5). Salkku sisältää virtalähteen, paikat kuudelletoista anturille, GSM-antennin tiedonvälitystä varten sekä SiMAP-controllerin, joka vastaanottaa langattomien anturien radioteitse lähettämät mittaustiedot. Se myös välittää mittatiedot edelleen GPRS-modeemiyhteyden kautta Talokeskuksen tietokantapalvelimelle (kuva 6). Mittaustulosten analysointi tapahtuu Tampuuri-kiinteistö tietojärjestelmän Tarkastussovelluksen kautta.



Kuva 6. Mittausjärjestelmän toimintaperiaate.

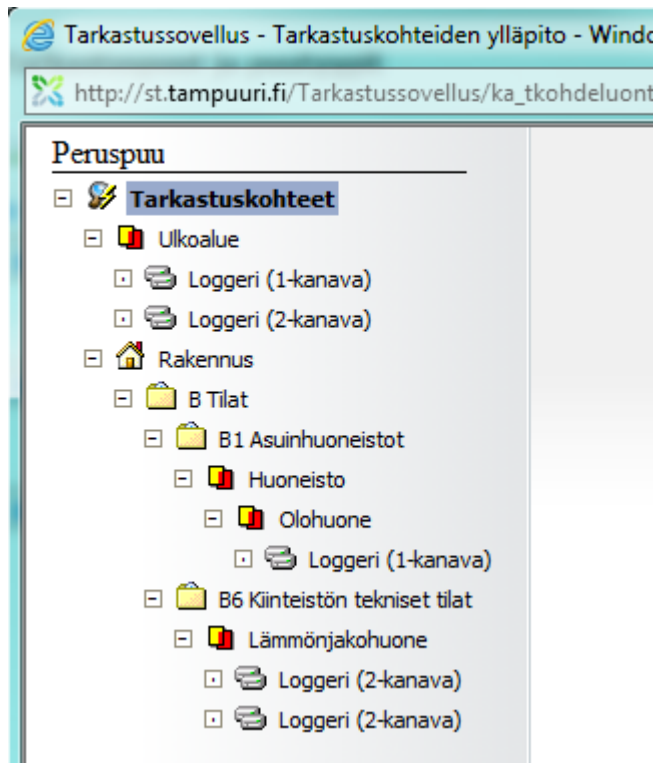
Talokeskuksen salkuissa on kolmetoista yksikanavaista ja kolme kaksikanavaista loggeria, eli tallentavaa anturia. Loggereiden sisäinen tallennuskapasiteetti on laitevalmistajan käyttämällä kymmenen minuutin tallennusväkillä kahdeksan viikkoa. Talokeskus käyttää kuitenkin suurempaa mittaustaajuutta, jolloin tallennusväli on viisi minuuttia ja tallennuskapasiteetti neljä viikkoa. Kaksikanavaisissa loggereissa käytetty yhden minuutin tallennusväli rajoittaa mittauksen keston noin kuuteen päivään, jos tietoa ei saada purettua loggereilta radioyhteyden avulla. Valmistajan ohjeiden mukaan loggerit tulee sijoittaa kahdenkymmenen metrin säteelle salkusta. Radioyhteyden toiminta vaihtelee riippuen loggerin ja controllerin välissä olevista esteistä. Kuuluvuusalueen ulkopuolella oleviin loggereihin voidaan tarvittaessa liittää signaalinvahvistin, mikäli mittauksista on tarvetta seurata reaaliaikaisesti. Loggerit voidaan purkaa myös manuaalisesti mittauksen päätyttyä.

3.3 Tarkastuslomakkeen ja raportointipohjan muodostus

Lämpötila-analyysin tarkastuslomakkeen ja raportin sisällön määrittely aloitettiin muodostamalla Wordilla malliraportti. Mittauslaitteistoa on käytetty 2010 alkaen energiakatselmuksissa. Katselmuksissa tehtyjä havaintoja ja käyttökokemuksia hyödynnettiin malliraportin laatimisessa.

Seuraavaksi Tarkastussovellukseen muodostettiin malliraportin mukainen sisällysluettelo raportointiotsikot-työkalun avulla. Otsikoille määriteltiin käytettävät moduulit ja raporteille aina tulostuvat tiedot liitettiin oikeiden otsikoiden alle vakioteksteinä. Tarkastuskohteen perustiedot tuodaan raportille kohderekisteristä käyttämällä vakiotekstiin sijoitettuja tietotageja. Osapuolietiedot haetaan osapuolirekisteristä tähän tarkoitukseen rakennetun moduulin avulla.

Sisällysluettelon rakentamisen jälkeen muodostettiin tarkastuksen peruspuu (kuva 7) valitsemalla pääylläpitopuusta tarkastuslomakkeelle automaattisesti siirtyvät tilat ja varusteet. Ulkoalueelle sijoitettiin sekä yksi- että kaksikanavaiset loggerit. Kaksikanavaiseen loggeriin liitettävän ulkoisen anturielementin johto on mahdollista pujottaa lämmönjakuhuoneen raitisilmasäleikön kautta mittaamaan ulkoilman lämpötilaa. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää yksikanavaista ulos sijoitettavaa loggeria. Rakennukseen muodostettiin yksi huoneisto, johon sijoitettiin yksikanavainen loggeri olohuoneeseen. Lämmönjakuhuoneeseen tuotiin kaksi kaksikanavaista loggeria: toinen patteriverkoston meno- ja paluulämpötilojen mittaukseen ja toinen käyttöveden meno- ja paluulämpötiloja varten.



Kuva 7. Lämpötila-analyysin peruspuu.

Raportissa kiinnitettiin huomiota asiakkaalle tärkeiden havaintojen ja toimenpide-ehdotusten näkyvyyteen ja selkeyteen. Tiivistelmässä esitellään kohde sekä esitetään yleisiä havaintoja mittauksista. Huollon työesityksiin kirjataan käyttöön ja huoltoon liittyvät suositukset, esimerkiksi säätökäyrän muutokset. Mittauksista tehtyjen havaintojen pohjalta laaditaan budjetointiesityksiä, kuten lämmitysjärjestelmän perussäätö. Mittaustulokset ja havainnot on raportilla jaoteltu mittauskohdekohtaisesti. Mittaustuloksista muodostetaan viisi erilaista kuvaajaa.

3.4 Mittausten suoritus

Tarkastuksen suunnittelussa päädyttiin mahdollisimman selkeään ja yksinkertaiseen malliin. Mittauksia tullaan yleensä tekemään jo asutuissa kiinteistöissä. Asukkaista joh-tuen yleensä ei päästä mittaamaan jokaista huoneistoa. Mitattavat huoneistot valitaan asukaskyselyiden, isännöitsijän ja huollon suositusten sekä asiakkaan toiveiden perus-teella. Huoneistojen valinnassa pyritään mahdollisimman kattavaan otantaan, eli pyri-tään mittaamaan huoneisto alimmasta ja ylimmästä kerroksesta sekä rakennuksen päädyistä.

Huoneistojen lämpötilamittausta varten loggerit viedään makuuhuoneisiin ja olohuo-neeseen. Loggeri sijoitetaan oleskeluvyöhykkeelle siten, että se on auringonvalolta suo-jassa ja mahdollisimman kaukana kaikista ulkoisista lämmönlähteistä, joita ovat muun muassa tv, lämpöpatterit ja valaisimet. Radioyhteyden toiminnan kannalta on pyrittävä välttämään loggerien sijoitusta suurten metallisten kappaleiden välittömään läheisyy-teen. Mikäli halutaan suorittaa koko kiinteistön lämpökartoitus, yksi loggeri huoneistoa kohden riittää. Mitattavista huoneistoista irrotetaan patteritermostaatit ja ohjeistetaan asukkaita. Tällä pyritään rajoittamaan asukkaiden vaikutusta lämmitysjärjestelmän toi-mintaan. Mittauksen aikana lämpötila huoneistossa saattaa nousta huomattavasti joh-tuen rajoittamattomista lämmityspattereista. Asunnon tuuletusta tulisi kuitenkin vält-tää, sillä se sotkee mittausta ja asunto joudutaan yleensä jättämään tarkastelun ulko-puolelle mittaustuloksia analysoitaessa, jos olosuhteiden muutoksesta ei ole tarkkoja tietoja.

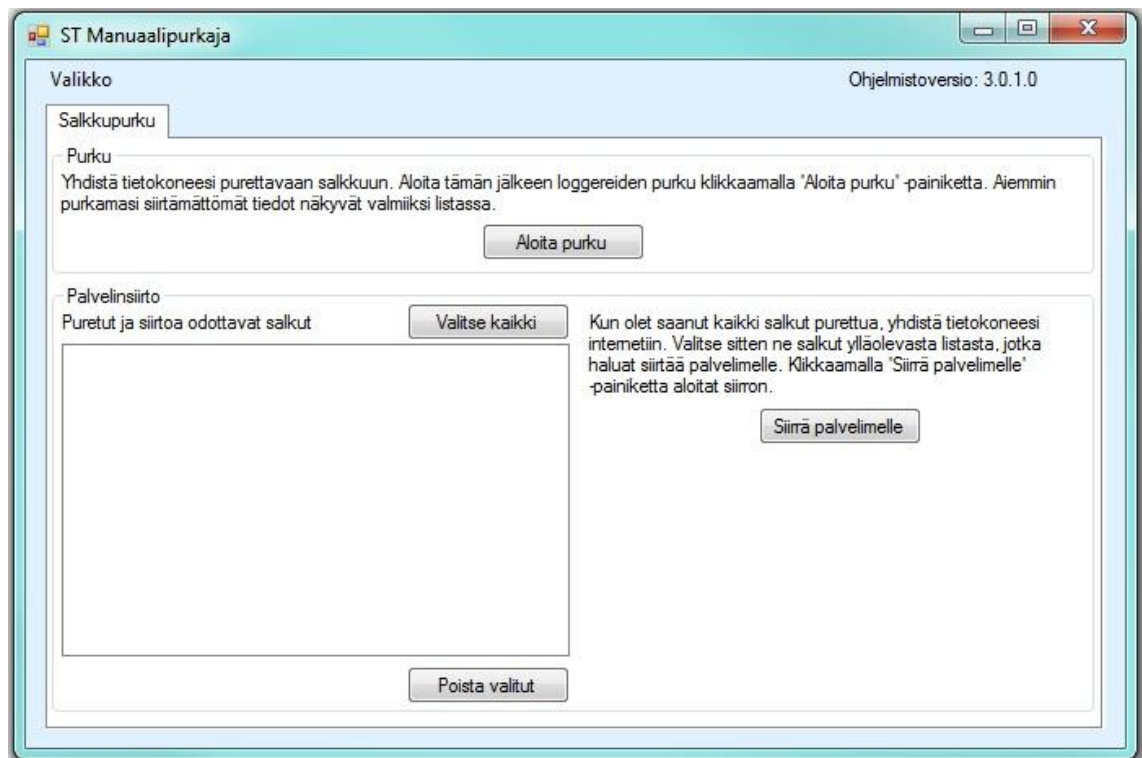
Lämmönjakohuoneesta mitataan patteriverkoston veden sekä käyttöveden meno- ja paluulämpötilat. Lämmönjakohuoneen mittauksissa käytetään kaksikanavaisia loggerei-

ta, jotka on varustettu mittausjohdoilla. Lämpötilat mitataan putken pintalämpötilana mahdollisimman läheltä lämmönsiirtimiä. Ulkolämpötila mitataan kahdesta paikasta. Ulkolämpötila-loggeri pyritään sijoittamaan rakennuksen pohjoispuolelle, jolloin minimoidaan auringon lähettämän lämpösäteilyn vaikutus. Looginen sijoituspaikka on myös automatiikan ulkolämpötila-anturin välittömässä läheisyydessä.

Salkku sijoitetaan mahdollisimman keskeiselle paikalle, yleensä lämmönjakohuoneeseen. Lämmönjakohuoneen mittauksiin käytettävien kaksikanavaisten loggerien tallennuskapasiteetti on alle kuusi päivää. Tallennustilan täytyttyä loggeri jatkaa kuitenkin mittauksia ja tallentaa vanhan tiedon päälle. Salkku on syytä sijoittaa lähelle kaksikanavaisia loggereita, jotta niiden tallentama mittausdata saadaan purettua. Radioyhteyden kantama on valmistajan ohjeiden mukaan noin 20 metriä. Radioyhteyden toimintaan vaikuttaa lähettimen ja vastaanottimen ympäristö sekä välissä olevat esteet. Laittevalmistajan ja Talokeskuksen tekemissä testeissä onkin havaittu, että kontrolleri saattaa vastaanottaa signaaleja viereiseen rakennukseen sijoitetulta loggereilta, mutta ei viereisestä huoneistosta. Mittausjakson pituus voidaan valita tapauskohtaisesti, mutta yleisesti noin viikon kestävä mittaus on riittävän kattava.

3.5 Loggereiden purku

Manuaalipurkua varten tarvitaan tietokone internet-yhteydellä ja ethernet-portilla. Tietokoneen lähiverkkoyhteyden verkkosovittimen TCP/IP-asetuksiin tulee vaihtoehtoiseksi konfiguraatioksi asettaa IP-osoite ja aliverkon peite, jotta yhteyden muodostaminen salkkuun onnistuu. Purkua varten käynnistetään tietokoneelle asennettu ST Manuaalipurkaja -ohjelma (kuva 8). Mittaussalkku yhdistetään tietokoneeseen ethernet-kaapelilla ja salkkuun kytketään virta. Salkun käynnistyminen kestää alle minuutin, mutta tietokoneen verkkoyhteyden muodostaminen salkkuun saattaa kestää kauemmin.



Kuva 8. ST Manuaalipurkaja.

Purku aloitetaan painamalla *aloita purku* -painiketta. Ohjelma ottaa yhteyden salkkuun antaa ohjeet loggereiden purkamisesta. Purku tapahtuu painamalla loggerin kyljessä olevaa nappia (kuva 9).



Kuva 9. Purkupainike.

Kun kaikki loggerit on purettu, painetaan *valmis*-painiketta. Jos purettavana on useampia salkkuja, ne voidaan purkaa tämän jälkeen samalla tavalla. Jokaisen purun jälkeen on aina muistettava hyväksyä salkun tilanne "valmis"-painikkeella ja odottaa yhteyden muodostumista uuteen salkkuun ennen purkamisen aloittamista.

Kun kaikki salkut on purettu, tiedot siirretään Talokeskuksen palvelimelle. Siirtoa varten tietokone irrotetaan salkusta ja yhdistetään internetiin. Siirto käynnistetään *siirrä palvelimelle* -painikkeella. Mikäli siirto onnistuu kokonaisuudessaan, ohjelma ilmoittaa siitä ja poistaa siirretyn paketin tietokoneelta. Jos siirrossa ilmenee ongelmia, epäonnistuneet salkut ja niiden loggerit listataan erikseen. Virhetilanteessa pakettia ei poisteta tietokoneelta, joten se voidaan yrittää siirtää uudelleen joko heti tai myöhemmin. Tiedot säilyvät koneella myös ohjelman sulkemisen jälkeen, joten purku voidaan suorittaa vaikka kentällä ja siirtää tiedot palvelimelle vasta toimistolla.

3.6 Raportointi

Mittaustietojen analysointi tapahtuu Tarkastussovelluksen raportointiosiossa. Sovellus muodostaa tarkastuksesta automaattisesti ylläpitotyökaluilla tehtyjen määritysten mukaisen raportin. Kuvassa 10 on esitetty lämpötila-analyysin raportti. Kuvassa vasemmalla on raportin sisällysluettelo, ja oikealla näkyvät otsikolle tarkastuskohde ja osapuolet määritellyt vakioteksti-, tilaaja- ja tarkastajamoduulit. Vakiotekstiin sijoitetut tietotagit hakevat tietoja kohderekisteristä.

Tarkastusraportti

Sisällysluettelo: **Kiinteistön lämpötila-analyysi** Raportin kohde: **16822 Jannen testikohde**

Sisällysluettelo

- Kansilehti
- Sisällysluettelo
- Tiivistelmä
- **Tarkastuskohde ja osapuolet**
- Yleistä
- Huollon työesitykset
- Budjetoituesitykset
- Huonelämpötilat
- Lämpötilojen raja-arvot
- Mittaustulokset ja havainnot
- Patteriverkoston meno- ja paluu- sekä ulkolämpö
- Toiminnan kuvaus
- Mittaustulokset ja havainnot
- Käyttöveden meno- ja paluulämpötilat
- Lämpötilojen raja-arvot
- Mittaustulokset ja havainnot

Vakioteksti

Kohdetiedot

Nimi	Jannen testikohde
Osoite	testikatu 2
	12345
	Helsinki
Kiinteistötyyppi	RIVITALO
Rakennusvuosi	1999
Rakennustilavuus	7500
Asuntojen lkm	1
Asukkaiden lkm	-
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö
Ilmanvaihtojärjestelmä	Keskitetty poisto

Tarkastuksen tilaajan tiedot



Tilaja: Suomen Talokeskus Oy
Osoite: Pihlajistonkuja 4
Postinumero 00710
Paikkakunta: Helsinki

Tarkastaja
Kiinteistön lämpötila-analyysi Silvonon Lari

Kuva 10. Lämpötila-analyysin raportointi.

Tässä vaiheessa raportilta puuttuvat enää mittaustulokset sekä niistä tehdyt huomiot ja toimenpide-ehdotukset. Raportin yläreunassa on työkalurivi, josta löytyvällä loggerityökalulla (kuva 11) muodostetaan mittauksista kuvaajia joiden avulla analysoidaan kiinteistön lämmitysjärjestelmien toimintaa. Kuvaajaan valitaan tarkasteltava mittauksen aikaväli sekä mittaukset. Työkalu hyödyntää tarkastuslomakkeen puurakennetta mittauksen jaottelussa. Loggerit ja niiden sijainnit listautuvat *huonemittaukset ja lämmönjakuhuoneen mittaukset* -otsikoiden alle. Kun kuvaaja on muodostettu, se voidaan tallentaa oikeaan kohtaan raportille valitsemalla listasta otsikko ja painamalla *tallenna graafi* -painiketta.

Loggeri työkalu

Katselmukselle ei löytynyt yhtään mittaustietoa!

Piilota valinnat
Tallenna graafi
 Tallenna kuva liitteeksi.
 Lisää kuva kuvapankkiin.

-- Valitse --

Muodosta graafi käyttämällä valintoja. Voit tallentaa graafin liitteeksi valitun otsikon alle. Graafin voi myös tallentaa kuvapankkiin kuvaksi, jota voi käyttää raportin tekstikentässä.

Loggerivalinnat

Aikaväli	Graafi valinnat												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="text-align: center;">Alku</td> <td style="text-align: center;">Loppu</td> </tr> <tr> <td>Aika:</td> <td style="border: 1px solid #ccc; text-align: center;">3.2.2012</td> <td style="border: 1px solid #ccc; text-align: center;">10.2.2012</td> </tr> <tr> <td>Klo vrk:</td> <td style="border: 1px solid #ccc; text-align: center;">0</td> <td style="border: 1px solid #ccc; text-align: center;">24</td> </tr> <tr> <td>Otsikko:</td> <td colspan="2" style="border: 1px solid #ccc; height: 20px;"></td> </tr> </table>		Alku	Loppu	Aika:	3.2.2012	10.2.2012	Klo vrk:	0	24	Otsikko:			<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Huonelämpötilat <input checked="" type="checkbox"/> Lämmönjakohuoneen mittaukset <input checked="" type="checkbox"/> Ulkolämpötilat <input type="checkbox"/> Keskiarvo <input type="checkbox"/> Keskihajonta <input type="checkbox"/> Lämpötilojen pysyvyys (lineaarinen) <input type="checkbox"/> Vuorovaikutuskäyrä (valitse tasan kaksi) <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vaihda aksellit
	Alku	Loppu											
Aika:	3.2.2012	10.2.2012											
Klo vrk:	0	24											
Otsikko:													
Huonemittaukset	Lämmönjakohuoneen mittaukset												

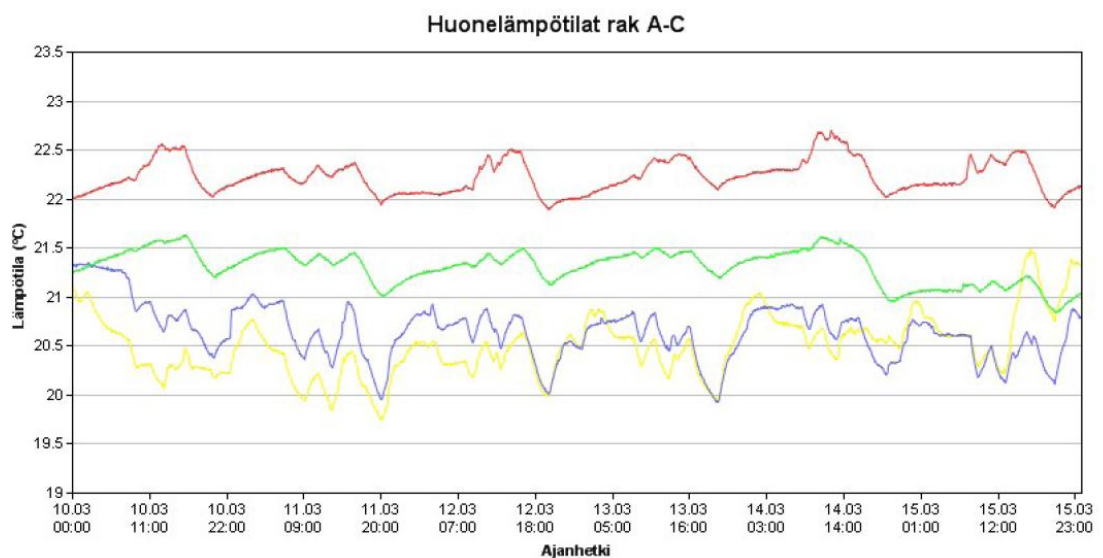
Sulje

Kuva 11. Loggerityökalu.

3.7 Lämpötilakuvaajat

3.7.1 Huonelämpötilat

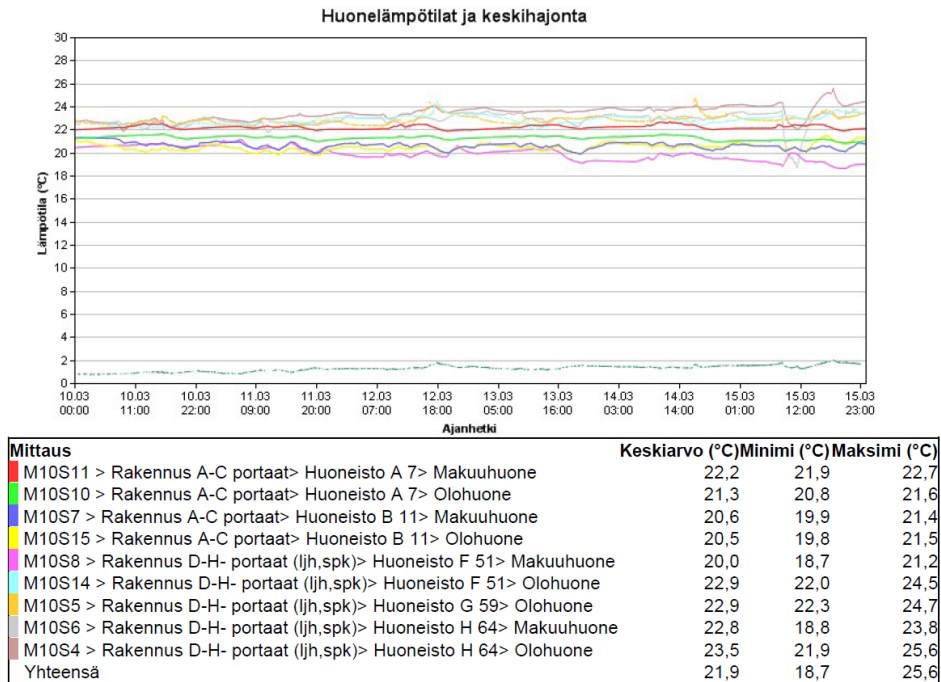
Huonelämpötiloista muodostetaan kaksi erilaista kuvaajaa. Huonelämpötilat-kuvaaja esittää pelkät mitatut huonelämpötilat (kuva 12). Huonelämpötiloja verrataan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 määrittelemiін arvoihin. Huonelämpötilat-kuvaaja kertoo lämmönsäätimen säätökäyrän asettelusta. Mikäli huonelämpötilojen keskiarvo on yli ohjearvon 21 °C, säätökäyrä on yleensä liian korkealla.



Mittaus	Keskiarvo (°C)	Minimi (°C)	Maksimi (°C)
M10S11 > Rakennus A-C portaat> Huoneisto A 7> Makuuhuone	22,2	21,9	22,7
M10S10 > Rakennus A-C portaat> Huoneisto A 7> Olohuone	21,3	20,8	21,6
M10S7 > Rakennus A-C portaat> Huoneisto B 11> Makuuhuone	20,6	19,9	21,4
M10S15 > Rakennus A-C portaat> Huoneisto B 11> Olohuone	20,5	19,8	21,5
Yhteensä	21,2	19,8	22,7

Kuva 12. Huonelämpötilojen kuvaaja.

Huonelämpötilat ja keskihajonta -kuvaaja (kuva 13) kertoo lämmitysverkoston tasapainotuksen tarpeen. Mikäli mittauksissa havaittu huonelämpötilojen keskihajonta on yli 1,5 °C, on syytä harkita lämmitysverkoston perussäätöä.



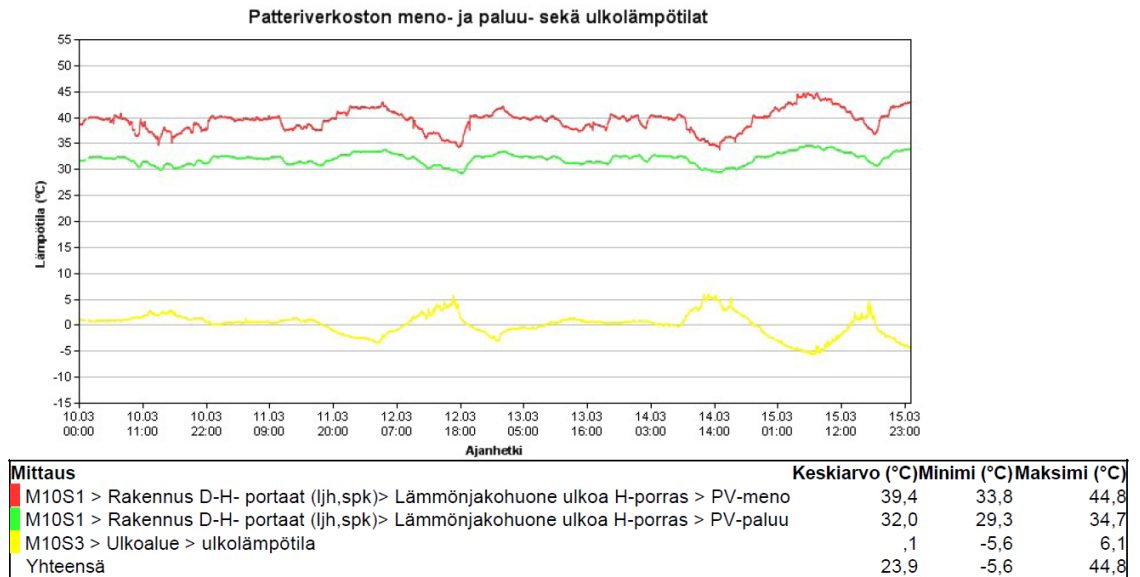
Kuva 13. Huonelämpötilat ja keskihajonta.

3.7.2 Patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat ja ulkolämpötila

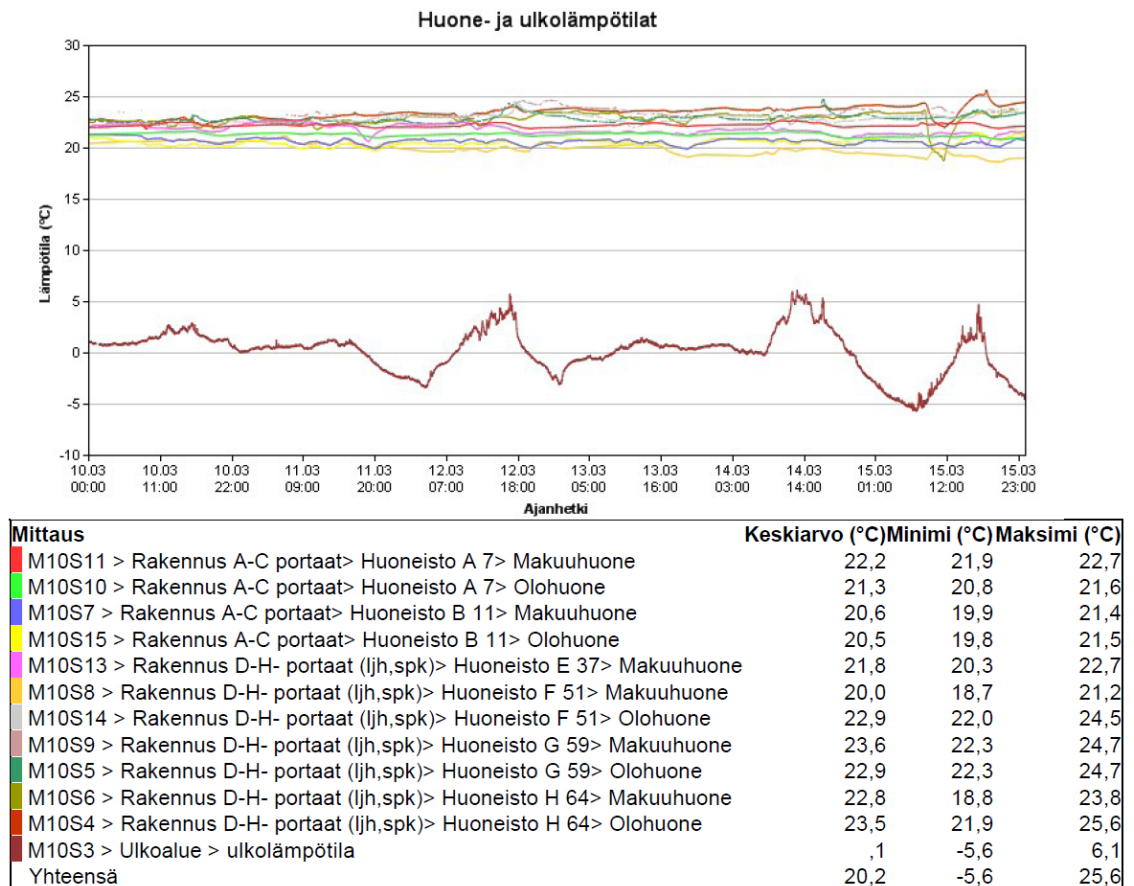
Säätimen toiminnasta kertoo myös patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat sekä ulkolämpötila -kuvaaja (kuva 14). Säädin nostaa patteriverkostossa virtaavan veden lämpötilaa kylmemmällä ilmalla ja vastaavasti laskee lämpimällä. Toimiva säädin pitää huonelämpötilan vakiona huolimatta ulkolämpötilan muutoksista. Tätä havainnollistaa huone- ja ulkolämpötilat -kuvaaja (kuva 15). Jos huonelämpötiloissa on havaittavissa muutoksia ulkolämpötilan muuttuessa, syynä voi olla esimerkiksi säätöautomaatiikan ulkolämpötila-anturin sijainti. Suoralle auringon lämpösäteilylle altistuva anturi antaa virheellistä tietoa säätökeskukselle. Säätöjärjestelmille on asetettu toimintavaatimukset LVI-ohjekortissa K1/2003 [9]. Vaatimukset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Säätöjärjestelmien toimintavaatimukset [9]

Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta		±2 °C
Sallittu palautumisaika muutoksen alkuhetkestä siihen hetkeen, kun edellä mainittu vaatimus täyttyy		2 minuuttia
Suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta	lämmityksen säätöjärjestelmät	±5 °C
	muut säätöjärjestelmät	±10 °C
Sallittu jatkuva huojunta	käyttöveden säätöjärjestelmät	±2 °C
	muut säätöjärjestelmät	±0,5 °C



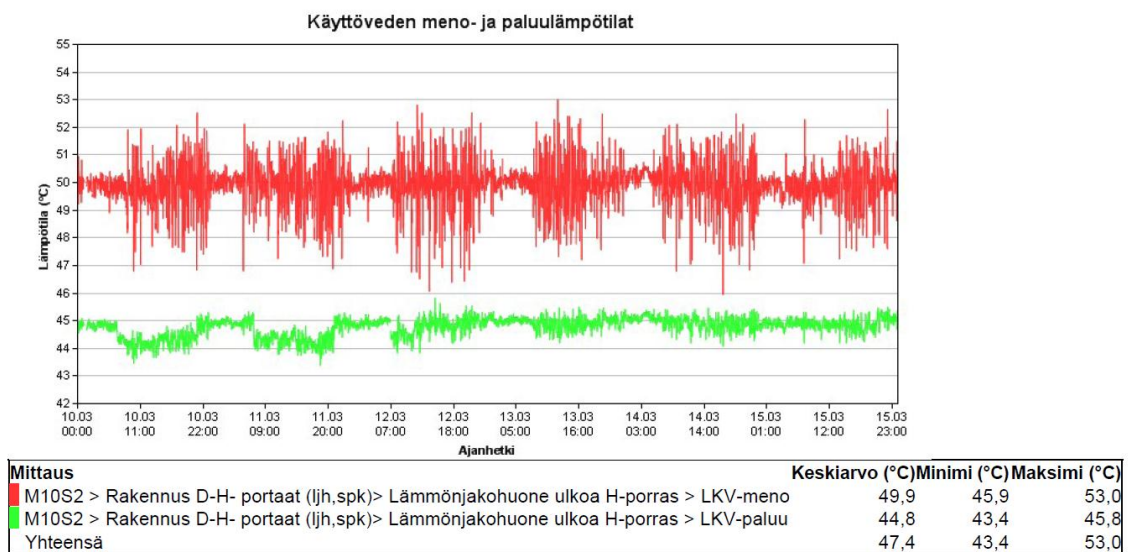
Kuva 14. Patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat sekä ulkolämpötila.



Kuva 15. Huone- ja ulkolämpötilat.

3.7.3 Käyttöveden meno- ja paluulämpötilat

Käyttöveden säätölaitteet pitävät lämpimän käyttöveden tasalämpöisenä kaikissa suunnitelluissa olosuhteissa. Käyttöveden lämmönsäätimelle asetetut vaatimukset on esitetty taulukossa 1. Käyttöveden lämpötiloja mitataan minuutin välein ja kuvaajasta (kuva 16) voidaan havaita säätimen ja lämmönsiirtimen toiminnan mahdolliset puutteet. Tarkasteluun voidaan ottaa esimerkiksi muutaman tunnin jakso, jolloin kuvaajan asteikko skaalautuu automaattisesti pienemmäksi ja arvoja voidaan verrata taulukossa 1 esitettyihin vaatimuksiin.



Kuva 16. Käyttöveden meno- ja paluulämpötilat.

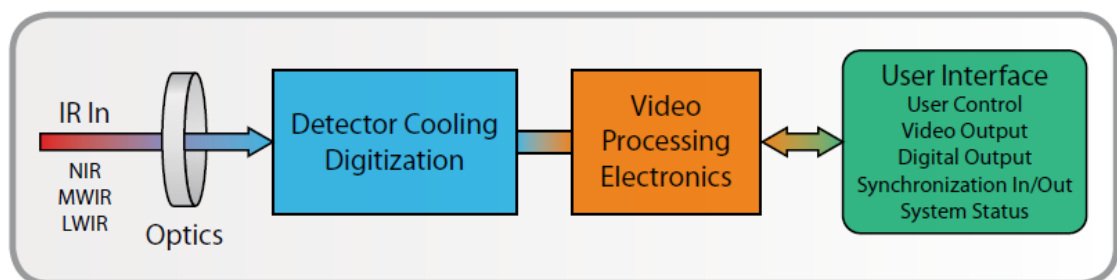
4 Lämpökuvaus

4.1 Lämpökamera

4.1.1 Lämpökameran toimintaperiaate

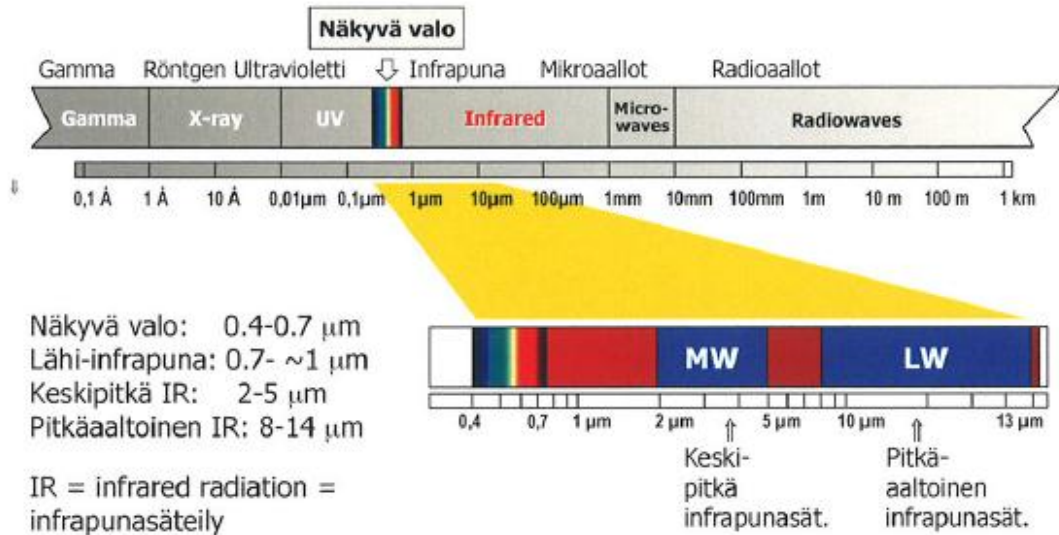
Lämpökamera muuntaa paljaalle silmälle näkymättömän infrapunasäteilyn kuvaksi, joka esittää kohteen tai näkymän lämpötilajakauman. Infrapunasäteilyä lähettävät kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nolapisteen yläpuolella, ja säteilyn voimakkuus kasvaa lämpötilan kasvaessa. Lämpökamera muuntaa kappaleen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi ja muodostaa kuvan kohteen lämpötilajakaumasta. [10]

Lämpökameran pääkomponentit ovat linssi, ilmaisimien ja tarvittaessa sen jäähdytys, elektroniikka sekä ohjelmisto. Linssi kohdistaa säteilyn ilmaisimeen, jossa säteilytieto muunnetaan digitaaliseen muotoon, jota voidaan käsitellä (kuva 17). [10]



Kuva 17. Lämpökameran toimintaperiaate [10].

Sähkömagneettinen säteily luokitellaan yleensä aallonpituuden perusteella. Eri aallonpituusalueiden rajat ovat likimääräisiä. Infrapunasäteilyn aallonpituus on pidempi kuin näkyvän valon mutta lyhyempi kuin mikroaaltojen. Infrapuna-alueen voidaan siis katsoa olevan sähkömagneettisen spektrin väli 0,7–1000 μm . Yleisimmin käytettävät lämpökamerat toimivat joko keskiaaltoalueella (2–5 μm) tai pitkäaaltoalueella (8–14 μm) (kuva 18). Aallonpituusalueeseen voidaan vaikuttaa kameran optiikalla ja ilmaisimen materiaalilla. [11]



Kuva 18. Sähkömagneettinen spektri [11].

Koska infrapunasäteily heijastuu, siroaa ja siirtyy samalla tavoin kuin näkyvä valo, lämpökameran optiikka on suunniteltu toiminnaltaan samaan tyyliin kuin tavallisten kameroiden optiikat. Lämpökameran linssin materiaalina käytetään yleisimmin joko piitä tai germaniumia. Tavallinen lasi ei läpäise lämpösäteilyä riittävän hyvin, jotta sitä voitaisiin käyttää linssimateriaalina. Parhaassa tapauksessa lämpökameran linssi läpäisee jopa lähes 100 prosenttia lämpösäteilystä. [10]

Lämpökameran ilmaisin on matriisi-ilmaisin, joka koostuu useista infrapunasäteilylle herkistä materiaaleista. Matriisi-ilmaisimet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: lämpöilmaisimiin ja kvantti-ilmaisimiin. Yleisimmin käytössä olevien lämpökameroiden ilmaisimena on jäähdyttämätön mikrobolometrimatriisi, jonka ilmaisu perustuu kohteen lämpösäteilyn aiheuttamaan ilmaisimen resistiivisyyden muutokseen. [10]

Kappaleen lähettämän lämpösäteilyn intensiteetti riippuu kappaleen lämpötilasta ja säteilyn aallonpituudesta. Kappaleen lähettämän (emittoiman) säteilyn lisäksi kappale voi absorboida, heijastaa ja päästää läpi ympäristön lähettämää säteilyä. Tästä periaatteesta voidaan johtaa säteilyteholle seuraava kaava:

$$\phi = \phi\alpha + \phi\rho + \phi\tau \quad (1)$$

Φ on säteilyteho

α on absorptiokerroin

ρ on heijastuskerroin

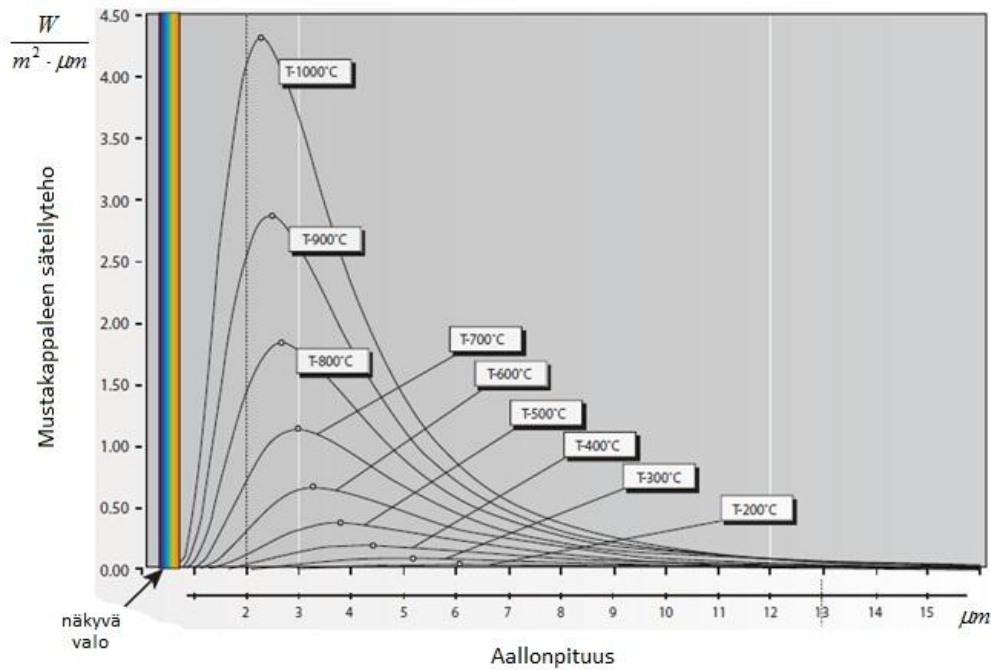
τ on läpäisykerroin

Yksinkertaistettuna sama kaava saadaan muotoon

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (2)$$

Kertoimien arvot vaihtelevat nolasta yhteen riippuen kappaleen kyvystä absorboida, heijastaa ja läpäistä säteilyä. Esimerkiksi, jos $\rho = 0$, $\tau = 0$ ja $\alpha = 1$, kohde ei heijasta eikä läpäise ollenkaan säteilyä. Tällainen kappale on niin sanottu musta kappale, eli täydellinen säteilijä. [7]

Planckin laki kuvaa matemaattisesti mustakappaleen säteilyominaisuuksia lämpötilan ja aallonpituuden suhteessa. Monimutkainen yhtälö esitetään yleensä havainnollisempana käyrästä (kuva 19). Kuvassa on esitetty mustakappaleen säteilyteho aallonpituutta ja pinta-alaa kohden eri lämpötiloissa. Mitä korkeampi on lämpötila, sitä korkeampi on säteilyintensiteetti. Samalla myös säteilytehon huippukohta siirtyy kohti lyhyempiä aallonpituuksia. Mustakappaleen säteilykäyrästä voidaan havaita, että 30 °C:n lämpötilassa oleva kappale säteilee voimakkaimmin aallonpituudella 10 μm . Rakennusten lämpökuvauksessa käytettävät lämpökamerat on tavallisesti kalibroitu tälle aallonpituusalueelle, koska toimitaan huonelämpötilassa. [10]



Kuva 19. Planckin käyrästä [10].

Emissiivisyys

Todellisessa maailmassa ei ole täydellisiä säteilijöitä, heijastajia tai läpäisijöitä. Tästä huolimatta mustakappaleen periaate on todella tärkeä lämpökuvauksessa, sillä se on perustana infrapunasäteilyn vaikutukselle kappaleen lämpötilaan. Kirchhoffin lain mukaan kappale lähettää saman määrän säteilyä kuin se absorboi. Emissiivisyys kuvaa kappaleen kykyä säteillä suhteessa täydelliseen säteilijään (kaava 3). Koska lämpökuvauksen kohteena harvoin on mustakappale, lämpökamera käyttää emissiivisyyttä apuna kohteen lämpötilan määrittämisessä. [10]

$$\varepsilon = \frac{\phi_{obj}}{\phi_{bb}} \quad (3)$$

ε on pinnan emissiivisyys

Φ_{obj} on kappaleen säteilyteho

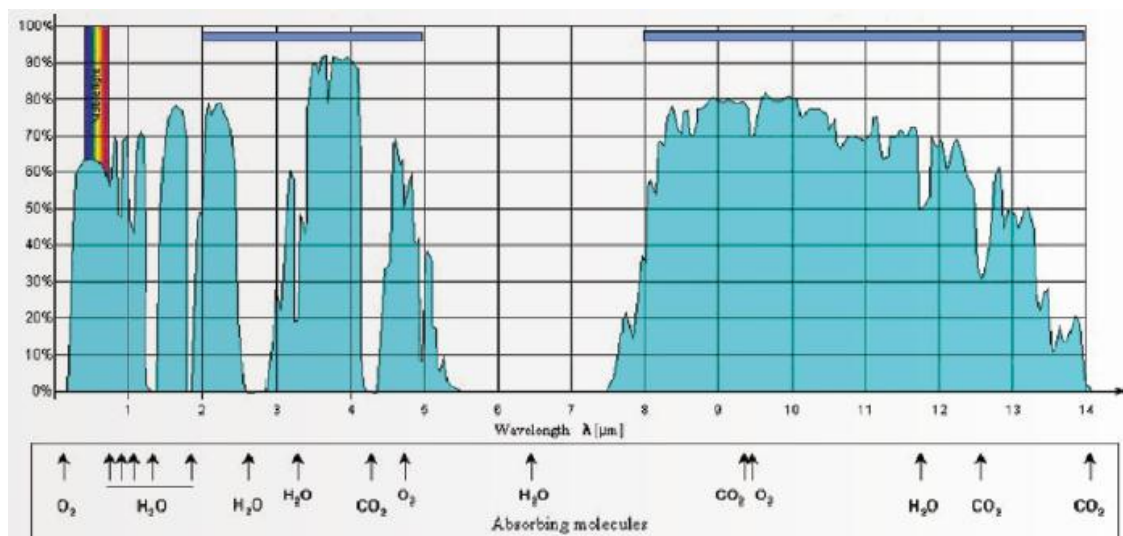
Φ_{bb} on mustakappaleen säteilyteho

Emissiivisyys on siis kerroin, jonka arvo on välillä 0... 1. Kiiltävöpintaisen kappaleen emissiivisyys on pieni, koska suurin osa siihen kohdistuvasta säteilystä heijastuu pois. Rakennusten lämpökuvausta helpottaa, että suurimmalla osalla materiaaleista emissiivisyys on välillä 0,85–0,95, jolloin myös ympäristöstä heijastuvan säteilyn vaikutus mittaustulokseen on pieni. [10]

Emissiivisyys on riippuvainen myös säteilyn aallonpituudesta, kuten kuvassa 19 on esitetty. Lämpökamerat on kuitenkin spesifioitu tietyille suhteellisen lyhyille aallonpituuskaistoille, jolloin aallonpituuden muutoksen vaikutus on niin pieni, että se voidaan yleensä jättää huomiotta. [10]

Ilmakehäikkunat

Mitattavan kohteen ja lämpökameran väliin jäävä ilmatila vaikuttaa mittaustulokseen. Kohteen lähettämä säteily vaimenee johtuen kaasujen absorptiosta ja partikkelien aiheuttamasta hajonnasta. Vaimennus riippuu vahvasti säteilyn aallonpituudesta. Tästä johtuen lämpökamerat on kalibroitu aallonpituusalueille, joilla ilmakehän vaimennus on vähäisempää. Näitä alueita kutsutaan myös kuvainnollisesti ilmakehäikkunoiksi. Kuvassa 20 on esitetty ilmakehän läpäisy eri aallonpituuksilla sekä kaasujen ja vesihöyryn vaikutus. Kuvaan 20 on myös merkitty lämpökameroiden käyttämät aallonpituusalueet: keskiaaltoalue 2–5 μm ja pitkäaaltoalue 8–14 μm . [10]



Kuva 20. Ilmakehän läpäisy ja vaimennusta aiheuttavat tekijät [10].

4.1.2 Kiinteistökuvauksissa käytettävä lämpökamera

Rakennusten tutkimiseen soveltuvan lämpökameran tulee olla mittaava ja tasapainotettu mittalaite. Mittaavalla lämpökameralla voidaan mitata suoraan pintalämpötiloja, toisin kuin ei-mittaavalla lämpökameralla, joka näyttää vain kohteen lämpötilajakauman. Ei-mittaavia lämpökameroita voidaan käyttää esimerkiksi veneissä ja turvakameroissa. Tasapainotetun lämpökameran mittaustuloksiin eivät vaikuta kameran rungon ja ulkoisten olosuhteiden aiheuttamat lämpötilavaihtelut. Analysoinnin ja raportoinnin kannalta on tärkeää, että lämpökamerassa on myös kuvien tallennusmahdollisuus. [12]

Rakennusten tarkastelussa käytettävät mittaavat lämpökamerat voidaan karkeasti jakaa käyttötarkoituksensa ja ominaisuuksiensa perusteella kolmeen luokkaan. Työmaavalvonnassa käytettävät kamerat ovat ominaisuuksiltaan pelkistetympiä, ja niiden tarkkuus voi olla huomattavasti vähäisempi. Konsulttikäytössä olevan kameran matriisikoon tulisi olla vähintään 320 x 240. Konsulttikamera sisältää huomattavasti enemmän ohjelmallisia ominaisuuksia kuin valvonnassa käytettävät kamerat. Tutkimuskäyttöön tarkoitetuissa lämpökameroissa on monipuolisimmat ominaisuudet, kuten WLAN-ohjaus, ja niiden tuottaman lämpökuvan resoluutio on yleensä vähintään 640 x 480. [13]

Talokeskuksella on tällä hetkellä käytössä kaksi lämpökameraa, FLIR i40 ja MobIR M8 (taulukko 2). Molemmat kamerat soveltuvat ominaisuuksiensa puolesta enemmänkin työmaavalvontaan ja asentajan käyttöön kuin konsulttitoimintaan. Pieni matriisikoko rajoittaa kuvausetäisyyttä. Näitä kameroita voidaan käyttää suppeammissa tutkimuksissa, esimerkiksi osana energiakatselmusta tai kuntotutkimusta.

Taulukko 2. Talokeskuksen nykyiset kamerat



		Flir i40	MobIR M8
Lämpökuvan suorituskyky	Lämpökuvan resoluutio paikkaerotuskyky herkkyys zoom	120x120 3,64 mrad < 0,1 °C Ei	160x120 2,75 mrad < 0,1 °C 2x digitaalinen
Valokuva	sisäänrakennettu digikamera	0,6 Mpix	2,0 Mpix
Lämpökuvan tiedoja	Näkökenttä spektrialue kuvataajuus tarkennus ilmaisintyyppi	25°x25° 7,5-13µm 9 Hz Käsin jäähdyttämätön mikrobolometri	20,6°x15,5° 8-14µm 50 Hz Automaattinen ja moottorisoitu jäähdyttämätön mikrobolometri
Kuvan näyttö	näyttötyyppi	3,5" LCD	2,47" LCD
Mittaus	Lämpötila-alue Tarkkuus	-20...+120 °C ±2 °C tai ±2 % lukemasta	-20...+250 °C ±2 °C tai ±2 % lukemasta

Jos halutaan suorittaa Ratu-ohjekortin mukainen koko kiinteistön lämpökuvauus, on rakennus kuvattava myös ulkopuolelta. Tähän tarkoitukseen tarvitaan lämpökamera jonka matriisin koko on lähempänä 320 x 240:tä. Insinööriyössä vertailtiin FLIR E60bx- ja Fluke TIR32 -lämpökameroita (taulukko 3). Myös muilla valmistajilla on vastaavan tasoisia kameroita, mutta niitä ei ollut saatavissa testikäyttöön. Vertailuun otettut kamerat ovat ominaisuuksiltaan ja tehoiltaan hyvin samankaltaiset. Kun mietitään uuden lämpökameran hankintaa, on otettava huomioon ensisijaisesti kameran käyttö-tarkoitus. Käyttötarkoituksen huomioiden, valinnassa ratkaisevia tekijöitä ovat kameran käytettävyyden, ohjelmalliset mittaustryökalut, akun kesto sekä hinta. Kameran käytettävyyteen vaikuttaa valikoiden selkeys ja niissä navigointi sekä erikoistoimintojen kuten äänikommenttien ja kosketusnäytön toiminta.

Molemmat kamerat tarjoavat kattavat mittaustyökalut, joita ovat esimerkiksi pistelämpötila- ja aluemittaustyökalu sekä kastepistehälytys. Fluken myyntivalttina on kameran kestävyys. TIR32 kestää valmistajan mukaan pudotuksen kahden metrin korkeudesta. Fluken lämpökamerat on valmistettu Amerikassa, joten kuvataajuus on hidastettu 9 Hz:iin. Ero Euroopassa valmistettuun Flir e60bx:ään on huomattava. TIR32:n näytön tarkkuus on 640 x 480, joten kuva on todella tarkka kameran ruudulta katsottuna. E60bx:n näytön resoluutio on sama kuin lämpökuvan.

Vaikkakin e60:ssä on enemmän painikkeita, sen valikot ovat selkeitä ja niissä on helppo navigoida. Käytettävyyttä parantaa myös hieman kameran kosketusnäyttö, joka nopeuttaa valikoissa siirtymistä verrattuna ristiöhjaimen käyttöön. TIR32:ssa on vain kolme painiketta, joiden toiminnot vaihtelevat. Valikoiden rakennetta on tästä syystä hieman hankalampi hahmottaa. Lyhyen testauksen jälkeen käyttöjärjestelmä tuntui sekavalta ja hitaalta käyttää. Molemmissa malleissa kuvan ottaminen tapahtuu liipaisinta vetämällä. E60:ssä liipaisimen toiminnoksi voidaan valita kuvan tallennus tai pysäytys. Pysäyttämisen jälkeen kuva voidaan tallentaa painamalla liipaisinta uudelleen. TIR32:ssa ensimmäinen painallus pysäyttää kuvan ja toinen tallentaa sen. Kuvan pysäyttämisen jälkeen on molemmissa malleissa mahdollista liittää kuvaan maksimissaan minuutin mittainen äänikommentti. TIR32:ssa on sisäänrakennettu mikrofoni laitteen oikeassa yläkulmassa. E60:een on mahdollista liittää bluetooth-mikrofoni äänikommentin tekoa ja kuuntelua varten. E60:ssä on lisäksi WLAN-yhteys, jonka kautta kuvia voidaan siirtää esimerkiksi iPadiin. WLAN-yhteyden kautta kameraa voidaan myös ohjata. Molemmissa kameroissa on kastepistetyökalu. Työkalu värjää ne kohdat kuvassa, joissa kastepistelämpötila alittuu. Erona kameroiden välillä on se, että TIR32:een täytyy syöttää kastepistelämpötila, kun taas e60bx:ään syötetään huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ja kamera laskee itse kastepistelämpötilan.

Taulukko 3. Flir e60bx ja Fluke TIR32.



		FLIR E60bx	FLUKE TIR32
Lämpökuvan suorituskyky	Lämpökuvan resoluutio paikkaerotuskyky herkkyys zoom	320x240 1,36 mrad < 0,045 °C 1-4x portaaton digi	320x240 1,25 mrad < 0,04 °C ei zoomia
Valokuva	sisäänrakennettu digikamera	3,1 Mpix, +LED-valo	2,0 Mpix
Lämpökuvan tiedoja	Näkökenttä spektrialue kuvataajuus tarkennus ilmaisintyyppi	25°x19° 7,5-13µm 60 Hz Käsin jäähdyttämätön mikrobolometri	23°x17° 7,5-14µm 9 Hz Käsin jäähdyttämätön mikrobolometri
Kuvan näyttö	näyttötyyppi	3,5" LCD-kosketusnäyttö	3,5" LCD
Mittaus	Lämpötila-alue Tarkkuus	-20...+120 °C ±2 °C tai ±2 % lukemasta	-20...+150 °C ±2 °C tai ±2 % lukemasta

Molemmat kamerat soveltuvat erinomaisesti kattavaan kiinteistöjen lämpökuvaukseen. Flir e60bx on kuitenkin hieman edellä monipuolisempien ominaisuuksiensa ja käytettävyytensä ansiosta. Arvioinnissa on otettava huomioon myös käytettävä raportointiohjelmisto, koska ohjelmistot ovat valmistajakohtaisia. Flirin ohjelmisto Flir Reporter 8.5 on niin ikään hieman edistyneempi kuin Fluken SmartView 3.1. Flirin ohjelmistot esitellään tässä työssä myöhemmin osiossa 4.8.2 Mittausraportti.

4.2 Rakennusten lämpökuvaus

Lämpökuvauksella voidaan havaita rakenteen ilmavuotokohtat, kylmäsilat, lämmöneristyksen puutteet ja epätasaisuus sekä tietyin edellytyksin myös kosteusvauriot. Talotekniikan lämpökuvauksella voidaan tehdä päätelmiä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien toiminnasta ja paikantaa vuotokohtia sekä ylikuormitettuja sähköjohtoja ja

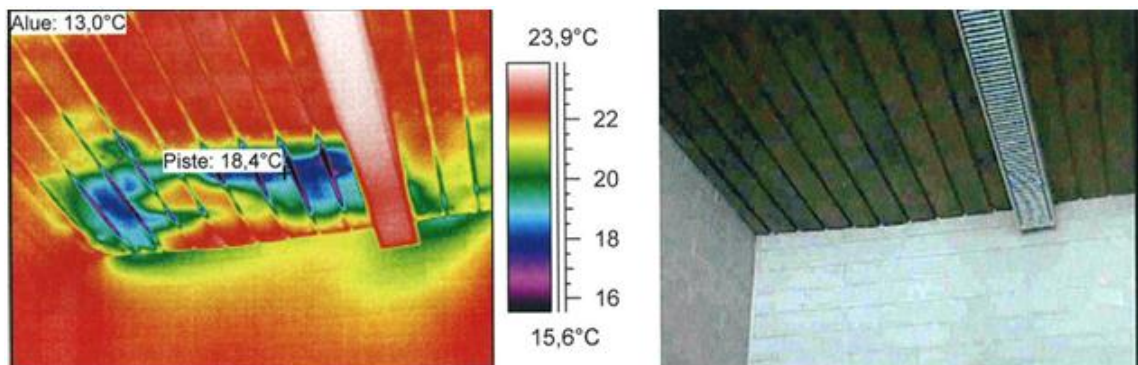
sulakkeita. Lämpökuvauksen etuna on, että sillä voidaan nopeasti rakenteita rikkomatta tutkia laajojen alueiden pintalämpötilajakaumia.

Lämpökuvauksen lähtökohdista, suorituksesta ja raportoinnista on laadittu Sauli Piloniityn ja Timo Kauppisen toimesta Ratu 1213-S -ohjekortti. Ohjeen tarkoituksena on antaa toimintaohjeet tilaajalle ja lämpökuvaajalle, jolloin lämpökuvaus tuotteena on kiistaton laadunvarmistusmenetelmä. Oikeiden johtopäätösten tekemiseksi kuvaajalla tulisi olla riittävä rakennustekniikan ja lämpöopin tuntemus. Lämpökuvien väärä tulkinta saattaa usein johtaa kalliisiin ja turhiin korjaustoimenpiteisiin. Kuvien analysoinnissa tuleekin aina huomioida myös tilojen käyttötarkoitus sekä suunnitteluperusteet. Vika saattaa olla rakenteen ominaisuus. [12]

Seuraavassa havainnollistetaan esimerkein joitakin rakennusten lämpökuvauksella havaittavia vika- ja käyttökohteita.

Kosteusvaurio

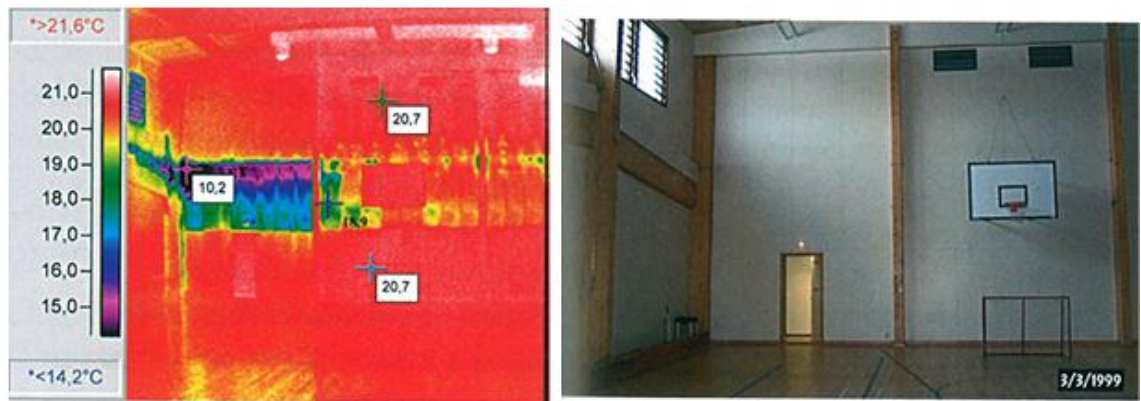
Kosteuden vaikutuksesta rakenteen pinta jäähtyy kosteuden haihtuessa. Lisäksi kosteus parantaa materiaalin lämmönjohtavuutta ja muuttaa pinnan lämpösäteilyn heijastusominaisuutta. Näiden tekijöiden vaikutuksesta kosteusvaurioita (kuva 21) voidaan havaita lämpökameralla, kun rakenteen yli on lämpötilaero eikä kosteus ole vesihöyryä läpäisemättömän pinnan takana. [14]



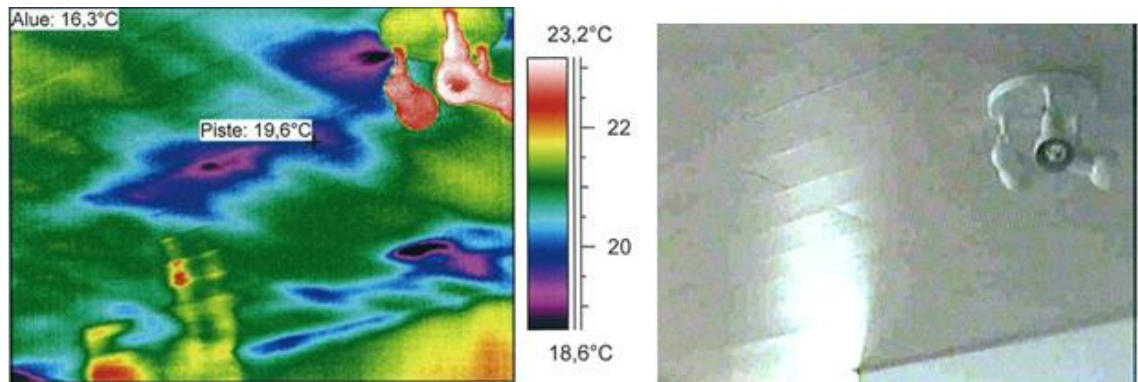
Kuva 21. Kostuneita kattolautoja [12].

Eristevika

Lämmöneristeen puuttuminen (kuva 22), huolimaton asennus (kuva 23) ja eristemateriaalin painuminen näkyvät lämpökuvassa useimmiten selvärajaisena poikkeamana. Vian havaitsemiseen vaikuttaa oleellisesti rakenteen sisälle syntyvä konvektiovirtaus. Tästä syystä pieniä ilmarakoja eristeessä ei välttämättä pystytä havaitsemaan, jos tuulensuojaus ja ilmansulku ovat kunnossa. [14]



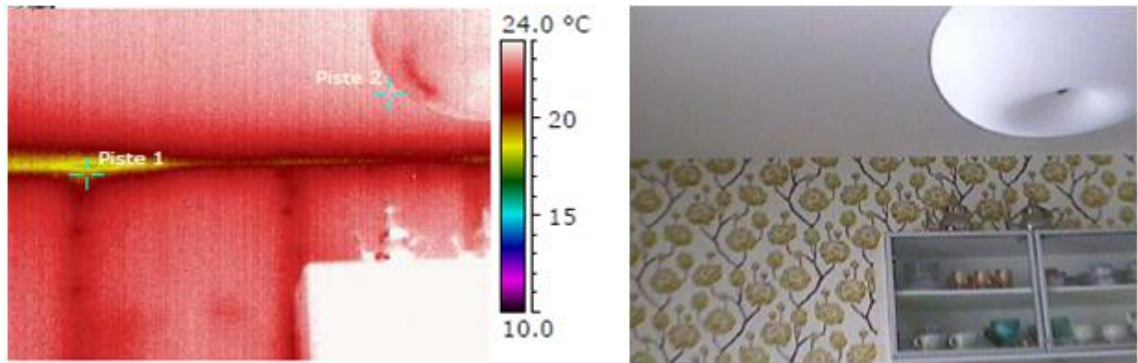
Kuva 22. Eristeet puuttuvat kokonaan yhdestä osasta seinää [14].



Kuva 23. Katon eristeessä epätasaisuutta [12].

Kylmäsilta

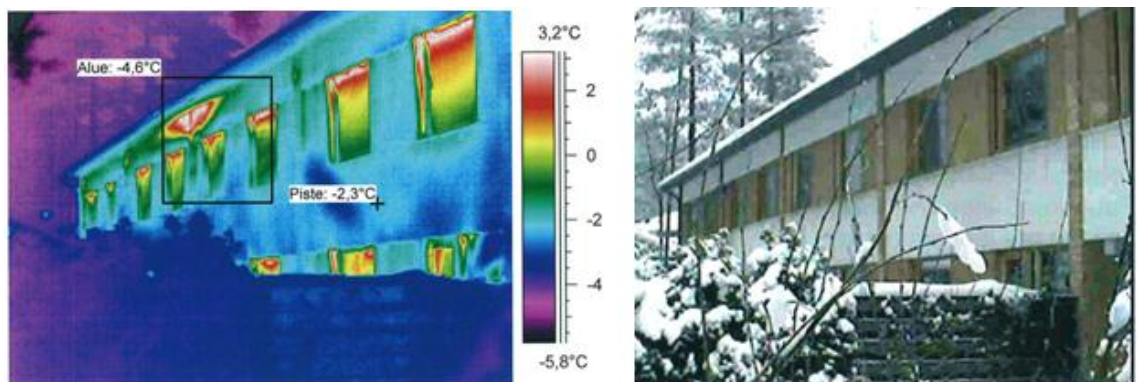
Kylmäsilat ovat kohtia rakenteessa, joiden lämmönjohtavuus on suurempi kuin ympäröivän rakenteen. Tällaisia kohtia ovat muun muassa kantavat palkit sekä koolaukset (kuva 24).



Kuva 24. Pystykoolaukset ja paneelien kiinnitykset toimivat kylmäsiltoina.

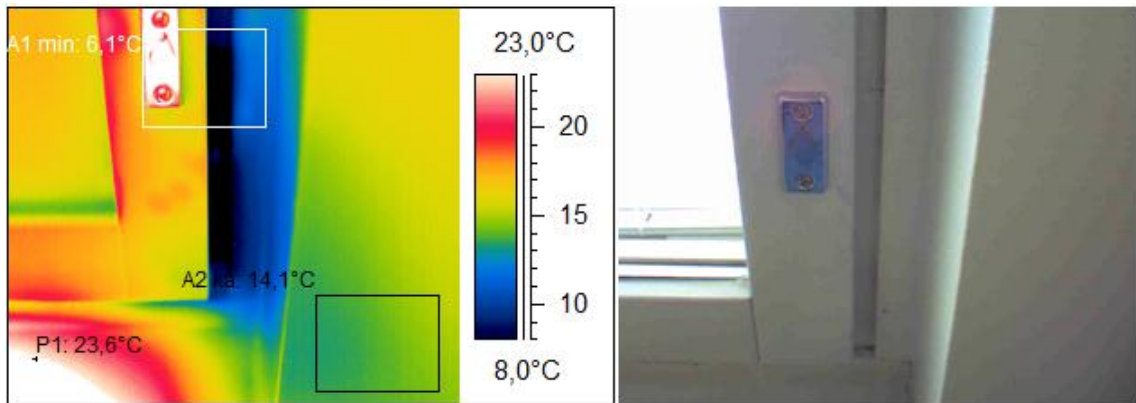
Ilmavuoto

Ilmavuotojen paikantamisessa on oleellista tuntea rakennuksessa vallitsevat painesuhteet. Painesuhteisiin vaikuttavia tekijöitä ovat ensisijaisesti ilmanvaihtojärjestelmä, rakennuksen muoto ja sää. Ilmavuodot näkyvät yleensä lämpökuvassa vain alipainepuolelta. Tästä syystä varsinkin painovoimaisen ilmanvaihdon tapauksessa katonrajassa olevat ilmavuodot (kuva 25) on kuvattava ulkopuolelta, jos tilaa ei alipaineisteta erillisillä laitteilla. [14]

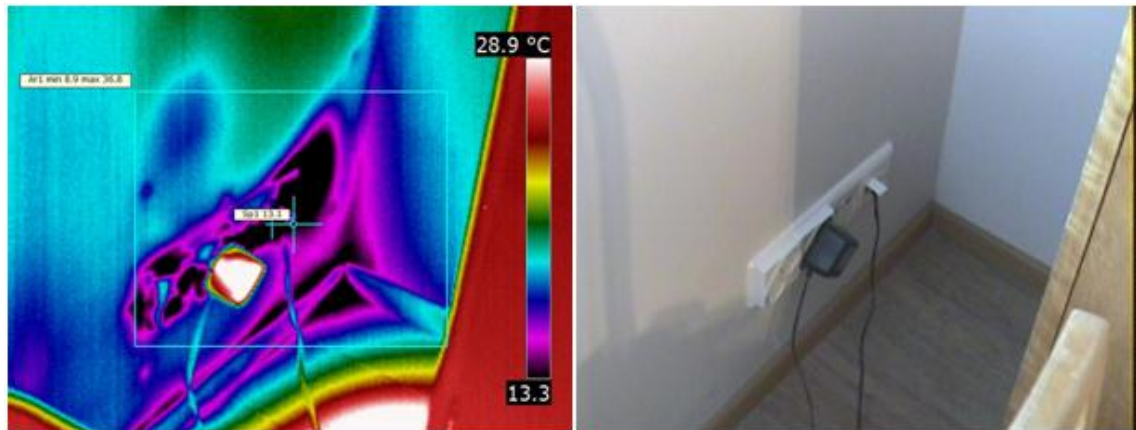


Kuva 25. Ilmavuoto katonrajassa [12].

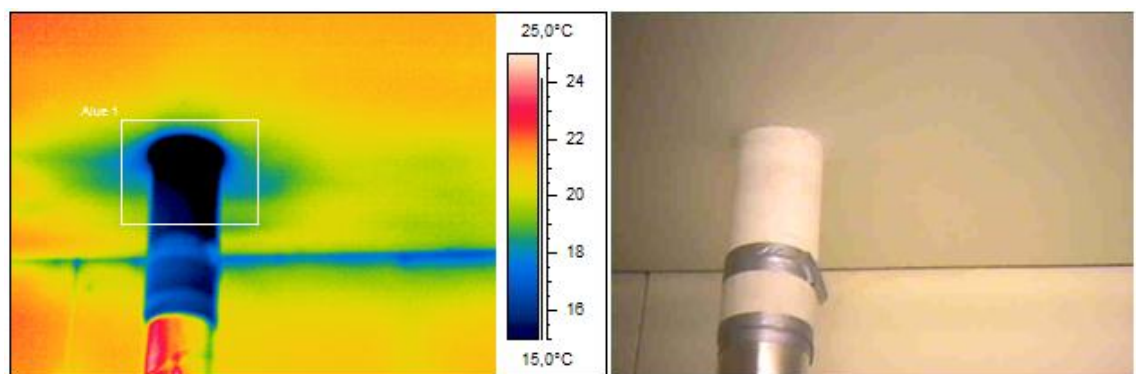
Ilmavuodot näkyvät lämpökuvissa epämääräisinä ja usein sahalaitaisina kuvina. Jos ilmavuoto on lattianrajassa ja lattian alla on ryömintätila, on vian vakavuuden arvioimisessa otettava huomioon myös mahdollisten epäpuhtauksien tunkeutuminen sisäilmaan. Yleisiä ilmavuotopaikkoja ovat ikkunoiden ja ovien tiivisteet, rakenteiden liitoskohdat ja läpiviennit sekä ilmasulun rei'itykset. Kuvissa 26–28 on esitetty tavallisimpia ilmavuotokohtia.



Kuva 26. Ilmavuoto ikkunan tiivisteestä [11].



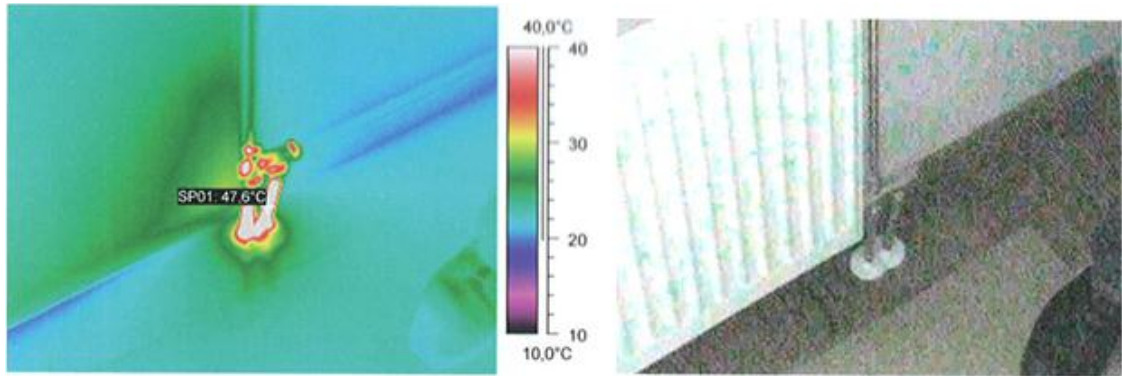
Kuva 27. Ilmavuoto pistorasiassa.



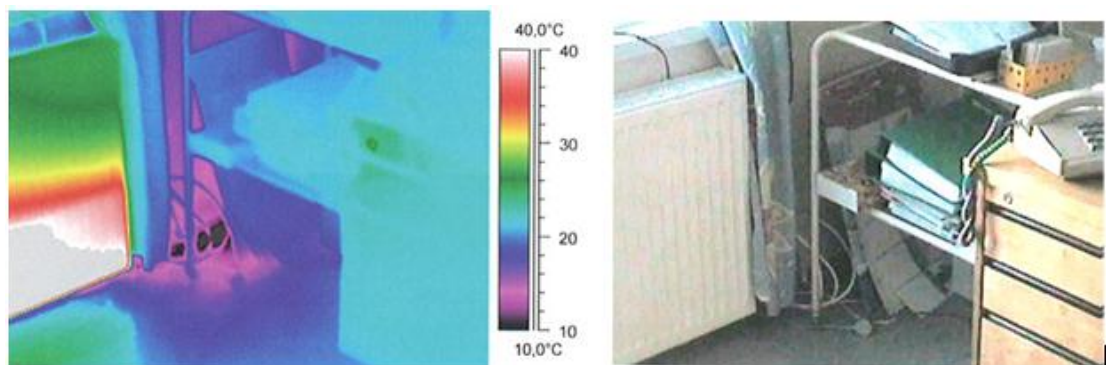
Kuva 28. Lämpönsäiliön tiivistys epäonnistunut [11].

Lämmitysjärjestelmät

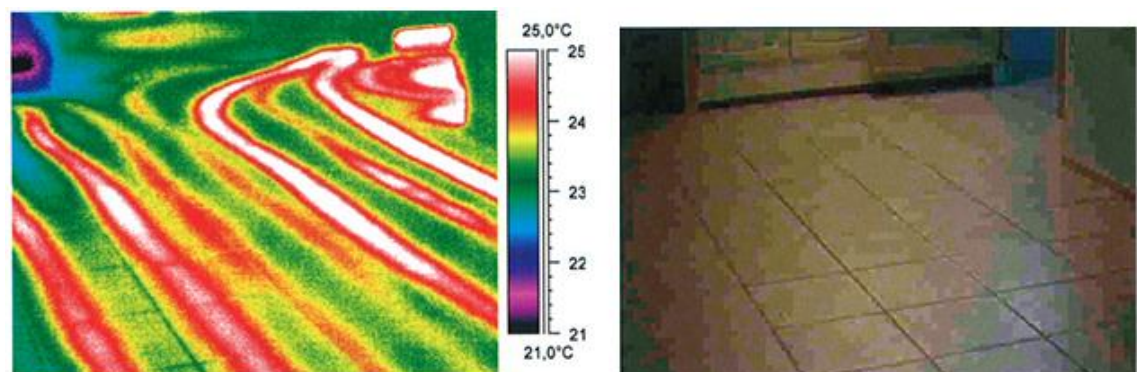
Lämmitysjärjestelmien lämpökuvauksella voidaan selvittää muun muassa vesipattereiden tukkeumat (kuva 29) ja ilmauksen tarve (kuva 30), termostaattien toiminta ja piilossa olevien lämmönluovuttimien (kuva 31) sijainti.



Kuva 29. Tukkeuma vesipatterin syöttöputkessa tai säätökara on jäänyt kiinni [14].



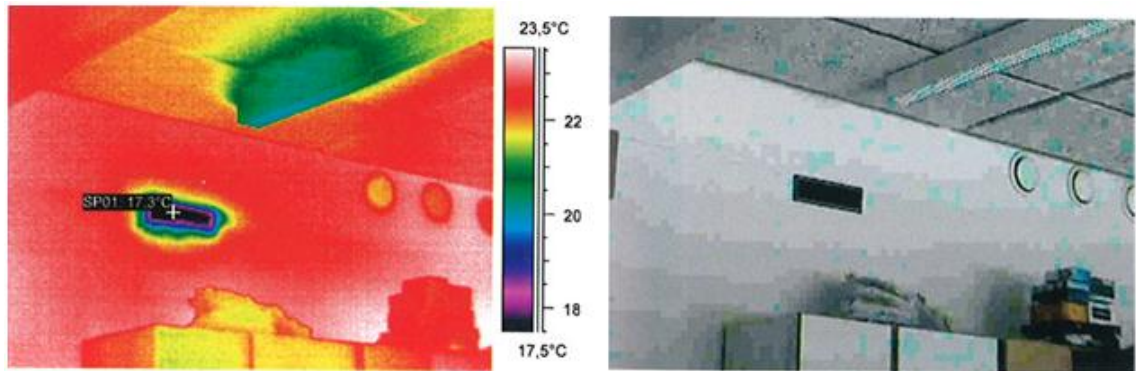
Kuva 30. Vesipatterissa on ilmaa [14].



Kuva 31. Lattialämmityskaapelit [14].

Ilmastointijärjestelmät

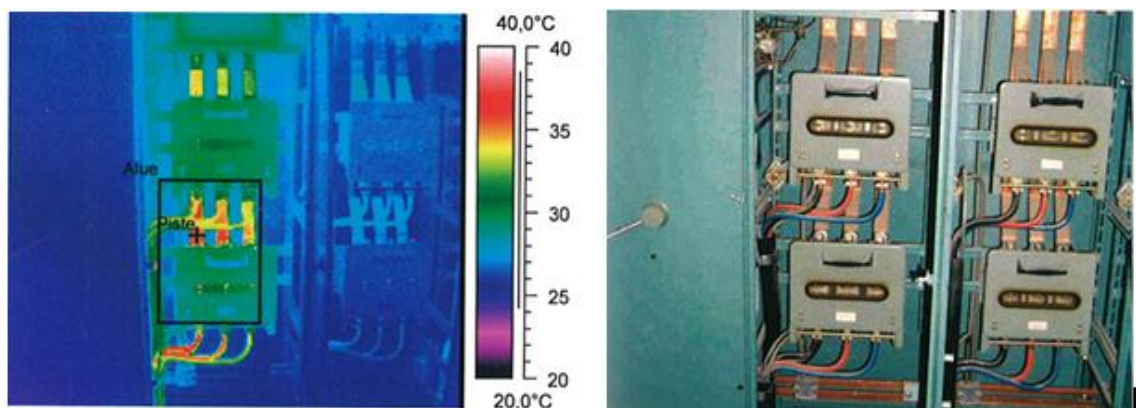
Koneellisesta tulo-poisto -ilmanvaihtojärjestelmästä voidaan lämpökuvauksella tehdä havaintoja muun muassa esilämmityksen ja lämmöntalteenoton toiminnasta. Lämpökameralla on helppo nähdä tuloilman ja poistoilman sijainti sekä lämpötilat (kuva 32).



Kuva 32. Tuloilman lämpötila ja jäähtymä katossa [14].

Sähköjärjestelmät

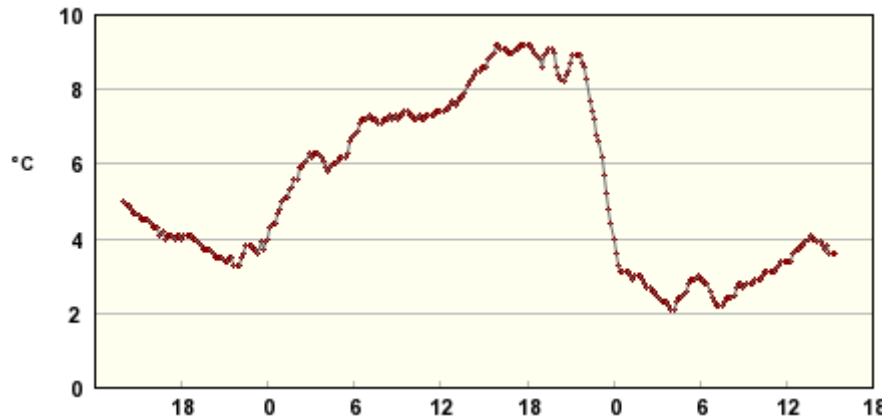
Sulakkeiden ja sähköjohtojen ylikuormitus sekä löysät ja hapettuneet liitokset aiheuttavat pintalämpötilojen nousua, joka on havaittavissa lämpökameralla (kuva 33).



Kuva 33. Huono liitos tai kuormittunut vaihe [14].

4.3 Oheismittaukset

Lämpökuvien tulkinnan kannalta on tärkeä tietää kuvaushetkellä vallitsevat sisä- ja ulkoilman olosuhteet. Kuvattavasta rakenteesta riippuen on myös selvittävää edellisten 1–2 vuorokauden olosuhteet esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen internet-palvelusta [15]. Säähavaintopalvelu näyttää viimeisimmän kahden vuorokauden olosuhteet selkeinä kuvaajina (kuva 34). Suomessa on 186 säähavaintoasemaa.



Kuva 34. Kaisaniemen säähavaintoaseman mittaamat lämpötilatiedot kahden viimeisimmän vuorokauden ajalta. Kuva otettu säähavaintopalvelusta 28.11.2011 klo 15. [15]

Mikäli mitattava kohde kuitenkin sijaitsee niin etäällä lähimmästä havaintoasemasta, että on syytä olettaa, ettei lämpötilatieto pidä paikkaansa, on edellisten vuorokausien olosuhteet selvittävää kohteessa tehtävillä mittauksilla. Ulkoilman olosuhteet kuvaushetkellä on mitattava kohteessa, tähän eivät riitä säähavaintoaseman antamat tiedot.

Sisäilman lämpötila ja kosteus mitataan standardin SFS 5511 ohjeiden mukaisesti oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta [16]. Mittauksissa voidaan käyttää esimerkiksi Testo 605 H1 -kosteusmittaria (kuva 35), joka antaa lämpötila- ja kosteustiedon lisäksi myös kastepisteen.



Kuva 35. Kosteusmittari.

Paine-ero rakenteen yli vaikuttaa oleellisesti rakenteen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Tästä syystä paine-ero tulee aina mitata ja raportoida. Paine-ero mitataan vähintään kahdesta ilmansuunnasta ja jokaisesta kerroksesta. Mittauksessa voidaan käyttää esimerkiksi Testo 512 -mittaria (kuva 36). Paine-ero ilmoitetaan 1 Pa:n tarkkuudella.



Kuva 36. Paine-eromittari.

Tuulen nopeus ja suunta vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin. Kun tuuli puhaltaa rakennuksen seinää vastaan, alipaine rakenteen yli kasvaa. Vastaavasti toinen puoli rakennuksesta saattaa olla jopa ylipaineinen johtuen tuulen vaikutuksesta. Tästä syystä tulisi välttää kuvaamista kovassa tuulessa. Tuulen nopeuden mittaamisessa voidaan käyttää joko siipipyöranemometriä (kuva 37) tai kuumalankamittaria (kuva 38).



Kuva 37. Siipipyöranemometri.



Kuva 38. Kuumalankamittari.

4.4 Kuvauksen olosuhdevaatimukset

Luotettavien mittaustulosten saaminen edellyttää, että kuvaus suoritetaan mahdollisimman vakaisissa olosuhteissa. Standardissa SFS 5132 on määritelty kuvauksen olosuhdevaatimukset seuraavasti:

1. Vähintään 24 tunnin aikana ennen lämpökuvauksen suorittamista ei ulkoilman lämpötila saa poiketa enempää kuin ± 10 °C kuvauksen aloittamisajan lämpötilasta.
2. Vähintään 24 tunnin aikana ennen lämpökuvauksen suorittamista ja sen aikana ei ilman lämpötilaero rakennuksen vaipan yli saa alittaa lukuarvoa $3/k$, jossa k on rakennusosan teoreettinen lämmönläpäisykerroin $W/(m^2 \text{ °C})$. Lämpötilaero ei kuitenkaan saa olla alle 5 °C.
3. Kuvattava osa ei saa olla alttiina auringon säteilylle vähintään 12 tunnin aikana ennen kuvausta eikä sen aikana. Mikäli näin kuitenkin tapahtuu, se on merkittävä raporttiin ja huomioitava kuvaa tulkittaessa.
4. Lämpökuvauksen aikana ulkoilman lämpötila ei saa poiketa enempää kuin ± 5 °C eikä sisälämpötila enempää kuin ± 2 °C kuvauksen aloittamisajan lämpötilasta. [17]

Ratu 1213-S -ohjekortti rakennusten lämpökuvauksesta tiukentaa hieman näitä vaatimuksia. Ohjeessa edellytetään, että kohdan 2 mukainen lämpötilaero on vähintään 15 °C. Lisäksi ohjeessa edellytetään, että kuvattavan rakennuksen sisätiloissa tulee olla lievä alipaine ulkoilmaan verrattuna. Alipaine ei kuitenkaan saisi olla enempää kuin 15 Pa. [12]

Lämpökuvaus voidaan suorittaa, vaikka standardin mukaiset olosuhdevaatimukset eivät täytyisikään. Kuvauksen tarkoitus ei useimmissa tapauksissa ole suorittaa tieteellistä laboratoriotyötä, vaan varmistaa rakenteen laatu tai paikantaa mahdollinen vika. Tärkeää on kuitenkin kirjata huolellisesti kuvauksen olosuhteet ja mittauksiin vaikuttavat epävarmuustekijät ja huomioida ne tuloksia tarkasteltaessa. [14]

4.5 Lämpötilaindeksi

Sosiaali- ja terveysministeriön laatima Asumisterveysohje määrittelee huoneilojen ja huoneilman ohjearvot (taulukko 2). Ohjearvot perustuvat mittausolosuhteisiin, joissa ulkoilman lämpötila on -5 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C . [6]

Taulukko 4. Lämpötilojen lämpötilaindeksien ohjeellisia arvoja [18].

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

- 1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C , ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää arvoa $21\text{--}22\text{ °C}$.
- 2) Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso on 19 °C .
- 3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä kun ulkoilman lämpötila on -5 °C ja sisäilman lämpötila $+21\text{ °C}$. Jos mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksiä.
- 4) Lämpötilaindeksiä 61% vastaava pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45% vastaava kastepistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on -10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C . Ikkunan, seinänurkkien ja putkien läpiviennin alin hyväksyttävä pintalämpötila.
- 5) Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyrästä.
- 6) Jos huoneilman lämpötila on $< 21\text{ °C}$ pintalämpötiloja mitattaessa, seinän ja lattian sekä pistemäisen pintalämpötilan arvioina käytetään mittaustuloksista laskettua lämpötilaindeksiä, jota verrataan taulukon arvoihin.

Jos lämpökuvauksen aikaiset mittausolosuhteet poikkeavat näistä vertailuolosuhteista, rakenteiden lämpöteknistä toimivuutta voidaan arvioida lämpötilaindeksin avulla. Lämpötilaindeksi lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$TI = \frac{(T_{sp} - T_o)}{(T_i - T_o)} * 100 [\%] \quad (4)$$

TI on lämpötilaindeksi

T_{sp} on sisäpinnan lämpötila, °C

T_i on sisäilman lämpötila, °C

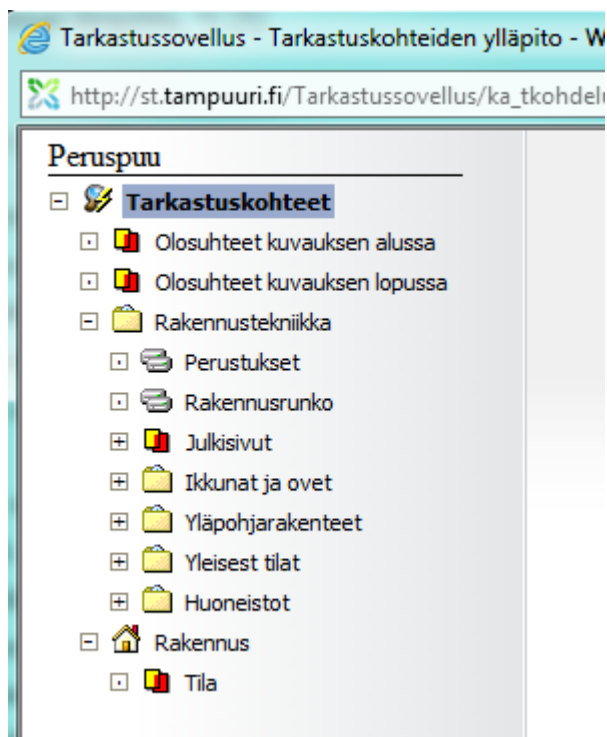
T_o on ulkoilman lämpötila, °C [6]

4.6 Tarkastuslomakkeen ja raportointipohjan muodostus

Lämpökuvauksen raportointi koostuu kahdesta osasta: lämpökuvausraportista ja mittausraportista. Lämpökuvausraportti vastaa laajuudeltaan ja sisällöltään kuntotutkimusraporttia, ja siihen sisältyvät mittausraportit havaituista puutteista. Mittausraportissa esitetään tehdyt mittaukset ja niistä saadut tulokset. Tarkka dokumentointi mahdollistaa sen, että myös kolmas osapuoli pystyy tarvittaessa tulkitsemaan mittaustuloksia. [12]

Lämpökuvausraportin sisällön määrittelyssä otettiin lähtökohdaksi Ratu-ohjekortissa esitetty raportointimalli. Sen pohjalta Wordilla tehty malliraportti on liitteessä 2. Lämpökuvausraportissa esitellään kohde, tutkimuksen tavoite ja suoritus, ulko- ja sisäilman olosuhteet sekä viranomais määräykset ja ohjeet, joihin tutkimus pohjautuu. Lämpökuvausraportissa luetellaan myös muissa mittauksissa käytetty kalusto sekä kerrotaan lyhyesti lämpökuvien tulkintaan liittyvistä seikoista.

Seuraavaksi Tarkastussovellukseen muodostettiin malliraportin mukainen sisällysluettelo, johon valittiin käytettävät moduulit ja liitettiin vakiotekstit. Sisällysluettelon rakentamisen jälkeen muodostettiin tarkastuksen peruspuu (kuva 39). Pääylläpitopuuhun lisättiin ensin tilat ulkoilman olosuhteita varten ja tiloihin lisättiin tarvittavat tarkastuskentät.



Kuva 39. Lämpökuvauksen peruspuu.

Rakennustekniikkaosio koostuu monipuolisista valintalistaista, joiden avulla tarkastelu tehdään joko kentällä tehtyjen havaintojen tai suunnitelma-asiakirjojen mukaan. Tätä samaa osiota käytetään myös Talokeskuksen kuntoarvioissa. Mikäli kohteesta on saatavilla rakennekuvia, ne voidaan liittää raportille, mutta tavallisesti rakennetarkastelu muodostuu tarkastuksen yhteydessä tehtyjen havaintojen pohjalta. Tarkat rakennustekniset tiedot helpottavat lämpökuvien oikeaa tulkintaa. Myös korjaustoimenpiteiden kohdentaminen on tehokkaampaa, kun tunnetaan kaikki rakenteen lämmönjohtavuuteen vaikuttavat tekijät.

4.7 Lämpökuvauksen suoritus

Ennen kuvauksen aloittamista tulee suorittaa kameran kalibroinnin tarkistus. Tarkistus tehdään jokaisena kuvauspäivänä. Tarkistus voidaan tehdä esimerkiksi käyttäen apuna kosketuspintalämpötilamittaria, jonka mittaustulosta verrataan lämpökameran antamaan arvoon.

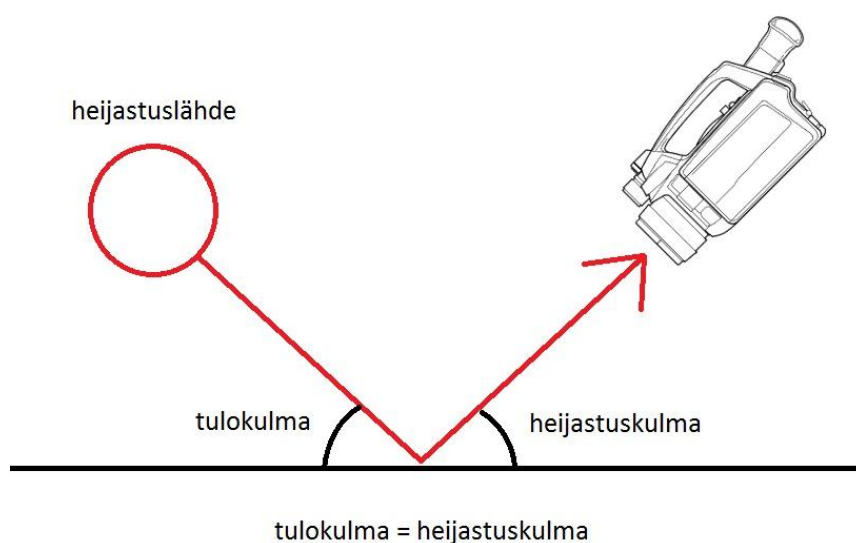
Ulkoilman olosuhteet mitataan ennen kuvausta ja kuvauksen jälkeen. Määritettäviä olosuhdetietoja ovat lämpötila, tuulen nopeus, tuulen suunta ja pilvisuus. Kuvausta

edeltäneiden vuorokausien tiedot selvitetään säähavaintopalvelusta mikäli mahdollista. Mitatut arvot syötetään tarkastuslomakkeen olosuhteet-kenttiin (kuva 40).

Kiinteistön perustiedot	
Kuvauksen aloitusaika	10
Ulkolämpötila °C	-5,0
Sää, selkeys	pivinen
Tuulen nopeus m/s	2
Tuulen suunta	Pohjoinen
Huomiot	
Toimenpiteet	

Kuva 40. Ulkoilman olosuhdetietojen syöttäminen tarkastuslomakkeelle.

Ennen kuvausta on myös tarkastettava kameran asetukset. Pinnan emissiokertoimena käytetään yleensä arvoa 0,95. Kuvausetäisyys sisäkuvauksessa on 2–4 metriä ja ulko-kuvauksessa alle 10 metriä, mikäli se on olosuhteet huomioiden mahdollista. Huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitataan huonetilan keskeltä 1,1 metrin korkeudelta. Heijastuva lämpötila määritetään esimerkiksi käyttämällä kameran aluemittaus-työkalun keskiarvoa. Kuvauskulman valinnalla voidaan vaikuttaa heijastuvaan lämpötilaan (kuva 41). [12]



Kuva 41. Heijastus.

Tarkastuslomaketta muokataan kentällä kuvauksen yhteydessä. Mikäli kohteesta on saatu riittävästi lähtötietoja, lomakkeen rakenne on mahdollista tehdä lähes valmiiksi etukäteen. Tiloille täydennetään mitatut olosuhdetiedot sekä kirjataan mahdolliset huomiot ja toimenpide-ehdotukset (kuva 42).

Lämpökuvauus

- 16822 Jannen testikohde
 - Olosuhteet kuvauksen alussa
 - Olosuhteet kuvauksen lopussa
 - Rakennustekniikka
 - Rakennus rak 1
 - Tila asunto 1**
 - Tila asunto 3
 - Tila asunto 8
 - Rakennus rak 2

Tila asunto 1

Kiinteistön perustiedot

Tilan nimi	asunto 1
Huonelämpötila °C	21,0
Suhteellinen kosteus %	41
Paine-ero Pa	-4

Huomiot

- Huomio
- Asunto 1:
 - Makuuhuoneen ikkunan sisäpuutteen tiivisteessä ilmavuoto.
 - Parvekkeen oven tiivisteessä ilmavuoto.

Omat huomiot

Toimenpiteet

- ilmavuodot**
 - Liitetty: Tila
 - Ilmavuotoja suositellaan tiivistettäväksi pur-vaahdolla ja elastisella saumamassalla.

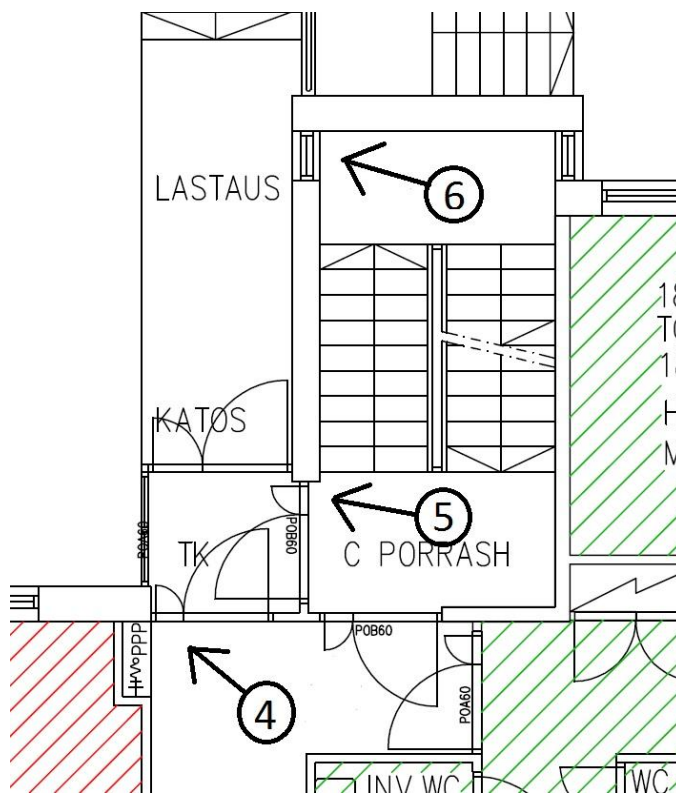
Kuva 42. Lämpökuvatun tilan tietojen kirjaus.

Kuvaus on hyvä suorittaa järjestelmällisesti esimerkiksi kiertämällä rakennus myötäpäivään alkaen ulko-ovesta. Yleisesti kuvattavia kohteita ovat ikkunat, seinän ja lattian rajakohta, pistorasiat ynnä muut ilmasulun rei'itykset, katon ja seinän rajakohdat sekä katon lävistyksset, kuten valaisimet ja hormit. Väliseinät tulee myös kuvata, mikäli niiden alla on ryömintätila, josta saattaa päästä epäpuhtauksia huoneilmaan. Myös taloteknisten järjestelmien kuntoa ja toimintaa voidaan havainnoida lämpökameralla.

Kuvauksessa on järkevää käyttää mahdollisimman korkeakontrastista väripalettia, esimerkiksi sateenkaaripalettia. Korkea kontrasti auttaa erottamaan pienetkin lämpötilavaihtelut ja helpottaa esimerkiksi kosteusvaurioiden ja eristevikojen havaitsemista. Mittaustyökaluna käytetään aluetyökalua. Sisäkuvauksessa käytetään alueen minimiläm-

pötilaa ja ulkokuvauksessa maksimilämpötilaa. Tällöin yhden pikselin kokoista pistetyökalua ei tarvitse kohdistaa vikakohtaan ja välttyään mittausvirheiltä.

Lämpökuvia tallennetaan havaituista poikkeavista pintalämpötiloista, kun ne eivät täytä 70 prosentin lämpötilaindeksiä tai kun epäillään rakenteen lämpötekniistä toimintaa [12]. Kuvien paikat merkitään pohjakuvaan. Kuvauspaikkojen merkinnästä on esitetty esimerkki kuvassa 43. Nuolella ilmaistaan kuvaussuunta ja ympyrällä kuvauspaikka sekä kuvan numero. Tämä helpottaa korjaustoimenpiteitä vaativien vikakohtien paikantamista.



Kuva 43. Kuvauspaikkojen merkintä pohjakuvaan.

Kuvien lopullinen analysointi tehdään yleensä tietokoneella, mutta vikojen selvitys on tehtävä kentällä. Taulukossa 5 on esitetty raportoitavat rakenteelliset viat.

Taulukko 5. Raportoitavat rakenteelliset viat [13].

Raportoitavat viat		Välttävä taso TI	Hyvä taso TI
Kosteusvaurio		-	-
Eristeviat		-	-
Kylmäsiljat		61	65
Ilmavuodot	ulos/ylipaine	-	-
	sisään/alipaine	61	65
	epäpuhtaudet	-	-

Kuten taulukosta nähdään, vain kylmäsiltojen ja sisään tulevien ilmavuotojen tarkastelussa voidaan käyttää lämpötilaindeksiä. Kosteusvaurion tai eristevian aiheuttamat pintalämpötilojen muutokset saattavat olla todella pieniä ja täyttää Asumisterveysohjeen vaatimukset lämpötilan osalta. Nämä viat on silti aina raportoitava.

Lämpötilaindeksin laskennassa voidaan kentällä käyttää esimerkiksi taulukkoa (taulukko 6), josta nähdään tiettyä lämpötilaindeksiä vastaavat pintalämpötilat.

Taulukko 6. Lämpötilaindeksi TI 70 % -taulukko.

TI 70 %		Ulkolämpötila										
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Sisälämpötila	19	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,8
	20	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,9	15,2	15,5
	21	13,2	13,5	13,8	14,1	14,4	14,7	15,0	15,3	15,6	15,9	16,2
	22	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7	16,0	16,3	16,6	16,9
	23	14,6	14,9	15,2	15,5	15,8	16,1	16,4	16,7	17,0	17,3	17,6

Taulukosta katsotaan kuvaushetkellä vallitsevia sisä- ja ulkolämpötiloja vastaava pintalämpötila. Kaikki tämän arvon alittavat pintalämpötilat raportoidaan. Lämpötilaindeksiä 61, 65 ja 70 kuvaavat taulukot ulkolämpötilan skaalalla $-20...0$ °C ja sisälämpötilan skaalalla $+18...+24$ °C tulostettiin ja laminoitiin käytettäväksi lämpökuvauksen aikana.

4.8 Raportointi

4.8.1 Lämpökuvausraportti

Lämpökuvauksen raportointi koostuu kahdesta osasta: lämpökuvausraportista ja mittausraportista. Lämpökuvausraportti on laajempi kokonaisuus, joka sisältää mittausrapor-

tit havaituista puutteista. Mittausraportissa esitetään tehdyt mittaukset ja niistä saadut tulokset. Tarkastussovellus muodostaa tarkastuksesta automaattisesti ylläpitotyökaluilla tehtyjen määritysten mukaisen lämpökuvausraportin (kuva 44). Kuvassa vasemmalla on raportin sisällysluettelo ja oikealla näkyvät ulko- ja sisäilman olosuhteet -otsikolle määritellyt vakioteksti- ja tarkastuskenttämoduulit. Ulkoilman olosuhteet kuvauksen aikana -taulukon tiedot haetaan tarkastuslomakkeelta tietotagien avulla. Sisäilman olosuhteet -taulukko muodostuu automaattisesti tarkastuslomakkeelle rakennettujen tilojen mukaiseksi. Tarkastussovellus hakee kohteen perustiedot Tampuurin kohderekisteristä ja tilaajan tiedot osapuolirekisteristä samaan tapaan kuin lämpötila-analyyssissä. Lämpökuvauksen tavoite ja käytettyjen mittauslaitteiden tiedot on tallennettu tekstipankkiin, josta ne voidaan hakea raportille.

Tarkastusraportti

Sisällysluettelo: **Lämpökuvaus**

Raportin kohde: **16822 Jannen testikohte**

Sisällysluettelo

- ☐ Kansilehti
- ☐ Sisällysluettelo
- ☐ Tutkimuksen yleistiedot
 - ☐ Kohde
 - ☐ Osapuolet
 - ☐ Tavoite
 - ☐ Ajankohta
- ☐ Lähtöarvot
 - ☐ Mittausmenetelmät
 - ☐ **Ulko- ja sisäilman olosuhteet**
 - ☐ Rakennuksen rakenteet
- ☐ Ohjeet ja määräykset
 - ☐ Terveystieteelliset ohjeet ja määräykset
 - ☐ Rakenteelliset ohjeet ja määräykset
- ☐ Raja-arvot
- ☐ Tulokset
- ☐ Liitteet
 - ☐ Mittausraportit
 - ☐ Pohjakuvat

Vakioteksti

B I U Arial 10 vasen

Seuraavia ulko- ja sisäilman olosuhdetietoja on käytetty lämpökuvuissa mitoitettavina tekijöinä.

Ulkoilman olosuhteet kuvauksen aikana

	alussa	lopusa
Lämpötila, °C	-5	-3
Sää, pilvisuus	pilvinen	puolipilvinen
Tuulen nopeus, m/s	2	2
Tuulen suunta	Pohjoinen	Pohjoinen
Kosteus, RH%		

Tarkastuskentätiedot

Sisäilman olosuhteet

Tila	Lämpötila	Kosteus	Paine-ero
asunto 1	21	41	-4
asunto 3	19	20	-10
asunto 8	20	31	-6
Asunto 11	21	2	3
porrashuone	20	31	-6

Kuva 44. Lämpökuvauksen raportointi.

Tarkastuksen yhteydessä kirjatut huomiot ja toimenpide-ehdotukset tulostuvat raportille kohtaan *Tulokset*. Tarkemmat havainnot mittauksista esitetään lämpökuvausraportin liitteenä olevassa mittausraportissa.

Mittausraportit tuotetaan erillisellä raportointiohjelmalla, josta ne siirretään Tarkastussovellukseen lämpökuvausraportin liitteeksi. Liitteisiin tallennetaan niin ikään myös kohteen pohjakuvat, joihin on merkitty lämpökuvien paikat ja kuvaussuunnat.

4.8.2 Mittausraportti

Mittausraportin sisällölliset vaatimukset on määritelty Ratu-ohjekortissa. Mittausraportista pitää selvittää tekijän ja kohteen tiedot, kuvauspaikka ja -aika, kameran malli ja sarjanumero, käytetyt kuvausasetukset sekä lyhyt selostus mittauksesta. Kun kyseessä on rakennuksen ulkovaipan sisäpuolinen mittaus, tulee raportissa esittää myös kuvausajana vallinneet sisä- ja ulkoilman olosuhteet, lasketut lämpöindeksit sekä mahdollinen korjausluokitus. Esimerkki mittausraportista on liitteessä 3. Ratu-ohjekortin mukainen korjausluokitus on esitetty taulukossa 5. [12]

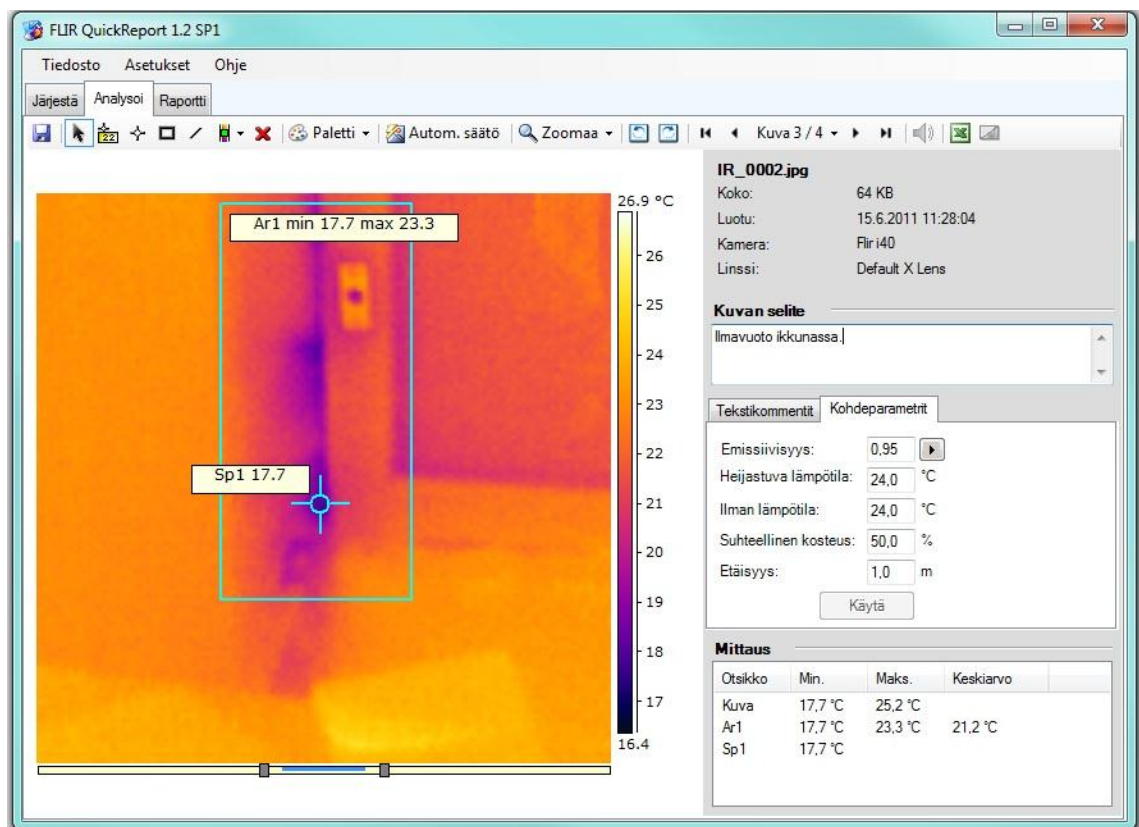
Taulukko 7. Korjausluokitus [12].

Korjausluokka			TI
1	Korjattava	Ei täytä Asumisterveysohjeen välttävää tasoa. Eristevika. Kosteusvaurio.	< 61 %
2	Korjaustarve selvitettävä	Täyttää Asumisterveysohjeen välttävän tason, mutta ei hyvää tasoa.	61–65 %
3	Lisätutkimuksia	Täyttää Asumisterveysohjeen hyvä tason vaatimukset, mutta vaatii lisäselvityksiä. Kosteus- ja lämpötekniikan toiminnan riski.	> 65 %
4	Hyvä	Täyttää Asumisterveysohjeen hyvä tason vaatimukset. Ei korjaustoimenpiteitä.	> 70 %

Mittausraportin tuottamiseen voidaan käyttää kameran mukana toimitettavaa ilmaista ohjelmaa tai kaupallisia, hieman edistyneempiä ohjelmia. Ohjelmien toiminnot ja niiden sisältämät työkalut vaihtelevat valmistajittain. Seuraavassa on esitelty Flirin ohjelmistot: Flir Quick Report 1.2 ja Flir Reporter 8.5.

Flir Quick Report 1.2

Quick Report on lämpökuvien analysointia ja raportointia varten tehty ohjelmisto, joka toimitetaan lähes jokaisen Flir lämpökameran mukana. Ohjelma sisältää monipuoliset mittaustyökalut, ja sillä voidaan tuottaa nopeasti yksinkertaisia raportteja. Nämä raportit eivät kuitenkaan sellaisenaan sovi rakennusten lämpökuvauksen mittaustulosten raportointiin. Raportilta puuttuu sellaisia kiinteistökuvauksen kannalta oleellisia tietokenttiä kuten ulko- ja sisäilman olosuhteet, paine-ero rakenteen yli ja kamerasarjanumero. Ohjelmalla on mahdollista tuottaa vaaditun mallisia raportteja, mutta puuttuvat tiedot on tällöin lisättävä tekstikommentteina jokaiseen kuvaan erikseen. Osassa kameroista on mahdollisuus lisätä kuvaan näitä ennalta määritettyjä tekstikommentteja heti kuvan ottamisen jälkeen. Tekstit kirjoitetaan Quick Reportilla, tallennetaan tekstikommenttitiedostona ja siirretään kamerasarjanumerialueelle.



Kuva 45. Flir Quick Report.

Ensin valitaan tarkasteltavat kuvat. Mikäli kamera on kytkettynä tietokoneeseen usb-kaapelilla, ohjelma osaa itse hakea kuvat *siirrä kuvia* -toiminnolla, joka löytyy ohjelman

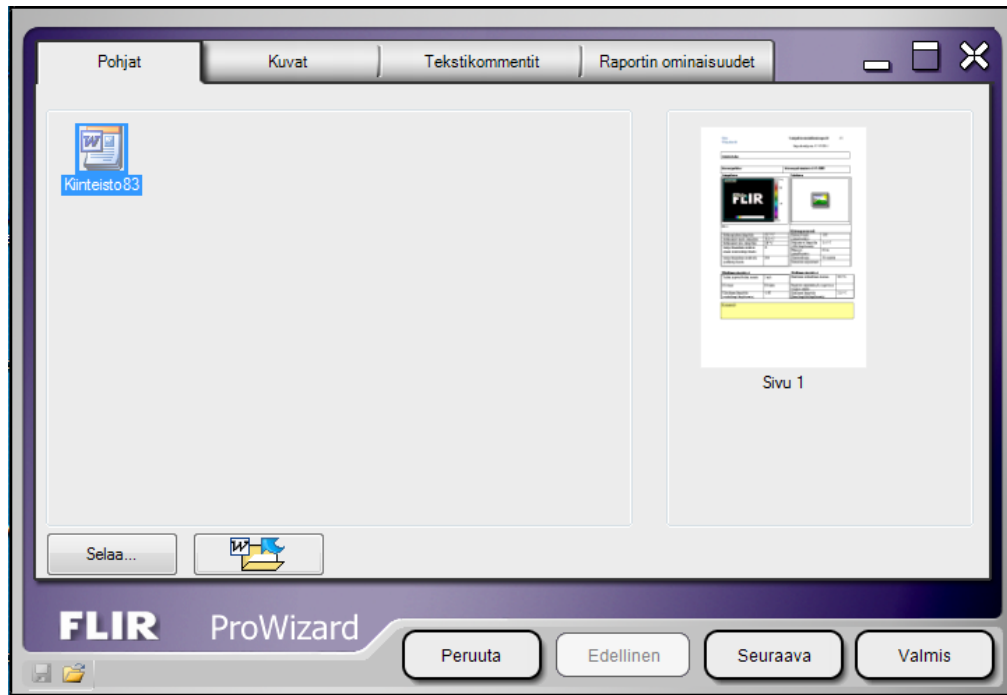
järjestä-välilehdeltä. Kuva voidaan avata tarkastelua ja analysointia varten kaksoisklikkaamalla kuvaa, jolloin ohjelma siirtyy *analysointi*-välilehdelle (kuva 45).

Välilehden yläreunassa on mittaustyökalut ja väripaletin valinta sekä kuvan zoomaus ja kuvien selauspainikkeet. Kuvan sisältämä mittausdata voidaan myös siirtää Exceliin painamalla Excel-painiketta. *Äänikommentti*-painikkeesta voidaan kuunnella kuvaan tallennettu äänikommentti. Kuvan oikealla puolella näkyy kuvan ja kameran tiedot sekä mittausparametrit. Mittaustiedot kuvaan lisätyistä työkaluista on taulukoitu oikeassa alakulmassa. Mittausalueen ala- ja ylärajaa voidaan muuttaa lämpökuvan alapuolelta. Sinisellä värillä on näytetty lämpökuvan tallennushetkellä käytössä ollut mittausalue.

Kun kuvaan on lisätty tarvittavat työkalut, kuva tallennetaan ja siirrytään *raportti*-välilehdelle. Ohjelmalla voidaan luoda kahdentyyppisiä raportteja: lämpökuva ja valokuva tai pelkkä lämpökuva. Valitaan raporttityyppi ja lisätään raportoitavat kuvat. *Luo raportti* -painike muodostaa kuvista pdf-muotoisen raporttiedoston.

Flir Reporter 8.5

Reporter 8.5 sisältää raportointiavustajan (kuva 46) ja Microsoft Word -tekstinkäsittelyohjelmaan asennettavan lisäosan. Tämän ohjelman ominaisuuksiin kuuluu muun muassa automaattinen indeksilaskenta. Kiinteistökuvauksissa tämä ominaisuus on erityäin hyödyllinen ja voi säästää raportointivaiheessa huomattavasti aikaa. Ohjelma lisää jokaiseen kuvaan pistemittaus- ja aluemittaustyökalut ja laskee näistä lämpötilaindeksit. Ohjelmalla voidaan luoda omia raporttipohjia tarpeen mukaan.



Kuva 46. Flir Reporter 8.5, raportointiavustaja ja raporttipohja.

Raportti ja kuvien analysointi voidaan tehdä alusta loppuun suoraan Wordissa, mutta jos halutaan käyttää valmiita pohjia ja on raportoitava useita kuvia, on helpompaa käyttää raportointiavustajaa. Mittausraportin luominen raportointiavustajalla lähtee liikkeelle raporttipohjan valitsemisesta. Seuraavaksi valitaan raportoitavat kuvat. *Raportin ominaisuudet* -välilehdellä syötetään kuvaushetkellä vallinneet sääolosuhteet, eli tuulisuus ja pilvisuus. Näiden tietojen syöttämisen jälkeen painetaan *valmis*-painiketta, jolloin ohjelma siirtyy Wordiin, työstää kuvista mittausraportit ja lisää mittaustyökalut. Ohjelma vaihtaa myös kuvissa käytettävän mittausalueen välille 10...25 °C ja väripaletiksi sateenkaaripaletin. Kun kaikissa kuvissa on yhtenäinen mittausalue ja väripaletti, kuvien värien vertaaminen on mahdollista. Wordissa kuvia voi muokata ja niihin voi lisätä tarpeen mukaan mittaustyökaluja.

5 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli tuottaa lämpökuvauksesta ja lämpötila-analyysistä tarkastusmallit Talokeskuksen käyttöön. Lämpötila-analyysi on käytännössä täysin uusi tuote, vaikka vastaavia mittauksia on tehty osana energiakatselmuksia. Lämpökameraa on käytetty muun muassa kuntotutkimusten tukena, mutta varsinaista lämpökuvauspalvelua Talokeskus ei ole tarjonnut aiemmin. Osana insinööriyötä tarkastellaan myös markkinoilla olevia lämpökameroita.

Kiinteistön lämpötila-analyysillä pyritään kartoittamaan lämmitysjärjestelmän perussäädön tarve sekä havaitsemaan säätöautomaatiikan toiminnan mahdolliset puutteet. Seuraamalla järjestelmien toimintaa voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä energiakustannuksissa sekä parantaa asumisviihtyvyyttä. Huoneistojen lämpötiloja sekä patteriverkoston ja käyttöveden meno- ja paluulämpötiloja tarkkaillaan yhtäjaksoisesti noin viikon ajan. Mittaustuloksista muodostetaan kuvaajia ja niiden perusteella tehdään päätelmiä ja toimenpide-ehdotuksia.

Lämpökuvauksella voidaan havaita rakenteen ilmavuotokohtat, kylmäsilat, lämmöneristyksen puutteet ja epätasaisuus sekä tietyn edellytyksin myös kosteusvauriot. Talotekniikan lämpökuvauksella voidaan tehdä päätelmiä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien toiminnasta ja paikantaa vuotokohtia sekä ylikuormitettuja sähköjohtoja ja sulakkeita. Lämpökuvauksen etuna on, että sillä voidaan nopeasti rakenteita rikkomatta tutkia laajojen alueiden pintalämpötilajakaumia.

Tarkastussovellus on Talokeskuksen käyttöön ja omistukseen kehitetty tietokantapohjainen Tampuurin alla toimiva erilaisten tarkastusten tekemiseen soveltuva ohjelmisto. Tarkastuslomakkeiden ja raporttien ohjelmoimisen sijaan tarkastussovellukseen on tehty tarvittavat työkalut tarkastusten ja raporttien tuottamiseen ja ylläpitoon. Tarkastuslomakkeet ja raportointipohjat muodostettiin Tarkastussovellukseen Wordilla tehtyjen malliraporttien pohjalta. Tarkastussovellukseen muodostettiin malliraportin mukainen sisällysluettelo ja otsikoille määriteltiin käytettävät moduulit. Raporteille aina tulostuvat tiedot liitettiin oikeiden otsikoiden alle vakioteksteinä. Raportille tuodaan lisäksi tietoja kohde- ja osapuolirekistereistä tietotagien ja erilaisten moduulien avulla. Sisällysluettelon rakentamisen jälkeen muodostettiin tarkastuksen peruspuu, eli tarkastuslomakkeen pohja, valitsemalla pääylläpituusta tarkastuslomakkeelle automaattisesti

siirtyvät tilat ja varusteet. Pääylläpitopuuta täydennettiin insinööriyössä vastaamaan uusien tarkastusten tarpeita.

Lämpökuvaussovellusta päästiin testaamaan käytännössä helmikuussa 2012. Kenttätestaus antoi arvokasta tietoa sovelluksen toiminnasta ja osoitti myös muutamia kehityskohteita. Sovelluksen käyttö kuvaustilanteessa ohjasi toimintaa, ja varsinkin aloittelevalle kuvaajalle tästä oli paljon hyötyä. Kuvauksesta tuotettu raportti toimi myös Rakennusten lämpökuvaaja -koulutuksen näyttötyönä.

Tekstipankkia sekä toimenpide- ja huomiorekisterejä tullaan jatkossa täydentämään käyttökokemusten perusteella. Markkinoilla on kysyntää myös pelkästään rakennuksen ulkopuolelta tehtävälle lämpökuvaukselle, joten seuraava vaihe olisi tuottaa myös tähän tarkoitukseen yksilöity tarkastus.

Lähteet

- 1 Säteri, Jorma, Backman, Helka. 2003. Sisäilmastoseminaari. Sisäilmastoyhdistyksen raportti 19. Vantaa: Sisäilmatieto Oy.
- 2 Maankäytön ja rakentamisen lainsäädäntöhankkeet. 2011. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=187948&lan=fi>> Luettu 13.12.2011.
- 3 Suomen virallinen tilasto (SVT): Energiankulutus. 2010. Verkkodokumentti. Helsinki: Tilastokeskus. <http://www.stat.fi/til/ekul/2010/ekul_2010_2011-12-13_tie_001_fi.html>. Luettu 13.12.2011.
- 4 Talokeskus Oy. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.talokeskus.fi/>>. Luettu 23.2.2012.
- 5 Katajamäki, Janne. 2011. Projektipäällikkö, Suomen Talokeskus Oy, Helsinki. Haastattelu 20.10.2011.
- 6 Asumisterveysohje. 2003. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.
- 7 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-Liitto ry.
- 8 Perussäätöopas: "Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston". 2002. Helsinki: Motiva Oy ja Oras Oy.
- 9 LVI-kortisto; LVI 10-10372. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. K1/2003. Muutokset. 2009.
- 10 Flir Systems Inc. The ultimate infrared handbook for R&D professionals.
- 11 Infrared Training Center Lämpökuvauskurssi ITC Level 1. 2011. Vantaa. Kursimateriaali.
- 12 Rakennusteollisuus RT ja Rakennustietosäätiö RTS. 2005. Rakennusten lämpökuvaus Ratu 1213-S. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 13 Paloniitty, Sauli. 2011. RI. Hämeen Ammattikorkeakoulu, Hämeenlinna. Haastattelu 8.11.2011.
- 14 Paloniitty, Sauli, Kauppinen, Timo. 2011. Rakennuksen lämpökuvaus. Porvoo: Suomen Rakennusmedia Oy.
- 15 Säähavaintopalvelu. 2011. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/suomen-havainnot?doAsUserLanguageId=fi_FI>. Luettu 28.11.2011.
- 16 SFS 5511. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. 1989. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

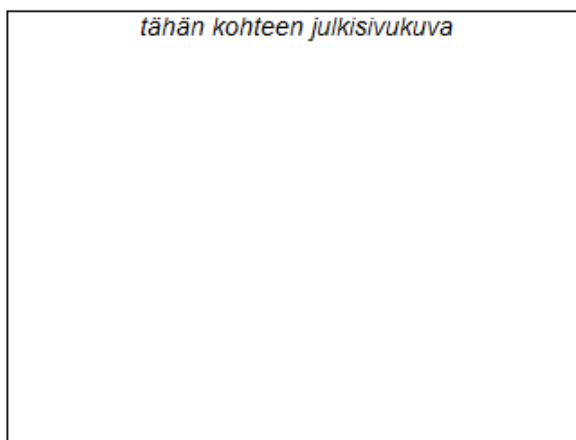
- 17 SFS 5132. Lämmöneristäminen, rakennuksen termografia. 1985. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 Asumisterveysopas 2009. Sosiaali- ja terveysministeriö. 3. korjattu painos. Pori: Suomen Ympäristö- ja terveysalan kustannus Oy.

Liite 1. Lämpötila-analyysin malliraportti

TALOKESKUS

Kiinteistön lämpötila-analyysi

tähän kohteen julkisivukuva



As Oy Mallitalo 1
Mallikatu 1
00001 Mallila

Tarkastuspvm: 1.1.2011
Raporttipvm: 1.1.2011
Tilaaaja: Oy Mallitilaaaja Ab
Mallikuja 1
00001 Mallila

Suomen Talokeskus Oy

(09) 7251 5500

www.talokeskus.fi

etunimi.sukunimi@talokeskus.fi

Y-tunnus 0114436-4

Helsinki

Pihlajistonkuja 4
00710 Helsinki

Jyväskylä

Yliopistonkatu 34 D 62
40100 Jyväskylä

Lahti

Vuorikatu 35, 2. krs
15100 Lahti

Tampere

Erkkilänkatu 11
PL 606,
33101 Tampere

TALOKESKUS

Sisällysluettelo

1. Tiivistelmä	3
1.1 Tarkastuskohde ja osapuolet	3
1.2 Yleistä	3
1.3 Huollon työesitykset	3
1.4 Budjetointiesitykset	3
2. Huonelämpötilat	4
2.1 Lämpötilojen raja-arvot	4
2.2 Mittaustulokset ja havainnot	4
3. Patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat sekä ulkolämpötila	6
3.1 Toiminnan kuvaus	6
3.2 Mittaustulokset ja havainnot	6
4. Käyttöveden meno- ja paluulämpötilat	8
4.1 Lämpötilojen raja-arvot	8
4.2 Mittaustulokset ja havainnot	8

TALOKESKUS

1. Tiivistelmä

1.1 Tarkastuskohde ja osapuolet

Kohteen tiedot

Nimi _____

Osoite _____

Kiinteistötyyppi _____

Rakennusvuosi _____

Rakennustilavuus _____

Asuntojen lkm _____

Asukkaiden lkm _____

Lämmitysmuoto _____

Ilmanvaihtojärjestelmä _____

Tarkastuksen tilaajan tiedot

Tilaaja _____

Osoite _____

Tarkastaja

Kiinteistön lämpötila-analyysi _____

1.2 Yleistä

Tähän yleisiä havaintoja mittauksista.

1.3 Huollon työesitykset

Tähän käyttöön ja huoltoon liittyvät esitykset, esim säätökäyrän muutokset.

1.4 Budjetointiesitykset

Tähän budjetointiesitykset esim. perussäätö.

TALOKESKUS

2. Huonelämpötilat

2.1 Lämpötilojen raja-arvot

Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 23 °C.

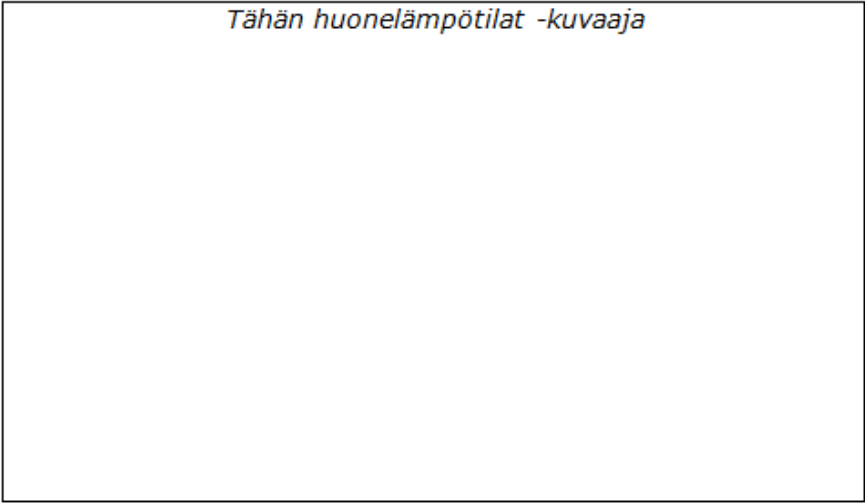
Hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvosta huonetilan keskellä 1,1 m:n korkeudella on ± 1 °C.

Rakennuksen käyttöaikana ei oleskeluvyöhykkeen lämpötila yleensä saa olla korkeampi kuin 25 °C.

[SRMK D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, 2010]

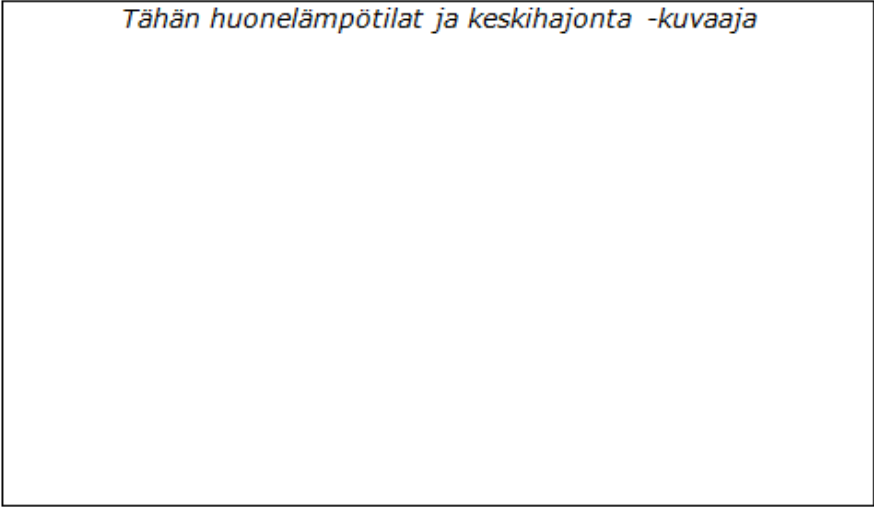
2.2 Mittaustulokset ja havainnot

Tähän huonelämpötilat -kuvaaja



TALOKESKUS

Tähän huonelämpötilat ja keskihajonta -kuvaaja



Tähän havaintoja mittauksista.

TALOKESKUS

3. Patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat sekä ulkolämpötila

3.1 Toiminnan kuvaus

Lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa säädetään ulkoilman lämpötilan mukaan siten, että kylmällä ilmalla menoveden lämpötila on korkeampi kuin lämpimällä.

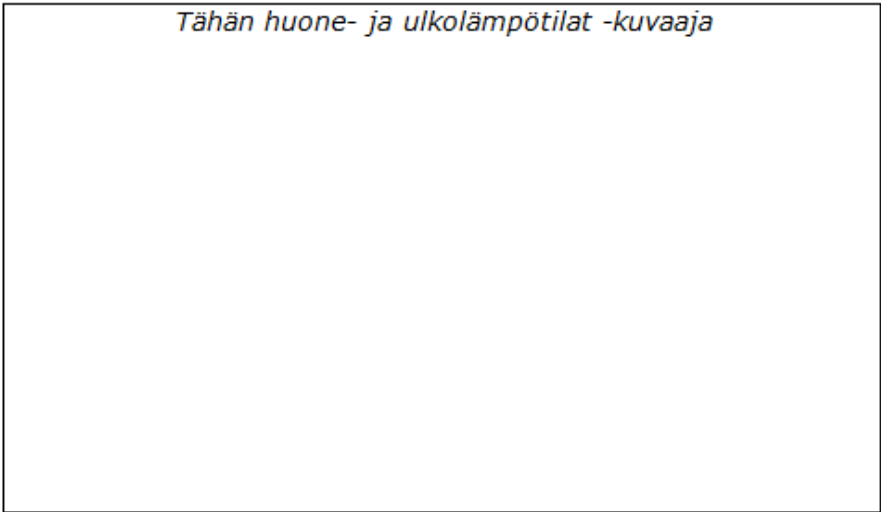
Säätölaitteet säätelevät lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa ja pitävät lämpimän käyttöveden lämpötilan kulutuksesta riippumatta mahdollisimman tasaisena. Säätölaitteiden avulla rakennuksen energian- ja vedenkulutus voidaan pitää mahdollisimman pienenä.

3.2 Mittaustulokset ja havainnot

Tähän patteriverkoston meno- ja paluulämpötilat ja ulkolämpötila -kuvaaja

TALOKESKUS

Tähän huone- ja ulkolämpötilat -kuvaaja



Tähän havaintoja mittauksista.

TALOKESKUS

4. Käyttöveden meno- ja paluulämpötilat

4.1 Lämpötilojen raja-arvot

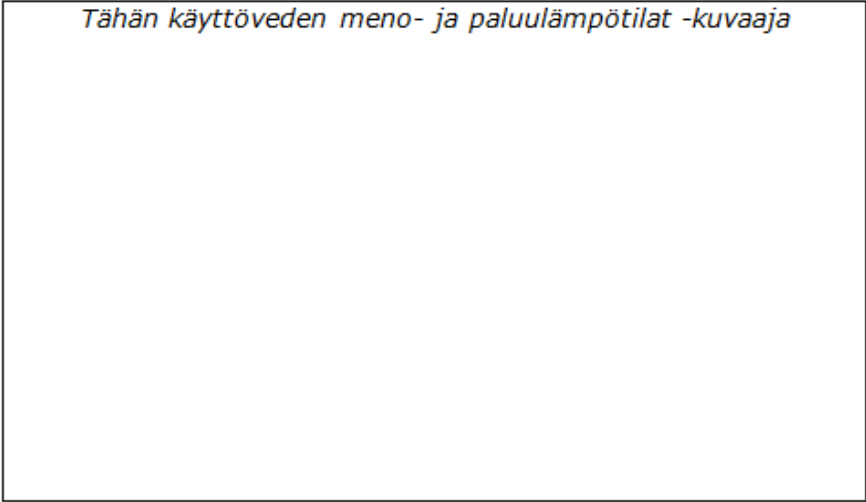
Lämminvesilaitteisto on suunniteltava ja asennettava siten, että veden lämpötila siinä on vähintään 55 °C.

Henkilökohtaiseen puhtaanapitoon tarkoitetuista lämminvesikalusteista saatavan veden lämpötila ei saa olla korkeampi kuin 65 °C.

[SRMK D1: Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, 2007]

4.2 Mittaustulokset ja havainnot

Tähän käyttöveden meno- ja paluulämpötilat -kuvaaja



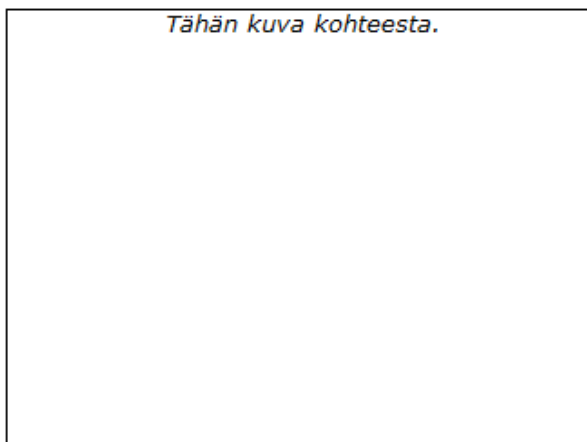
Tähän havainnot mittaustuloksista.

Liite 2. Lämpökuvauksen malliraportti

TALOKESKUS

Lämpökuvausraportti

Tähän kuva kohteesta.



Kohteen nimi
Osoite

Tarkastuspvm:
Raporttipvm:
Tilaaaja:

Suomen Talokeskus Oy

Y-tunnus 0114436-4

(09) 7251 5500

Helsinki
Pihlajistonkuja 4
00710 Helsinki

www.talokeskus.fi

Jyväskylä
Yliopistonkatu 34 D 62
40100 Jyväskylä

etunimi.sukunimi@talokeskus.fi

Lahti
Vuorikatu 35, 2. krs
15100 Lahti

Tampere
Erkkilänkatu 11
PL 606,
33101 Tampere

TALOKESKUS

Sisällysluettelo

1. Tutkimuksen yleistiedot	3
1.1. Kohde	3
1.2. Osapuolet	3
1.3. Tavoite	3
1.4. Ajankohta	3
2. Lähtöarvot	4
2.1. Mittausmenetelmät	4
2.2. Ulko- ja sisäilman olosuhteet	4
2.3. Rakennuksen rakenteet	4
3. Ohjeet ja määräykset	4
3.1. Terveydelliset ohjeet ja määräykset	4
3.2. Rakenteelliset ohjeet ja määräykset	4
4. Raja-arvot	4
5. Tulokset	4

Litteet

Lämpökuvausmittausraportit

Pohjakuvat

TALOKESKUS

1. Tutkimuksen yleistiedot

1.1. Kohde

Nimi: _____

Osoite: _____

Kiinteistötyyppi: _____

Rakennusvuosi: _____

Tilavuus: _____

Lämmitysmuoto: _____

Ilmanvaihtojärjestelmä: _____

1.2. Osapuolet

Tarkastuksen tilaajan tiedot

Tilaaaja: _____

Osoite: _____

Tarkastaja

Lämpökuvaus: _____

Tähän tiedot sertifikaateista.

1.3. Tavoite

Tähän selostus kuvauksen tavoitteista.

1.4. Ajankohta

Lämpökuvaus suoritettiin pp.kk.vvvv klo 00:00-00:00.

TALOKESKUS

2. Lähtöarvot

2.1. Mittausmenetelmät

Lämpökuvaus suoritettiin Rakennustiedon RATU-kortiston 1213-S ohjeen mukaisesti.

Tutkimuksessa käytetyt mittalaitteet:

2.2. Ulko- ja sisäilman olosuhteet

Ulkoilman lämpötila kaksi vuorokautta ennen lämpökuvausta:

Tähän säähavaintopalvelusta kuvaaja.

Ulkoilman olosuhteet kuvauksen aikana:

	alussa	lopus
Lämpötila, °C:	_____	_____
Sää, pilvisuus:	_____	_____
Tuulen suunta:	_____	_____
Tuulen nopeus, m/s:	_____	_____
Kosteus, %:	_____	_____

Sisäilman olosuhteet:

Tila	Lämpötila	Kosteus	Paine-ero

2.3. Rakennuksen rakenteet

Tähän kuvaus kohteesta. Kantavat rakenteet, alapohja, ym kuvauksen kannalta oleellista.

TALOKESKUS

3. Ohjeet ja määräykset

3.1. Terveydelliset ohjeet ja määräykset

Terveysturvallisuuslaki (763/94) Luku 7 Asunnon ja muun oleskelutilan sekä yleisten alueiden terveydelliset vaatimukset. 26§ Asunnon ja muun oleskelutilan terveydelliset vaatimukset. 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.

Terveysturvallisuusasetus (1280/94) Luku 5 Asunnon ja muun oleskelutilan terveydelliset vaatimukset. 15§ Asunnon ja muun oleskelutilan terveellisuuden valvonta. On kiinnitettävä huomiota, että rakennus on ottaen huomioon sen käyttötarkoitus riittävän tiivis ja siinä on riittävä lämmöneristys.

Sosiaali- ja terveysministeriön opas 1:2003 Asumisterveysohje

Sisäilmayhdistyksen julkaisu 5: Sisäilmastoluokitus 2008.

3.2. Rakenteelliset ohjeet ja määräykset

RakMK C3 Rakennusten lämmöneristys, Määräykset 2010. Rakennuksen vaipan lämpötekniset vaatimukset.

RakMK D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010. Lämpöolot, ilmanvaihto, melu ohjeistot.

RakMK D3 Rakennuksen energiatalous. Määräykset ja ohjeet 2010. Sisäilman suunnittelun ohjeistus.

RT 07-10564 Rakennuksen sisäilmasto. Sisäilman lämpöolot ja lämpökuormat.

TALOKESKUS

4. Raja-arvot

Taulukossa on esitetty huonetilojen ja huoneilman ohjearvot. Ohjearvot perustuvat mittausolosuhteisiin, joissa ulkoilman lämpötila on -5 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C . Mikäli mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, voidaan mitattuja pintalämpötiloja verrata ohjearvoihin jäljempänä esitetyllä tavalla lämpötilaindeksiä käyttäen.

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

- Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C , ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää arvoa $21\text{--}22\text{ °C}$.
- Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso on 19 °C .
- Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä kun ulkoilman lämpötila on -5 °C ja sisäilman lämpötila $+21\text{ °C}$. Jos mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksiä.
- Lämpötilaindeksiä 61% vastaava pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45% vastaava kastepistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on -10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C . Ikkunan, seinänurkkien ja putkien läpiviennin alin hyväksyttävä pintalämpötila.
- Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyrästä.
- Jos huoneilman lämpötila on $< 21\text{ °C}$ pintalämpötiloja mitattaessa, seinän ja lattian sekä pistemäisen pintalämpötilan arvioina käytetään mittaustuloksista laskettua lämpötilaindeksiä, jota verrataan taulukon arvoihin.

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Seinän ja lattian pintalämpötiloja voidaan arvioida lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ulkolämpötilassa.

Lämpötilaindeksi määritellään seuraavasti:

$$TI = \frac{T_{sp} - T_o}{T_i - T_o} \cdot 100\%$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

T_i = sisäilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

T_o = ulkoilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

TALOKESKUS

5. Tulokset

Tähän tiloittain jaoteltuna lämpökuvauksen havainnot.

Tarkemmat havainnot ovat liitteenä olevissa lämpökuvasisivissa.

Mittausraporttien analysoinnissa ja tulkinnassa käytetään seuraavaa asumisterveysohjeeseen perustuvaa korjausluokitusta:

1. Korjattava
 - Pinnan lämpötila ei täytä Asumisterveysohjeen välttävää tasoa (ilma-
vuoto, eristevika). Heikentää oleellisesti rakenteiden
rakennusfysikaalista toimintaa (esim. kosteusvaurio).
 - $TI < 61$ %.
2. Korjaustarve selvitettävä
 - Korjaustarve on erikseen harkittava. Täyttää Asumisterveysohjeen
välttävän tason, mutta ei täytä hyvää tasoa.
 - $TI 61-65$ %.
3. Lisätutkimuksia
 - Täyttää asumisterveydelle asetetut hyvän tason vaatimukset, mutta
piilee tilan käyttötarkoitus huomioiden kosteus- ja lämpötekni-
sen toiminnan riski. On tarkasteltava rakenteen kosteustekninen toiminta
tai tehtävä muita lisätutkimuksia (esim. tiiviysmittaus).
 - $TI > 65$ %.
4. Hyvä
 - Täyttää hyvän tason vaatimukset. Ei korjaustoimenpiteitä.
 - $TI > 70$ %.

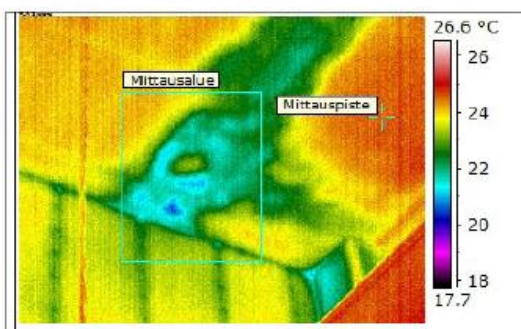
Liite 3. Lämpökuvausmittausraportti.**TALOKESKUS**

Tekijä: Lari Silvenon

Lämpökuvausmittausraportti

Sivu 80/97

20.2.2012

Kohde: Puolukkapolku 2**Kuvauspaikka: A11****Kuvauspäivämäärä: 10.2.2012**

Lämpökuva 80.



Tunniste	Arvo
Mittauspiste	24.6 °C
Mittausalue: Maks	24.4 °C
Mittausalue: Min	20.3 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	90
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	99

Mittausparametri	Arvo
Emissiivisyys	0.95
Etäisyys	1.0 m
Taustalämpötila	25.0 °C
Tunniste	Arvo
Lämpökuva: Kameratyyppi	P25 PAL
Lämpökuva: Kamcran sarjanumero	23403212

Tuulen nopeus/tuulen suunta	0 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	20.0 %
Pilvisyys	Puolipilvinen	Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	2 Pa
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-23.0 °C	Sisäilman lämpötila (taustalämpötila lämpökuvasta)	25.0 °C

Kommentit:

Ullakolla kulkevien ilmanvaihtokanavien kohdalla katon lämmöneristys luultavasti vähäisempi. Tilannetta ei päästy tarkistamaan, koska kulkureitit ullakolla olivat tukossa.

Korjausluokka 3.