

---

# RAKENNUSTEN ENERGIAPARANNUSTEN VAIKUTUSTEN ARVIOINTIMENETELMÄN KEHITTÄMINEN

---

Perttu Rantala

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto





Koulutusala Rakennustekniikka	
Koulutusohjelma Rakennustekniikka	
Työn tekijä(t) Perttu Kalervo Rantala	
Työn nimi Rakennusten energiaparannusten vaikutusten arviointimenetelmän kehittäminen	
Päiväys	16. joulukuuta 2011
Sivumäärä/Liitteet	51
Ohjaaja(t) Harry Dunkel, Lehtori ja Antti Kolari, st. tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Ympäristöterveyden osasto, Kuopio.	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä työ liittyy osaksi Terveyden ja Hyvinvoinnin laitoksen INSULAVO-projektia, jonka tavoitteena on tutkia rakennusten energiatehokkuuden parantamista Itä-Suomessa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää menetelmää, jolla voidaan tutkia rakennuksen energiatehokkuutta ja asumisterveyttä sekä ennen että jälkeen korjaushankkeen. Lisäksi opinnäytetyössä pyrittiin antamaan lukijalle perustietoa rakennusten toiminnasta asumisterveyden näkökulmasta.</p> <p>Työn olennaisena osana luotiin arviointimenetelmä rakennuksen energiatehokkuuden ja asumisterveyden arviointiin. Arviointimenetelmäksi kehitettiin lomakepohja, joka sisältää tutkimuksen perusteella keskeiseksi havaittujen tietojen kirjaus- ja vertailusarakkeet. Lomake palvelee rakennusalan ammattilaisen apuna sekä pohjana dokumentoinnille että havainnointi järjestyksen ohjeena. Samaa työjärjestystä noudattaen saavutetaan parempi vertailtavuus ja luotettavuus. Menetelmä luotiin teoreettisen tarkastelun perusteella. Koekäytön perusteella menetelmää kehitettiin paremmin käyttöön soveltuvaksi.</p> <p>Tuloksena saatu menetelmä on helppokäyttöinen ja se voidaan suorittaa melko vähällä laitteistolla. Menetelmä tulee INSULAVO-projektin käyttöön useissa tutkimuskohteissa. Tällaista tietoa kerätessä voidaan luoda ja kehittää rakennustapaohjeita, joita voidaan käyttää nykyisen rakennuskannamme korjausvelan vähentämisessä.</p>	
Avainsanat Energiaparannus, korjaushanke, asumisterveys, sisäilman laatu, energiatehokkuus.	

Field of Study Construction designing			
Degree Programme Structural Designing			
Author(s) Perttu Kalervo Rantala			
Title of Thesis Assessment Method for Effects of Energy Efficiency Improvements on Buildings			
Date	16 <sup>th</sup> December 2011	Pages/Appendices	51
Supervisor(s) Mr. Harry Dunkel, Lecturer and Mr. Antti Kolari, Part-time teacher			
Project/Partners National Institute for Health and Welfare, Department of Environmental Health, Kuopio.			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was conducted as a part of National Institute of Health and Welfares INSULAVO-project. It targets to research energy efficiency improvements of buildings in Eastern Finland. The purpose of the thesis was to develop a method which can be used for researching the energy efficiency and the residential health of buildings both before and after renovation. Another aim was to give the readers some basic information about functionality of buildings from the point of view of residential health.</p> <p>As the main idea of the thesis an evaluation method was created to evaluate energy efficiency and health of buildings. As an evaluation method a form concerning the energy efficiency and the health entry and comparison columns of information was developed. This information was considered essential in the research. The form helps construction professionals both in documentation and in guide lining the observation order. It is necessary to follow the same procedure in order to gain better comparability and reliability. The method was created as a result of a theoretical investigation. Based on a trial run the method was developed more suitable for use.</p> <p>The method proved to be easy to use and it can be carried out with rather a small amount of equipment. The method will be used by INSULAVO-project in several different case study buildings. By gathering this kind of information it is possible to create and develop new guidelines for renovation projects which can be used on our current reduction of renovation dept.</p>			
<p>Keywords Energy improvement operation, renovation project, residential healthiness, quality of indoor air, energy efficiency</p>			

## **ALKUSANAT**

Haluan kiittää kaikkia henkilöitä, jotka ovat auttaneet minua opinnäytetyön eri vaiheissa. Erityisesti haluan kiittää työnohjaajia Ulla Haverinen-Shaughnessy (THL), Antti Kolaria (Savonia AMK) sekä Harry Dunkelia (Savonia AMK). He auttoivat työn suuntaamisessa sekä muistuttivat tavoitteesta tarvittaessa. Ullan ja Antin panos lähdemateriaalin keräyksessä oli merkittävä.

Suuret kiitokset kuuluu myös laitteistoja lainanneille Mika Raatikaiselle (UEF), Markus Johanssonille (UEF), Jorma Savolaiselle (ISS Palvelut Oy) sekä Tapani Savolaiselle (Savonia AMK). Taustatyötä hyväkseni tehneet sekä muulla tavoin ammattitaitoaan ja -tietoaan minulle opettaneet Maria Pekkonen (THL), Martti Niskanen (Savonia AMK) ja Mikko Kallinen (ISS Proko Oy) ovat myös auttaneet työn etenemisessä. Kiitos.

Kuopiossa 16.12.2011

Perttu Rantala

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	TUTKIMUSSUUNNITELMA.....	12
	2.1 Tämänhetkinen tieto ja suositukset.....	12
	2.2 Tutkimustapa.....	12
	2.3 Muut tutkimukset .....	13
3	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	14
	3.1 Asumisterveys .....	14
	3.2 Rakennuksen korjaustarve .....	21
	3.3 Nykyinen tutkimusmenettely .....	23
4	TUTKIMUKSEN OSA-ALUEET .....	26
	4.1 Lähestymisnäkökulma .....	26
	4.2 Arviointilomake .....	26
	4.3 Mittausinformaation kerääminen.....	27
	4.4 Suhteellisen kosteuden muuttaminen absoluuttiseksi kosteudeksi .....	31
	4.5 Esitystavan vaikutus sanomaan.....	32
	4.6 Tutkimukseen kerättävä tieto .....	32
	4.7 Tarkastuslomakkeen tulosten tulkinta ja esitys .....	37
	4.8 Oletukset .....	41
5	LOMAKKEEN TESTAUS.....	42
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43
7	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET .....	50
	TAUSTA-AINEISTO.....	51

## LIITTEET

- Liite 1 Raportointilomake, rakennus
- Liite 2 Raportointilomake, huoneisto
- Liite 3 Esimerkki lämpökamerakuvausraportista

## LYHENTEET

EAKR	Euroopan aluekehitysrahasto
INSULAVO	THL:n ”Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen Itä-Suomessa”-projektin nimi.
Korjausvelka	Rakennus kuluu ja vanhenee käytettäessä. Siihen ilmestyy vaurioita ja vikoja käytön aikana, joita ei korjata välittömästi. Tätä kutsutaan korjausvelan kertymiseksi.
Kylmäsilta	Yhtenäisessä rakenteessa oleva paikallinen muuta rakennetta kylmempi lämpötila. Voi aiheutua esimerkiksi ilmastuodosta, rakenteen kosteudesta tai rakenteellisesta vias- ta.
Lämpöaistimus	Tunne lämpötilasta, johon vaikuttaa niin lämpötila, ilman- virtausnopeus kuin lämpösäteilykin.
Terveyshaitta	Terveyttä vaarantava tekijä
THL	Terveyden ja Hyvinvoinnin laitos

## 1 JOHDANTO

Asumisterveyteen liittyvillä tutkimuksilla pyritään kuvaamaan asumiseen liittyviä terveysvaikutuksia asukkaille. Asuintiloja tarkoitettaessa voidaan käyttää sanaa sisäympäristö. Termillä tarkoitetaan ympäristöä, jonka vaikutuksen alaisena rakennuksen käyttäjät ovat ollessaan sisätiloissa eli se käsittää mm. hengitysilman, valon, melun, tärinän ja epäpuhtauksienkin aiheuttamia suoraa tai epäsuoraa vaikutuksia.

Rakennuksen energiatehokkuutta paranneltaessa vanhaa rakennetta kehitetään vastaamaan energiaominaisuuksiltaan nykypäivän vaatimuksia. Rakenne on kuitenkin suunniteltu toimimaan tietty ikä tietyissä olosuhteissa. Vanhimpien rakennusten rakenteet voivat perustua työmaamestarin tietotaitoon, uudemmissa on voitu kokeilla jotain uutta, materiaaleja säästäviä ratkaisuja. Lähtökohtaisesti rakennetta ei siis usein suunnitella muokattavaksi tulevaisuudessa.

Toimivan rakenteen lisälämmöneristäminen on harkittu riski, jolla rakenteen toimintaympäristöä muutetaan energiatehokkaammaksi. Toimintaympäristön muutos voi olla rakenteen muuttunut lämpötila, jolla on vaikutusta kastepisteen sijaintiin tai se voi olla ympäröivän ilmavirtauksen hidastuminen, mikä taas vaikuttaa rakenteen kuivumisnopeuteen. Ulkovaippa on joka tapauksessa se rakenne, jonka läpi ulko- ja sisäilman pitoisuudet tasoittuvat riippumatta siitä kuinka paljon sen etenemistä vaikeutetaan.

Nykyisen rakennuskannan lisälämmöneristäminen on alkanut yleistyä. Samalla sen vaikutuksia asumisterveyteen tulisi tutkia ennen-jälkeen-tilanneanalyysinä, jotta toteutustapoja ja menetelmiä voitaisiin kehittää ja arvioida myös sisäympäristön laadun ja terveellisyyden, eikä vain kustannussäästöjen näkökulmasta.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena kehitettävä työkalu liittyen asuinkerrostalon energiatehokkuuden ja asumisterveyden arviointiin. Lisäksi opinnäytetyössä pyritään antamaan lukijalle perustietoa rakennusten toiminnasta asumisterveyden näkökulmasta. Työn keskeisenä osana kehitetään ja koekäytetään tarkastuslista, jonka avulla rakennusalan ammattilainen voi merkitä havaintonsa ylös ja joka auttaa tekemään havainnot parhaassa mahdollisessa järjestyksessä luotettavuuden saavuttamiseksi. Kun vastaava tutkimus tehdään huoneistossa ennen ja jälkeen rakennuksen parannustoimenpidettä, voidaan saada arvokasta tietoa toimenpiteen onnistumisesta ja vaikutuksista. Tällaista tietoa kerätessä voidaan luoda ja kehittää rakennustapaohjeita, joita voidaan käyttää nykyisen rakennuskantamme korjausvelan vähentämisessä.



Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää arviointikäytäntöä asumisterveellisuuden ja viihtyvyyden parantamisen puuttumatta kuitenkin kuntoarvio tai -tutkimus menetelmien tehtäviin. Toisin sanoen painopiste tarkastuslistan luomisessa on energiatehokkuuden ja asumisterveellisuuden näkökulmassa. Toimeksiantajalla on tarvittavat asukaskyselylomakkeet, joten sitä puolta ei tässä työssä käsitellä.

Energiatehokkuus on ollut ajankohtainen tutkimuskohteena jo jonkin aikaa. Opinnäytetyössä halutaankin kerätä ja soveltaa tätä tutkimuksessa syntynyttä tietoa mahdollisuuksien mukaan ja testata laitteistoa, jota suositellaan käytettäväksi. Laitteiston on tarkoitus olla mahdollisimman käyttökelpoinen ja työmäärää vähentävä.

Opinnäytetyö etenee määritelmistä olemassa olevan tiedon ja käytäntöjen kautta kehitystarpeiden kuvaamiseen ja niiden ratkaisemiseen. Ensimmäisenä keskeisenä määritelmänä tulee selvittää, mitä tarkoittaa terveellinen asumisympäristö. Yhtä tärkeänä asiana tulee määritellä erilaisten korjaustarpeiden erot ja niiden havaitseminen käytännössä. Rakennuksen tekniset puutteet erottuvat myös taloudellisena rasitteena, mutta suuri energiankulutus pitäisi pystyä havaitsemaan myös asianmukaisella menetelmällä tutkittaessa.

Työ liittyy Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen INSULAVO-projektiin ja tarkastuslista tulee työkaluksi projektin käyttöön. Koekäytön ja viimeistelyn jälkeen opinnäytetyön tulos voi toimia yleisemmin työkaluna energiatehokkuutta ja asumisterveellisyyttä arvioitaessa. Yhden lomakkeen käyttö laajasti olisi tavoiteltavaa vertailukelpoisen materiaalin aikaansaamiseksi. Laajamittaiseen levitykseen soveltuvan mallin tulee taas olla selkeä, yksiselitteinen ja vain pientä tutustumista vaativa.

## 1.1 Pääprojekti

### 1.1.1 INSULAVO- projekti

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (myöhemmin THL) on yhdessä Itä-Suomen yliopiston kanssa aloittanut Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen Itä-Suomessa-projektin (myöhemmin INSULAVO), joka tutkii rakennusten energiatehokkuutta lisäävien toimenpiteiden vaikutuksia sisäympäristön laatuun ja terveellisuuteen. Tutkimuksen tavoitteena on arvioida energiaparannusten kokonaisvaikutuksia. Lisäksi tavoitteena on lisätä itäsuomalaisten tutkimuslaitosten ja yksityisen ja julkisen sektorin vuorovaikutusta sekä menetelmien (tuotteiden, toimenpiteiden ja palvelujen) kehittäminen ja testaaminen. Tutkimuksen pilottikohteiksi valitaan noin 15 asuinkerrostaloa ja 10 koulurakennusta Kuopiosta ja lähialueilta. (INSULAVO)

Koulurakennuksia ja asuinkerrostaloja on päätetty arvioida eri lähtökohdista niiden käyttötarkoituksen erilaisuuden vuoksi. Suuri vaikutus on kosteuskuormalla ja sen ajallisella vaihtelulla, mutta merkittävä ero on myös eri rakennustyyppien kiinteistönpidossa. Lisäksi koulurakennuksessa oleskellaan vain tietty aika vuorokaudesta kun taas asuinhuoneistossa oleskellaan pääosa ajasta.

### 1.1.2 Yhteistyökumppanit

Julkisen laitoksen Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) rahoitusta saanut hanke pyrkii tuottamaan ajantasaista ja tarpeellista informaatiota koko toimialueelleen. Välillisesti kaikki hankkeen vaikutusalueella asuvat voisivat lukeutua hyödynsaajiksi.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii THL ja hankkeen yhteistyökumppaneita ovat Asumisterveysliitto AsTe ry, FinnEnergia Oy, Kuopion kaupunki, Niiralan Kulma Oy, Ouman Oy, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy, Skanska Oy, Suomen Sisäilmakeskus Oy ja Rakennusteollisuus RT ry. Hanke on THL:n koordinoima yhteistyöprojekti Itä-Suomen yliopiston kanssa. (INSULAVO)

### 1.1.3 Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) on sosiaali- ja terveysministeriön hallinnonalalla toimiva tutkimus- ja kehittämislaitos. THL palvelee valtion ja kuntien päättäjiä, alan toimijoita, järjestöjä, tutkimusmaailmaa ja kansalaisia. Tavoitteena sillä on vaikuttaa suomalaisten terveyden ja hyvinvoinnin puolesta.

THL tekee väestön terveyteen ja hyvinvointiin liittyvää tutkimusta ja kehittämistä. Tehävä tutkimus liittyy terveyden ja hyvinvoinnin edistämiseen sekä sairauksien ja vammaisuuden estämiseen. THL kehittää myös

1. sosiaali- ja terveysalalle uusia palvelujen järjestämismalleja
2. hyviä käytäntöjä hyvinvoinnin ja terveyden edistämiseksi
3. osaamista ja välineitä hyvien käytäntöjen soveltamiseksi.

Tutkimus ja kehittäminen limittyvät usein toisiinsa. Tutkimuksella tuotetaan uutta tietoa, jota hyödynnetään toiminnan kehittämisessä. Kehittämisellä voidaan arvioida ja pyrkiä parantamaan toimintaa ja se voi nostaa esille lisätutkimuksen tarpeen. (INSU-LAVO)

## 2 TUTKIMUSSUUNNITELMA

Tämän opinnäytetyön tuloksena oleva rakennustutkimustapa eroaa toteutusjärjestyksessä olennaisesti nykyisiin rakennustutkimustapoihin nähden. Normaalisti rakennuksesta etsitään puutteita ja vikoja, jotka voivat vaikuttaa asumisterveyteen, kun taas tässä työssä pyritään tutkimaan asumisterveyteen vaikuttavia tekijöitä, ja mahdollisuuksien mukaan kartoittaa saaduista tuloksista vikoja tai puutteita.

### 2.1 Tämänhetkinen tieto ja suositukset

Aikaisemmista asumisterveellisyyteen liittyvistä tutkimuksista huolimatta tutkimustietoa tarvitaan lisää rakenteiden muuttuessa entistä vaihtelevimmiksi ja monimutkaisemmiksi. Rakennusfysiikka eli rakenteiden lämpö- ja kosteustekniikkaa tunnetaan jo melko hyvin, mutta asumisen vaikutuksia rakenteisiin ja päinvastoin on hyvä selvittää. Energiataloudellinen rakentaminen on aiheuttanut ja tulee aiheuttamaan ongelmia rakenteissa. Rakennus vaatii jatkuvaa seurantaa ja nopeaa reagointia mahdollisiin puutteisiin, joten tarkastuksia olisi tehtävä säännöllisesti ja riittävän usein.

Sosiaali- ja Terveysministeriö (STM) on laatinut Asumisterveysohjeen, jonka soveltamisopas (Asumisterveysopas) on tämän opinnäytetyön yksi merkittävä lähde. Asumisterveysohje on laadittu valtion asumispolitiikkaa tukevaksi ohjeeksi, jonka sisällöstä asumisen tarpeet ja vaatimukset voidaan määrittellä.

### 2.2 Tutkimustapa

Tutkimustavaksi valittiin teoreettinen tutkimus, jossa tuotetaan olemassa olevan tiedon perusteella uusi tapa tai näkökulma lähestyä asiaa. Sillä tarkoitetaan, että tutkimus etenee ikään kuin takaperin selvittäen ensin seurauksia ja sitten niiden mahdollisia syitä. Tämä vaihtoehto on luonnollinen korjausrakentamiseen, sillä korjauksen ajoitus perustuu tehtyihin havaintoihin tai niiden perusteella tehtyihin kuntotutkimuksiin (Taloyhtio.net). Korjausrakentamisen laatu ja kustannusvaikutuksien arviointi perustuu laadukkaaseen korjaussuunnitteluun, jolla voidaan arvioida korjausaste ja minimoida yllätykset rakentamisen aikana.

Korjausrakentamishanke voidaan aloittaa päättämällä tavoiteltava taso. Kilpailutus perustuu oletettuun ja tutkittuun tietoon rakennuksen kunnosta. Jo korjaushankkeen suunnittelua varten olisi hyvä olla käytössä mahdollisimman tarkka kuvaus rakenteen kunnosta. Tällä voidaan välttää turhan ja suunnittelemattoman työn määrää urakointivaiheessa. Näin kustannukset voidaan määrittää tarkemmin etukäteen.

### 2.3 Muut tutkimukset

Asumisterveystutkimus on vahvasti sidoksissa sisäilmaan ja sen laatuun. Ihminen hengittää keskimäärin 40 m<sup>3</sup> ilmaa vuorokaudessa (Terveellinen sisäilma 1996, 10) ja suurin osa siitä on sisäilmaa. Siksi sisäilmalla on niin suuri merkitys terveytemme.

Sisäilmatutkimus on kehittynyt ajan kuluessa; 1980-luvulla tehdyn tutkimuksen perusteella löytyi formaldehydi, radon ja asbesti, 1990-luvulla kosteusvaurio- ja hometutkimus kehittyi valtavasti ja sama suunta on jatkunut. Kokonaisuudessa ovat olleet panoksellaan mukana niin terveysviranomaiset, tutkimuslaitokset, yliopistot kuin ammattikorkeakoulut. (Terveellinen sisäilma 1996, 10–12.)

### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1 Asumisterveys

Asumisterveys koostuu pääasiassa sisäympäristön vaikutuksesta asukkaaseen.

##### 3.1.1 Mitä on hyvä sisäympäristö?

Sisäympäristö koostuu ihmisen aistien välittämistä tuntemuksista, joita kukin käsittelee omien tottumusten ja kokemusten mukaan. Eri henkilöille eri pitoisuudet tai muut olosuhteet voivat olla hyvinkin eri tuntuksia. Tästä syystä asukaskyselyitä ei voida pitää täysin luotettavina kaikilla mittausalueilla, vaan tavoiteltavaa olisi objektiivisten mittausarvojen analysointi. Asukasta voidaan kuitenkin pitää hyvänä tietolähteenä korjaustarpeen kartoitusta ajatellen.

Terveydensuojelulain (763/94) 26§:n mukaan asunnon ja muun sisätilan sisäilman tulee olla puhdasta eikä se saa aiheuttaa terveyshaittaa ko. sisätilassa oleskeleville. Sisäympäristössä on monta tekijää, jotka osittain vaikuttavat toisiinsa. Usein mitattavia suureita ovat huoneilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, valo, säteily, pinta- lämpötilat, veto, ilmanvaihto, kemialliset epäpuhtaudet, pienhiukkaset, radon, ääniolosuhteet ja mikrobit. Suureiden väliset riippuvuudet voivat esimerkiksi olla tiettyjen rakennusmateriaalien sisältämien kemiallisten aineiden siirtyminen sisäilmaan väärissä kosteus- ja lämpöoloissa. Heikko ja puutteellinen ilmanvaihto ei taas poista tarpeeksi sisälähteistä peräisin olevia epäpuhtauksia, puhumattakaan suodattamattoman korvausilman asuntoon tuomia epäpuhtauksia (Asumisterveysopas 2009, 24–25).

On kuitenkin arvioitu, että asumisterveyteen liittyviä ongelmia voi olla jopa yli puolessa asunnoistamme. Ongelmalähteissä voi olla hyvin monta vaihtoehtoa ja usein ongelmia kokeva ei välttämättä tiedosta sairastavansa tai muuten saavansa oireita juuri asuinympäristöstään. Joissakin tapauksissa esimerkiksi rakenteen vika voi olla vaikea havaita ja oikeinkin (rakennusmääräysten mukaan) rakennettu talo voi olla ongelmallinen ja aiheuttaa asukkaille terveyshaittaa. Asumisterveysohje ja rakentamismääräyskokoelman vaatimukset eivät kuitenkaan ole ristiriidassa keskenään. (Asumisterveysopas 2009, 9–11.)

## Huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Hyvä sisäympäristö on sopivan lämpöinen. Ihmisten kokemaan lämpötilaan eli lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneilman lämpötilan lisäksi lämpösäteily, ilman virtausnopeus, kosteus sekä vaatetus ja tilan toiminnan laatu. Lämpöaistimukset ovat yksilöllisiä, ja eri ihmiset voivat olla herkkiä eri asioille. (Asumisterveysopas 2009, 24–27.)

Sisäilman lämpöaistimukseen vaikuttaa siis varsinaisen lämmityksen lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus ja rakennuksen ulkovaipan toiminta, joista jokaiselle osatekijälle on oletettu, asianmukainen ja hyväksyttävä toimivuus, mikä vaikuttaa lämpöaistimukseen sitä enemmän, mitä enemmän se siitä poikkeaa. Esimerkiksi jatkuva tai pitkäaikainen veto voi aiheuttaa jo itsestään terveyshaittaa. Lisäksi se laskee pintalämpötiloja huoneiston lattian tuntumassa, mikä voi vaikuttaa varsinkin pienten lasten asumisterveyteen. Jos pinta viilenee selvästi kylmemmäksi kuin huoneilma, kasvaa kosteuden tiivistymisen mahdollisuus. (Asumisterveysopas 2009, 24–29.)

Jos taas huoneilman lämpötila on liian korkea lämmityskaudella, se voi aiheuttaa väsymistä, keskittymiskyvyn alenemista ja aiheuttaa kuivuuden tunnetta. Tällöin usein ilmaa kostutetaan turhaan. Jatkuva tutkimus antaa lisätietoa niin materiaalien vapauttamista kemiallisista yhdisteistä kuin korkean huoneilman lämpötilan suoraan aiheuttamista fysikaalisista oireista. (Asumisterveysopas 2009, 30–32.)

Rakennuksen vaipan osalta suoraan lämpötilaan vaikuttavat eristevirheet ja puutteet, kylmäsillat, ikkunarakenteet ja muut lämmönläpäisykertoimeltaan seinästä poikkeavat rakenteet ja erityisen suurelta osin ulkovaipan tiiviys eli ilmanpitävyys, toisin sanoen vuodot.

Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus lämpötilaan on hyvin keskeinen. Tuloilman lämpötila ja nopeus, ilmamäärät, poisto- ja tuloilman suhde, tehokkuus yleensä ja venttiilien sijoittelu voivat pilata muuten hyvän sisäympäristön. (Asumisterveysopas 2009, 56–58.)

Lämmitysjärjestelmätyyppi vaikuttaa vahvasti lämmitystarpeeseen. Lattia on pintana se jota kosemme eniten, joten sen lämmittäminen on erittäin hyvä vaihtoehto. Samalla mitä suurempi pinta-ala toimii lämmittävänä pintana, sitä pienempi lämpötilaeron tarvitsee olla huoneilman lämpötilaan nähden, mikä taas pienentää ilman vir-

tausnopeutta. Patteri- ja säteilylämmitys eivät ole aivan niin hyviä lämmitysmuotoja, mutta oikein käytettynä ja säädettynä toimivia.

Usein huoneilmaa kuormitetaan sisältä päin useilla lämpö- ja kosteuslähteillä. Sisällä oleskelu tuottaa kosteutta ja lämpöä huonetilaan, samoin pyykkien pesu ja kuivatus, huonekasvit, ruoanlaitto, valaistus ja muutkin laitteet kuten tietokoneet, televisiot, stereot, jne.

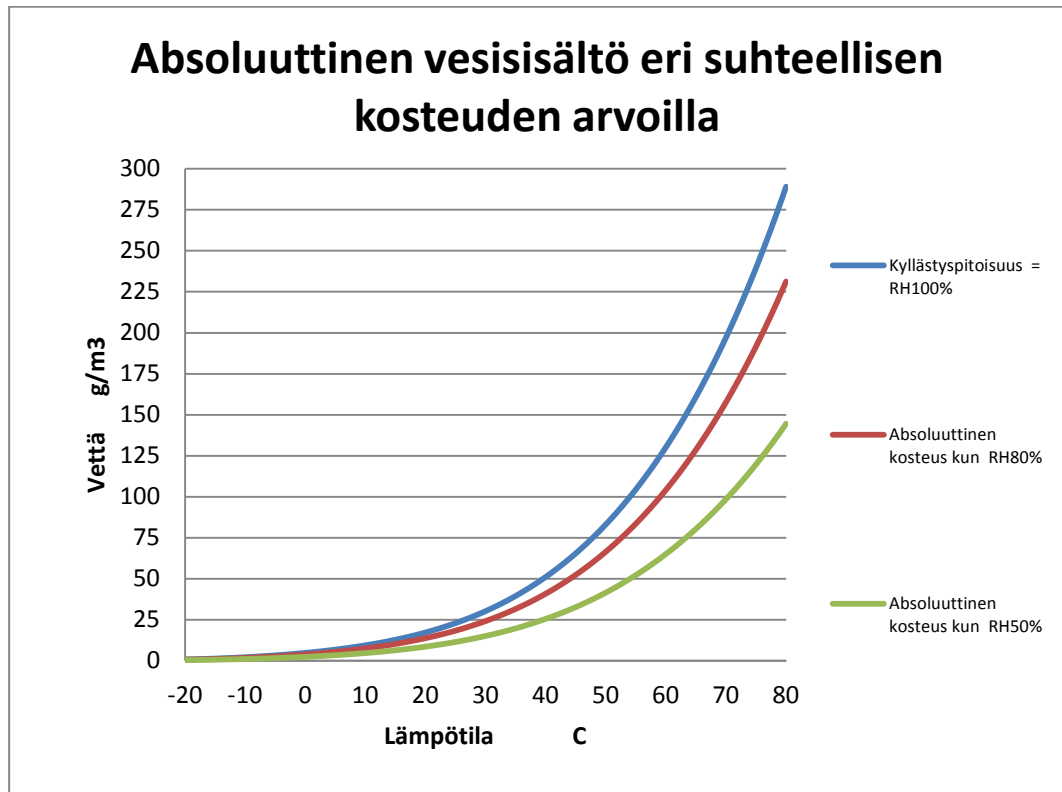
Sääolosuhteet ovat oikeastaan peruslähtökohta ja syy rakennuksen ulkovaipan toimintaan. Pyrkinessämme pitämään sisätiloissa läpi vuoden saman lämpötilan ja samat olosuhteet näissä hankalissa sääolosuhteissa ja äärimmäisen suurissa lämpötilaeroissa, ulkovaipan pitäisi pystyä toimimaan kahdella täysin päinvastaisella tavalla (kesä – talvi). Kaikkien tekijöiden huomioimista harjoitellaan vieläkin erilaisissa rakenteissa rakennustapojen jatkuvasti muuttuessa.

Sisälämpötilasta ja kosteusolosuhteista riippuvat seikat kuten mahdollinen mikrobikasvuston kehittyminen ja säilyminen tulee huomioida asumisterveellisyyden arviointia tehtäessä. Pintalämpötilojen tulee aina olla korkeampia kuin huoneilman kastepiste eli lämpötila, jossa sisäilman sisältämä vesihöyry tiivistyy (ts. lämpötila, jossa ilman suhteellinen kosteus on 100 %). Lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä enemmän kosteutta, joten normaali huoneilman kosteuspitoisuus voi tiivistyä esimerkiksi ikkunan kylmään pintaan talvipakkasilla, jos pintalämpötilat ovat alhaiset. Tästä syystä esim. RH50 % tarkoittaa eri lämpötilassa eri vesisisältöä. Asumisterveysoppaassa määritellään tarkemmin, että pintalämpötilan  $T_p > RH80$  %:a vastaava pintalämpötila, joka tarkoittaa sitä pintalämpötilaa, jossa kyseisen tilan sisäilman suhteellinen kosteus olisi 80 %, jos se jäähdytettäisiin. On osoitettu, että ko. RH80 % kosteus on riittävä käynnistämään mikrobikasvu rakenteessa. Jos  $T_p > RH100$  %:a vastaava pintalämpötila pääsee jossakin kohdassa muodostumaan, se ilmenee välittömästi kosteuden tiivistymisenä rakenteeseen eli veden kondensoitumisena. (Asumisterveysopas 2009, 25-27.)

Kuvassa 1 sivulla 17 sininen kuvaaja ilmaisee vesihöyryn kylläisen pitoisuuden (RH100 %) ilmakiloa kohti, punainen RH80 % ja vihreä taas RH50 % suhteellisen kosteuden. Veden tiivistymiseksi tarvittavan 100 %:n suhteellisen kosteuden vesipitoisuus kasvaa eksponentiaalisesti lämpötilan noustessa. Päinvastoin ajateltuna, jos huoneilma sisältää jostain syystä paljon kosteutta, alhaisen pintalämpötilan paikallisesti jäähdyttämä ilma ei kykene sitouttamaan itseensä lämpimän ilman sisältämää kosteus määrää ja tästä seuraa, että ylimääräinen kosteus tiivistyy kosteudeksi kyl-

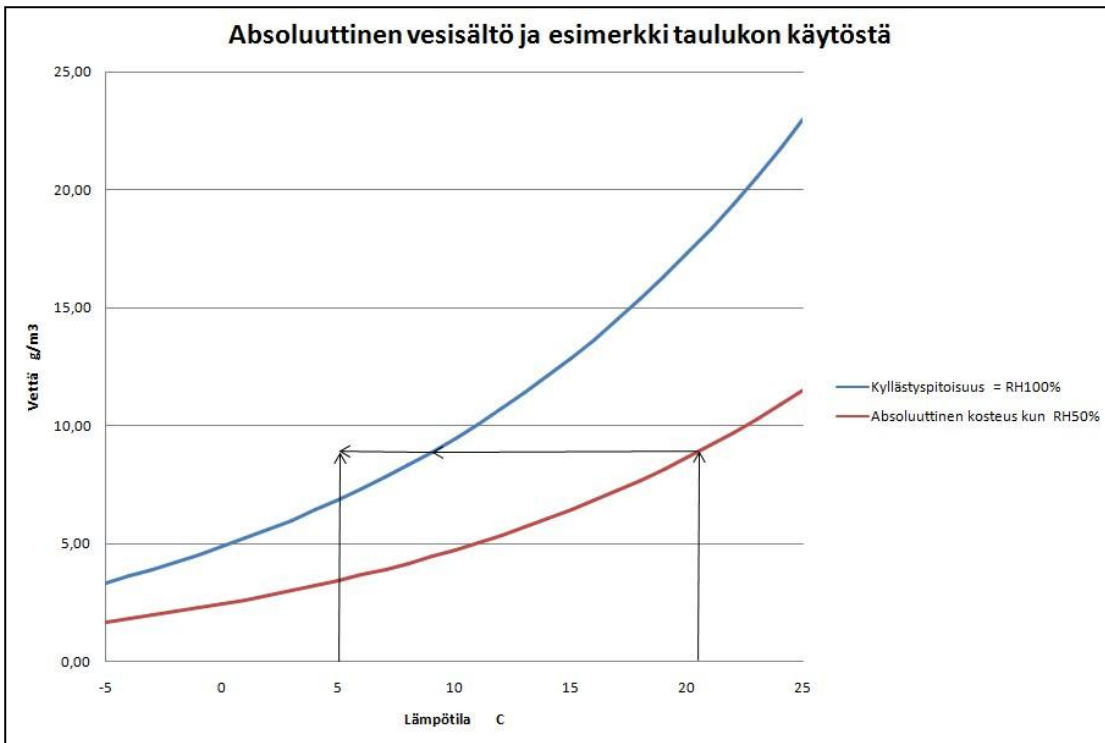


mään pintaan. Esimerkiksi kovalla pakkasella huoneiston ikkunaan tiivistyys usein kosteutta juuri tästä syystä.



Kaavio 1. Absoluuttinen ilman vesisisältö eri suhteellisen kosteuden arvoilla. (Björkholtz, D. 1997, 44). Kuva Perttu Rantala

Tällöin huoneilmassa sijaitsevan paikallisen pinnan lämpötila, jossa huoneilman kosteuspitoisuus pääsee ylittämään kyllästyspitoisuuden (ks.esimerkki: kaavio 2), aiheuttaa ko. pintaan kosteuden tiivistymisriskin. Jos pinta pysyy kylmänä jatkuvasti, se ei pääse kuivumaan ja homehtumisriski kasvaa. Vastaavanlainen tilanne voi syntyä jos huonetila on joko ylipaineinen tai liian vähän alipaineinen ulkoilmaan nähden. Jos alhainen pistelämpötila on vuotokohdassa eli siinä on jatkuva ilmavirtaus, kosteutta ei välttämättä pääse tiivistymään.



Kaavio 2. Esimerkki kaavion käytöstä.

Taulukossa oletetaan normaalilämpöisessä (+20,5 C) RH50 % huonetilassa olevan pistelämpötilan (+5 C) jäähdyttävän välittömässä läheisyydessä oleva ilma viiteen asteeseen Celsiusta. Tällöin taulukosta voidaan lukea, että kaikki kosteus ei kykene sitoutumaan enää viileneeseen ilmaan vaan sinisen viivan yläpuolelle jäävä osuus tulee tiivistymään vedeksi. (Björkholtz, D. 1997, 44) Kuva Perttu Rantala.

Seinä- ja kattopintojen pistemäiset alhaiset pintalämpötilat eivät yleensä aiheuta suoraan terveyshaittaa, jos ne ovat normaalipoikkeaman rajoissa. Suuremmat viileät alueet seinäpinnoilla voivat kuitenkin jo aiheuttaa ilmavirran liikkeitä eli vetoa ja se voidaan havaita myös säteilevänä kylmyytenä. Näiden pidempiaikainen vaikutus vaikuttaa asumisviihtyvyyteen ja jatkuvana siitä voi olla terveyshaittaa.

Erillisenä huomiona tulee todeta, että seinästä matalamman pintalämpötilan kohdasta mitattu suurempi kosteuspitoisuus ei välttämättä johdu huoneilmasta tiivistyneestä kosteudesta tai alhaisemmasta lämpötilasta, vaan voi olla seurausta kostean villan kuivumisesta huoneiston sisäilmaan, jolloin betoni luovuttaa lämpöään kosteuden haihduttamiseksi. Kosteus aiheuttaa materiaalissa pinnan jäähtymistä kosteuden haihtuessa materiaalin pinnalta. (Rakennuksen lämpökuvaus 2004, 36.)

Ulko- ja sisäilmaa rajaavan seinän muodot vaikuttavat lämpöaistimukseen lämpösäteilyn kautta. Tästä esimerkkinä nurkat ja erkkerit, joissa ulkotilasta rajaavaa

pintaa on kahdella tai jopa viidellä sivulla. Kun ulkotilaa rajaavia seiniä on ympärillä useampi, voi lämpöaistimus kylmällä säällä olla sietämättömän kylmä. Varsinkin erkereissä on usein hyvin paljon ikkunapinta-alaa, mikä taas lisää säteilyvaikutusta entisestään.

### Veto ja ilmavirtaus

Huonetila lämmitetään lähes aina konvektioon perustuvalla lämmitysjärjestelmällä, jossa huoneilma toimii väliaineena. Huoneilman liike perustuu pääosin siihen, että lämmin ilma on kevyempää kuin kylmä ilma. Tällä peruseriaatteella ikkunapinnalta viileä ilma valuu alaspäin ja lämmityspinnoilta ylöspäin. Huoneilma taas lämmittää kaikkia sen alueella olevia kappaleita.

Ihmisen tuntema veto aiheutuu kahdesta tekijästä; ihmistä ympäröivien pintojen lämpötilaerosta sekä kylmän ilman liikenopeudesta. Kylmät pinnat aiheuttavat ns. säteilyvetoa, koska ihmisen iho jäähtyy nopeasti kylmien pintojen läheisyydessä. Kylmäsiltojen aiheuttama veto taas aiheutuu kun kylmällä seinäpinnalla jäähtyvä ilma alkaa raskaampana siirtyä alaspäin ja lattiaan törmätessään kääntyy lattian suuntaiseksi vedoksi. Lisäksi ulkovaipan läpi tuleva kylmä ilmavirtaus lisää vedontunnetta, erityisesti jos se tulee lattianrajasta tai oven alaosista. Tyypillisesti ulkovaipan vedon aiheuttajia ovat ovet ja niiden liittyminen runkoon, ulkoseiniin kiinnitetyt raitisilmaventtiilit, suuret kylmät ulkovaipan pinnat, kuten suuret ikkunat ja niiden liittyminen runkoon, lattianrajavuodot sekä väärin sijoitetut tuloilmaventtiilit tai muuten huono ilmanvaihtojärjestelmä. Pienet vuodot huonetilan yläosissa eivät juuri aiheuta vedon tunnetta, mutta reilu vuoto voi missä tahansa huoneen osassa aiheuttaa matalan pintalämpötilan aiheuttaman kosteuden tiivistymisen (kondensoituminen) ja kosteusvaurion. (Asumisterveysopas 2009, 27–30.)

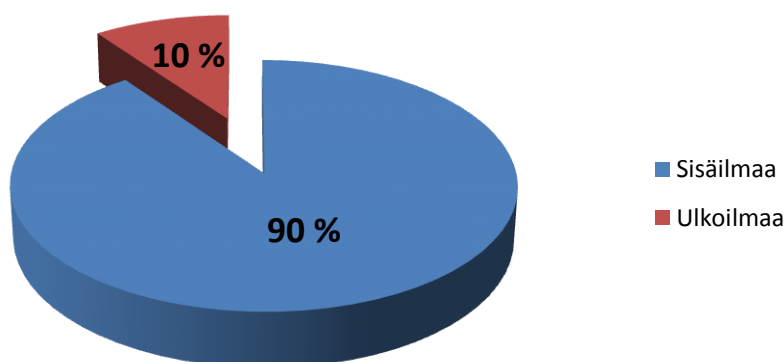
Rakennuksen lievällä alipaineistuksella hallitaan mahdollisten vuotokohtien ilmavirran suunta. On rakenteen kannalta parempi, että vuotoilma tulee ulkoa sisälle, sillä pääosan vuodesta ulkoilman kosteuspitoisuus on pienempi kuin sisäilman. Tällöin kosteusvaurioriski on pienempi, vaikka toisaalta rakenteesta voi kantautua epäpuhtauksia sisäilmaan. Mikäli alipaine ei ole riittävä tai sisätila on ylipaineinen, vuotokohdan ilmavirtauksen suunta muuttuu ja sisäilma virtaa (talviaikana) jäähtyneeseen rakenteeseen. Kun sisäilma jäähtyy läpäistessään rakennetta, se saavuttaa ensin kastepisteen ja tiivistyy osin vedeksi rakenteen kastepisteestä ulospäin. Kostunut rakenne jäähtyy ja lämpöä eristävä rakenne menettää kykynsä vastustaa lämpövirtaa, minkä

seurauksena kastepiste siirtyy entistä lähemmäksi sisätilaa ja jäänyt alue etenee ilmavirtauksen mukana. Lopputuloksena pienikin vuoto sisätilasta ulospäin voi aiheuttaa suuren kosteusvaurion seinärakenteen sisälle.

Yksityiskohtana voidaan todeta, että kosteuden vaikutuksesta elävissä puutaloissa ulkovaippaan polyuretaanilla kiinni liimatut ikkunat ja ovet irtoavat jossakin vaiheessa ja alkavat pikkuhiljaa päästää vuotoilmaa läpi karmiväleistä. Polyuretaania käytetään nykyisinkin vielä helpottamassa asennusta, mutta pääasiallisena eristykseenä tulisi käyttää villakaistaa ja elastista liimamassaa höyrysulun yhtenäistämiseksi.

### 3.1.2 Asumisterveys

Asumisterveys on muutakin kuin terveellinen sisäilma, mutta ihmiset hengittävät keskimäärin 40 m<sup>3</sup> ilmaa vuorokaudessa, ja Pohjois-Euroopassa asuvat ovat arvon mukaan 90 % ajastaan sisällä (Terveellinen sisäilma 1996, 10–15). Tästä syystä sisäilman laadulla on suuri merkitys. Sisäilmaan vaikuttavat rakennusmateriaalien kaasumaiset ja hiukkasmaiset päästöt, kosteusvauriot ja niiden aiheuttama mikrobikasvu, ml. home- ja laho-ongelmat, ilmanvaihtojärjestelmän huonon hygienian tuomat epäpuhtaudet ulkoilmasta ja ilmanvaihtokanavista, ihmisen oma toiminta sekä maaperän radon. (Terveellinen sisäilma 1996, 16.)



Kuvio 1. Sisäilman ja ulkoilman määrät hengitysilmaasta. Kuva Perttu Rantala

Eri aikakausilla käytetyistä rakennusmateriaaleista on myöhemmin havaittu jopa syöpää aiheuttavia ainesosia. Reaktioita epäpuhtauksiin ovat kliinisesti havaittavat sairaudet, lisääntynyt sairastumisriski, psykologinen haitta, oireilu, koettu sisäilman huonous ja koettu altistuminen epäpuhtauksille. Yleisimmät vaikutusmekanismit ovat

ärsytys, toksinen eli myrkytysvaikutus, allergisoiva eli herkistävä vaikutus ja muu immunologinen vaikutus ja muutokset perintötekijässä. (Terveellinen sisäilma 1996, 16–20.)

### 3.2 Rakennuksen korjaustarve

Korjaustarve tarkoittaa, että rakennus on jollakin tapaa tullut pisteeseen, jossa se ei ole enää käyttötarkoituksensa mukainen. Käyttötarkoitus on usein määritelty talon käyttö- ja huolto-ohjeessa. Asunto-osakeyhtiössä se on asumiskäyttö, mutta sen lisäksi voi olla myös muita käyttötarkoituksia kuten katutasen liiketilat.

Rakentamisessa kehitetään jatkuvasti uudenlaisia energiatehokkaita ja halvempia ratkaisuja ja kiireellisissä aikatauluissa laatukin voi kärsiä. Näin on ollut jo kauan ja korjaustarve voikin tulla esiin yllättävänä rakennusvirheenä tai odotettuna peruskorjauksena kun rakennus alkaa olla elinkaarensa päässä. Joskus rakennukselle ei ole enää samanlaista käyttöä kuin rakennusaikana. Myös ylläpitokulujen kasvaminen liian korkeiksi voi olla syy korjaushankkeelle.

#### 3.2.1 Tekninen korjaustarve

Rakennusta käytettäessä sen rakenteet ja talotekniikka ovat jatkuvalla kuormituksella. Rakenteissa eri materiaalit liikkuvat toisiinsa nähden ja materiaalit kuluvat kuormitusten seurauksena. Samoin talotekniikka (LVISA) on jatkuvasti käytössä. Pitkäaikaisen käytön seurauksena talo alkaa vanhentua, kulua ja menettää teknisiä ominaisuuksiaan. Rakenteissa on rakennusaineita ja -osia, joilla on rajattu käyttöikä, kuten vesi- ja viemäriputket, ikkunatiivisteet, sähköjohdot, jne.

Edellisen vuosisadan aikana huonejärjestelyt asuinkerrostaloissa ovat muuttuneet voimakkaasti. Keittiöt ovat muuttuneet palveluskeittiöistä keittokomeroihin, niistä edelleen suurempaan keittiöön ja siitä nykyisin yleiseen olohuone-keittiö yhdistelmään. Samoin kylpyhuoneet ovat aikaisemmin olleet pieniä kun taas nykyisin kaikilla on oma pesukone ja saunat ovat siirtyneet taloyhtiön tiloista huoneistoihin. Kaikilla ei ollut parvekkeita ja harvoin alle neljä kerroksisiin taloihin tehtiin hissejä vielä 80-luvullakaan. Asumistottumukset muuttuvat ja voivat aiheuttaa muutostarpeen myös rakennuksen huonesijoitteluun. Esimerkiksi opiskelija-asunto säätiöt muuttavat solu-

huoneistojaan perheasunnoiksi remonttien yhteydessä, koska kysyntää soluille ei nykyisin juuri ole.

Taloyhtiön yhteisten tilojen käyttö on muutenkin vähäistä. Pyykit kuivataan lähes poikkeuksetta huoneistossa kuivaushuoneen sijaan, minkä seurauksena kosteuskuormat ovat kasvaneet merkittävästi. Tästä seuraa luonnollisesti ilmanvaihdon puutteellinen toiminta, kosteuden tiivistyminen kylmiin pintoihin ja jopa sen valuminen rakenteisiin.

### Terveyshaitta

Tekninen korjaustarve voi esiintyä myös terveyshaittana. Terveystensuojelulain 1§ (19.8.1994/763) mukaan: *”Tämän lain tarkoituksena on väestön ja yksilön terveyden ylläpitäminen ja edistäminen sekä ennalta ehkäistä, vähentää ja poistaa sellaisia elinympäristössä esiintyviä tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa (terveydensuojelu).*

*Tässä laissa tarkoitetaan terveyshaitalla ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä.” [Laki terveydensuojelusta]*

Lain tarkoittama tilanne voi syntyä esimerkiksi ihmisen altistuttua riittävän pitkällä ajanjaksolla huoneilmalle, jossa on mikrobikasvustosta peräisin olevia soluja tai niiden aineenvaihduntatuotteita. Ajanjakson pituutta on mahdoton tarkentaa yksilöllisten erojen vuoksi, mutta nykykäsityksen mukaan terveyshaittaa ei yleensä aiheudu jos mitatut olosuhteet ovat STM tuottaman Asumisterveysohjeen mukaisia.

### 3.2.2 Taloudellinen korjaustarve

Korjaustarve voi olla taloudellinen silloin kun kiinteistönpidon kulut ovat kohonneet kohtuuttomasti jonkin rakenteellisen puutteen vuoksi. Tällainen puute ilmestyy harvoin yhtäkkiä, periaatteessa se onkin joko tekninen korjaustarve tai energiaparannus.

### 3.2.3 Energiataloudellisuus

Uudeksi käsitteeksi on lanseerattu energiaparannus. Nimensä mukaisesti sen on tarkoitus parantaa rakennuksen energiataloudellisuutta. Sellaiseen voidaan päätyä jos rakennuksen käyttömukavuus kärsii huomattavasti energiankulutuksen ollessa korkealla. Yleensä kuitenkin huonosti toimiva rakenne eli joko virheellinen tai rikkonainen rakenne vaatii muitakin korjaustoimenpiteitä, jolloin kyseessä on remontti tai korjaustoimenpide.

Rakennusmateriaalit ovat kehittyneet viime vuosina nopeasti. Nykyisiä materiaaleja käyttäen vanhatkin rakenteet kyllä paranevat, mutta toisaalta rakenteita aukoessa on suositeltavaa muokata ne samalla nykyistä tietoa ja taitoa vastaaviksi.

#### Energiaparannus

Energiaparannus on käytännössä perusparannus, jonka käynnistäjänä on energiatehokkuuden parantaminen. Usein puhutaan perusparannustoimenpiteestä, jossa rakennus tavallaan päivitetään nykyaikaisemmaksi. Tällöin voidaan ajatella ulkovaipan uusimisen ja lämmöntalteenottojärjestelmien asentamisen olevan osa energiaparannusta, mutta talotekniikan uusimisen muuta remonttia. Kokonaisvaltaisessa ja onnistuneessa energiaparannuksessa rakennuksen sisäympäristön laadun ja asumisviihtyvyyden ja -terveellisyyden tulisi parantua huomattavasti.

Rakennuksen energiataloudellisuutta voidaan parantaa myös rakennusosa kerrallaan. Energiaparannustoimenpiteeksi kerrostaloissa voidaan luokitella mm. ikkunoiden vaihto, parvekeovien vaihto, LTO-järjestelmän asennus tai muu pienempi osakokonaisuus, jolla pyritään vaikuttamaan rakennuksen energiankulutukseen.

### 3.3 Nykyinen tutkimusmenettely

Rakennusten kunnan arviointiin on olemassa jo erilaisia tapoja ja niistä syntyneitä käsitteitä. Oletettavasti kaikki erilaiset rakennuksen kuntoa tutkivat ja mittaavat toimenpiteet pyrkivät osoittamaan tyhjentävästi rakennuksen korjaustarpeen. Eli eri menettelyitä vertailtaessa lopputulosten pitäisi olla teoriassa sama tai ainakin samansuuntainen.

### 3.3.1 Kuntoarvio ja kuntotutkimus

Nykyään rakennusten kunnan seuranta perustuu kuntoarvioihin ja niiden pohjalta suoritettuihin kuntotutkimuksiin. Kuntoarvio on aistinvarainen, mahdollisesti teknisiä apuvälineitä käyttävä rakennuksen arviointimalli. Kuntoarvioita voidaan tehdä hyvin eritasoisia, minkä vuoksi ne eivät juuri ole vertailukelpoisia keskenään. Eri kokemuksilla ja ammattituntemuksella tehdyt havainnot voivat olla hyvinkin erilaisia ja jopa vääriä.

Kuntoarvioiden tekeminen on ollut liiketoimintaa jo kauan ja monesti halvimman arviointitehtävien tekijä on vahvoilla kilpailutuksessa. Tällainen kuntoarvio voi olla kuitenkin liian pinnallinen ja siinä voi jäädä tärkeitä havaintoja kokonaan huomioimatta. Asunto-osakeyhtiöllä, joissa ei aina ole rakennusalan asiantuntemusta, voi tietoisuus rakennuksen kunnosta olla täysin kuntoarvion varassa, ja jos se ei ole kattava, voi rakennus päästä jopa asumiskelvottomaan kuntoon kuin huomaamatta.

Kuntotutkimuksia teetetään pääsääntöisesti kuntoarvion perusteella löydetyistä ongelmakohtista. Se on kattava, asiantuntijan tekemä kokeellinen tai muuten perusteellinen selvitys esimerkiksi rakennusosan, kuten parvekekaiteen kunnosta. Kuntotutkimuksia tehdään myös silloin kun rakennus päätetään korjata ja sen rakenteista tarvitaan korjauksen kannalta välttämätöntä tietoa.

### 3.3.2 Energiakatselmus ja –luokitukset

Energiakatselmuksen on tarkoitus täyttää rakennuksen energiatodistuksesta säädetyn lain vaatimukset (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 13.4.2007/487). Kaikilla yli 50 neliötä suuremmilla rakennuksilla tulee olla energiatodistus, mikä kattaa käytännössä kaikki ympärivuotisessa asumiskäytössä olevat rakennukset muutamia poikkeustapauksia lukuun ottamatta.

*“Rakennuksen käyttöön tarvittava energiamäärä on arvioitava luotettavien energian kulutustietojen perusteella tai laskettava menetelmällä, joka ottaa huomioon rakennuksen lämpöominaisuudet, lämmityslaitteet ja lämpimän veden jakelun, ilmanvaihdon ja ilmastointilaitteet sekä muissa kuin asuinrakennuksissa kiinteän valaistusjärjestelmän. Rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnissa on otettava huomioon sisäilmasto-olosuhteet.*



*Rakennusluvan yhteydessä rakennuksen tarvitsema energiamäärä sekä enintään kuuden asunnon asuinrakennuksen tai rakennusryhmän tarvitsema energiamäärä arvioidaan laskentamenetelmällä. Muun rakennuksen tarvitsema energiamäärä arvioidaan luotettavien kulutustietojen perusteella.”(Laki rakennuksen energiatodistuksesta. 13.4.2007/487. 2§).*

Energiatodistus on rakennuksen tiettyyn energiankulutusluokkaan luokittava todistus, mikä mahdollistaa rakennusten energiatehokkuuden vertailun. Sen tarkoitus on olla kattava ja absoluuttinen luokitus, mutta sitäkin on jo onnistuttu väärentämään muuttamalla ilmanvaihtolukuja sisäilmanlaadun kustannuksella.

Energiatodistus muuttuu vuonna 2012. Muutoksella siirrytään kokonaisenergiankulutukseen perustuvaan sääntelyyn ja siinä otetaan huomioon myös energiamuodon vaikutus primäärienergiankulutukseen ja päästöihin. Tasoja parannetaan noin 20 %. (energiatodistus.motiva.fi 2011)

## 4 TUTKIMUKSEN OSA-ALUEET

Opinnäytetyön tavoite on tuottaa energiaparannusten vaikutusten arviointiin kehitetty lomake, joka ottaa huomioon mahdolliset muutokset sisäympäristö- ja ympäristöterveystekijöissä ja pyrkii osoittamaan mahdolliset puutteet mittaustuloksina.

### 4.1 Lähestymisnäkökulma

Tutkimuksen lähtökohta on tuottaa rakennuksen kunnosta puolueetonta tietoa, painottuen energiatehokkuuteen ja asumisterveyteen. Ne liittyvät sisällöllisesti niin vahvasti toisiinsa että lähes samoilla mittaustuloksilla saadaan molempiin riittävät pohjatiedot. Kun ensin pintalämpötiloja ja vuotoilmalukuja tutkimalla voidaan arvioida rakennuksen ulkovaipan energiatehokkuus, samoja lukuja lähestyttäessä asumisterveellisyyden näkökulmasta voidaan tutkia ilmanvaihdon tehokkuutta ja lämpötilojen vaikutuksia asumisviihtyvyyteen. Samoin liian alipaineiset tilat voivat olla merkki liian tehokkaasta poistoilmanvaihdosta tai puutteellisesta korvausilman saannista, mikä viittaa rakenteiden läpi tuleviin päästöihin huoneilmassa. Toisin sanoen mittaustuloksia analysoitaessa on huomioitava kokonaisuus.

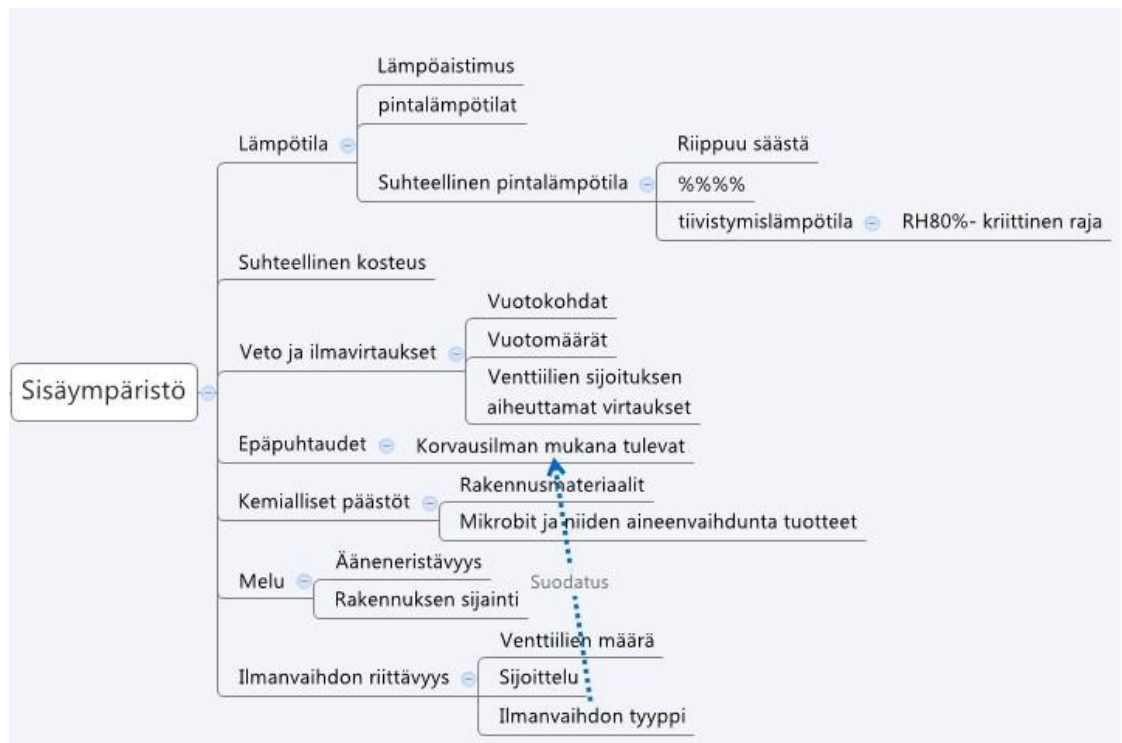
### 4.2 Arviointilomake

Opinnäytetyössä laaditaan myös lomake rakennuksen tutkimuksen toteuttajalle. Lomakkeen on tarkoitus tulla työkaluksi ammattilaiselle huoneiston ja niiden kokonaisuuden energiatehokkuuteen liittyvien asumistekijöiden arviointiin. Lomakkeen on tarkoitus toimia dokumentoinnin välineenä ja sen pitäisi ottaa huomioon myös mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät mittausajankohtana kuten pyykin kuivatus, edeltävä tuuletus, siivous, peseytyminen tai saunominen, sää ja auringonpaisteen suunta, ilmanvaihdon säätötaso jne.

Asukaskyselyihin on olemassa omat kaavakkeensa, mutta kehitettävä lomake voi kuitenkin sisältää asukkaalta kysyttäviä tietoja. Ihmisen astuessa ovesta sisään hän voi haistaa mahdolliset epätavanomaiset tuoksut vain noin 15 sekunnin ajan ennen tottumista. Tämä pitäisi tiedostaa heti huoneistoon mentäessä, mutta siihen kuitenkin vaikuttavat kaikki huoneistossa lähellä mittaushetkeä tehdyt toiminnot.

### 4.3 Mittausinformaation kerääminen

Pelkkä aistinvarainen tieto on liian riippuvainen henkilön kokemuksesta ja tottumuksista. Eri henkilöiden tekemien tulosten vertailukelpoisuus tulee pystyä osoittamaan mitattavien arvojen perusteella. Vertailukelpoiseen mittausdataan voidaan parhaimmillaan kokemuksen avulla lisätä tarkkojakin johtopäätöksiä eri näkökulmien ja rakennustarvikkeiden ja niiden yhdistelmien aiheuttamista päästöistä huoneilmaan. Tämän osion on tarkoitus perustella eri mittauksien ja niihin vaikuttavien tekijöiden yhteistoimintaa ja tarpeellisuutta.



Kuvio 2. Sisäympäristöön vaikuttavat asiat. Kuvio Perttu Rantala

#### Ulkolämpötila-, paine- ja kosteusmittaus

Ulkoilmaa tuodaan sisälle jatkuvasti korvausilmana suomalaisiin rakennuksiin usein suodattamattomana. Esim. rakoventtiilissä sijaitseva pieni suodatin ei kokemusten perusteella ole juurikaan suodattimena toimiva paitsi hyönteisiä vastaan. Rakennukset sijaitsevat omassa ympäristössään, mutta siihen voidaan kuitenkin vaikuttaa rakentamalla oikeanlaisia ratkaisuja. Sisäilmaa tulee aina verrata suhteessa ulkoil-

maan, eli oleellisia arvoja eivät välttämättä ole absoluuttiset arvot vaan ulkoa ja sisältä saatujen arvojen erotus.

Kemialliset epäpuhtaudet siirtyvät huoneilmaan materiaaleista ja niiden läpi. Niitä ei voi kokonaan estää pääsemästä huoneilmaan, mutta niiden syntymiseen voidaan joiltakin osin vaikuttaa. Samoin liian suurella paine-erolla ilma alkaa vuotaa rakenteen läpi ja päästöt voivat kasvaa entisestään.

## Huoneen lämpötilamittaus

Huoneen lämpötilamittaukselle on standardisoitu malli.

*Huoneilman lämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 4 mukaisesti. Operatiivinen lämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 5 mukaisesti pallo-, kuutio- tai ellipsilämpömittarilla. Pintalämpötila mitataan SFS 5511 kohdan 6 mukaisesti infrapunälämpömittarilla tai asianmukaisella pinta-anturilla varustetulla kosketuslämpömittarilla. Mittareita käytettäessä on otettava huomioon käytännön mittaussala. Mitä kauempaa infrapunälämpömittarilla mitataan, sitä suurempaa pinta-alan lähettämää kokonaissäteilyä se mittaa. Tästä seuraa mittaustuloksen keskiarvoistuminen. (Asumisterveys opas. 2009. 2.6.2. Lämpötilan mittaustandardit. STM. sivu 43.)*

## Pintalämpötilamittaus

Pintalämpötilojen vaikutus lämpöaistimukseen on merkittävä. Ihminen aistii lämpösäteilyn herkästi ja voi lämpimässäkin huoneilmassa kokea kylmyyden tunnetta lämpösäteilyn vuoksi. Tämä ilmenee usein myös huonejärjestyksen perusteella, kuten jos olohuoneen ikkunat ovat vanhat, niin sohva tuskin on lähellä sitä. Samoin sängyt ovat usein sijoitettuna sisäseiniä pitkin. Yleisesti jos jokin kohta huoneessa tiedetään kylmäksi, siinä oleskelua vältetään luonnostaan.

Samoin lattian kylmyyteen ja vedon tunteeseen reagoidaan herkästi. Nämä kaikki voidaan mitata vaivatta pintalämpötilamittarilla tai lämpökameralla, mutta arvoja tulee tarkastella suhteessa ulkolämpötilaan ja muihin säätökijöihin (tuulisuus, aurinko).

Pintalämpötilan vaihtelun syitä on vaikea todeta, sillä se voi johtua niin lämmöneristeen paikallisesta huonosta lämmönvastuskertoimesta, kosteasta lämpöeristeestä kuin ilmavuodosta.

## Sisäilman kosteusmittaus

Sisäilman kosteus on monien tekijöiden summa ja se samoin vaikuttaa välillisesti tai välittömästi huonetilassa asuviin henkilöihin ja siinä oleviin tavaroihin sekä ympäröiviin rakenteisiin. Talvella liian suuri kosteuskuorma havaitaan usein kosteuden tiivistymisenä ikkunapintoihin, mutta se voi tiivistyä myös vaarallisempiin paikkoihin kuten ilmanvuotokohtiin rakenteissa (vääränlainen sähkörasia-asennus) tai suurempaan kylmäsiltaan. Tällöin sisäilman kosteus on liian korkealla tasolla suhteessa pintalämpötiloihin, vaikkakaan ikkunaan tiivistyvä kosteus ei suoranainen kosteusvaurioriski ole.

## Aistinvarainen ilmanlaadun toteaminen

Ihmisenä tottuu hyvin nopeasti huoneilman tunkkaisuuteen ja se on sitä vaikeampi havaita, mitä pidempään huoneessa oleskellaan. Huoneilman tunkkaisuutta voidaan arvioida hiilidioksidipitoisuuden mittaamisella esimerkiksi aamuisin, jolloin huoneessa on oleskeltu pitkään yhtäjaksoisesti ja ovia ei ole aukaistu, tällöin mittaustuloksesta voidaan saada arvioitua ilmanvaihdon toimivuus.

Huoneilmaa voidaan myös haistaa asuntoon tullessa. Pitkäksi aikaa pyörimään jäävät tuoksut kielivät myös tehottomasta ilmanvaihdosta. Tästä voi kysyä myös asukkaalle kommentteja, sillä asukas voi huomaamattaan vältellä esimerkiksi voimakas-tuoksuisten ruokien laittamista, jos ne hajut jäävät pitkäksi aikaa huoneistoon.

On myös mahdollista, että hajuja kantautuu tuloilman mukana muista asunnoista. Huoneiston reilu alipaineistus suhteessa rappukäytävään voi synnyttää korvausilma-reitin myös sieltä. Parvekkeella tupakointi voi aiheuttaa hajuhaittaa huoneistoon, jos korvausilma otetaan ulkoseinältä esim. ikkunapuitteesta.

## Ilmanpainemittaus

Sisätilan ilmanpaine tulee saada vertailuarvoksi ulkoilman ilmanpaineelle. Rakennuksen huoneilman tulisi olla pääasiassa alipaineinen ulkoilmaan nähden. Liian suuri alipaine taas voi aiheuttaa esimerkiksi kerrostalossa oven välistä ja postiluukusta tulevana voimakkaana ilmavirtana tai oven raskaana avautumisena.

Taulukko 1. Paine-erojen ohjearvot (Asumisterveysopas, 2009, 64.)

<b>Ilmanvaihtotapa</b>	<b>Paine-ero ulkoilmaan</b>	<b>Paine-ero porrashuoneeseen</b>
Painovoimainen ilmanvaihto	0...-5 Pa	± 0 Pa
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5...-20 Pa	0...-5 Pa
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto tai ilmanvaihtolämmitys	0...-2 Pa	± 0 Pa

### Pienhiukkaspitoisuusmittaus

Pienhiukkasia huoneilmaan tulee sekä huoneen normaali käytöstä että korvausilmasta. Osaa huoneilman epäpuhtauksia voidaan pitää normaalina, mutta kaupunkialueella sisään kantautuu ei-toivottavia päästöjä esimerkiksi liikenteestä. Ne sotkevat sisäilmaa ja voivat aiheuttaa kuivuuden tunnetta limakalvoilla tai muita ärsytysoireita.

### Lämpökamerakuvaus

Lämpökamera toimii tavallaan kehitettynä pintalämpötilamittarina tuottaen samalla värein visualisoidun tuloksen. Sen herkkä asteikko paljastaa rakenteelliset virheet ja lämpövuodot oikein kuvattuna.

Lämpökameran käyttö on parhaimmillaan alle -15 Celsius asteessa talvella. Kun asunto tällöin alipaineistetaan joko erillisin laitteistoin tai rakennuksen omalla järjestelmällä, saadaan selkeää kuvamateriaalia sekä ilman- että lämpövuotokohdista ja niiden suuruudesta.

### Ilmavuotojen paikallistaminen

Ilmanvirtauspaikkoja voidaan tutkia levittämällä epäilyyn vuotoalueen läheisyyteen kevyttä leijailevaa jauhetta tai savua. Sen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä vuotojen suuruuksista, vaikka se ei absoluuttista tulosta annakaan. Se on kuitenkin menetelmänä työläs ja epävarma (vrt. lämpökamerakuvaus).

## Ilmavuotoluku

Mittaamalla rakennuksen tai huoneiston ilmavuotoluku sekä ennen että jälkeen korjaushankkeen, saadaan tietoa rakenteiden tiiviyyden muutoksista. Parhaimmillaan kaikki vuodot on tukittu täysin, mutta mikäli pinnallisesti havaitsematta jääneitä vuotoja on huomattavan paljon, on suositeltavaa tehdä lämpökamerakuvaus tarvittavassa laajuudessa vuotojen löytämiseksi. Jokainen ilmanvuoto kohta aiheuttaa rakenteelle suunnittele mattoman vaikutuksen ja sen ollessa ulkovaipassa se voi aiheuttaa jopa kosteusvaurion. Sisäympäristöön se aiheuttaa hallitsemattoman kohdan, joka voi ilmetä vetona, kylmäsiirtana tms.

## Ilmanvaihdonmittaus

Ilmanvaihdon mittaukseen on olemassa laite, jolla saadaan mitattua varsinkin poistoilmaventtiilin läpi menevä ilmamäärä (litraa/ minuutti). Näiden venttiilien siirtämän ilman summasta voidaan arvioida ilmanvaihdon kokonaismäärä. Vertaamalla arvoja nykyisiin suosituksiin voidaan saada arvokasta tietoa ilmanvaihdon määrästä.

Ilmanvaihdon tehokkuutta voidaan arvioida myös mittaamalla huoneiston hiilidioksidipitoisuutta asumisen erilaisten toimintojen jälkeen ja vertailemalla arvoja. Esimerkiksi verrataan työpäivän jälkeistä arvoa (huoneisto tyhjänä noin 8 tuntia) aamun arvoon (kaikki asujat noin 8 tuntia sisällä yhtäjaksoisesti ilman ovien aukaisua).

### 4.4 Suhteellisen kosteuden muuttaminen absoluuttiseksi kosteudeksi

Sisäilman kosteuskuormaa arvioitaessa ulkoilman suhteellinen kosteus on tärkeässä roolissa. Ulkoilmaa tuodaan jatkuvasti sisälle korvausilmana ja sen vaikutus esimerkiksi pyykkien kuivumisajoihin on merkittävä. Suhteellinen kosteus ei ole absoluuttinen suure vaan se ilmoittaa vesipitoisuuden suhteessa kylläiseen pitoisuuteen. Se on hyvä mittari, mutta kosteuskuormat tulee huomioida absoluuttisena kosteutena, mikä edellyttää ensin suhteellisen kosteuden muuttamista absoluuttiseksi kosteudeksi.

#### 4.5 Esitystavan vaikutus sanomaan

Suuri osa tutkimusta on sen tulosten esittäminen. Useimmiten informaatiota rakennuksesta tarvitsee taho, joka ei itse ole kiinteistönpidon ammattilainen, jolloin pitkän, sanallisen raportin antaminen ei välttämättä tuota toivottavia ratkaisuja rakennuksen terveellisen ja energiatehokkaan käyttämisen kannalta. Yksi kehityskohta olisikin visuaalisen esitystavan luominen niiltä osin kuin se on mahdollista, kuten esimerkiksi pintalämpötilojen sijoittaminen värikoodein rakennuksen inventointimalliin.

Parhaimmillaan raportointitapa houkuttelee lukemaan ja tutustumaan rakennuksen lämpövuotoihin ja käytön aiheuttamiin riskeihin tai vaurioihin. Tällöin asunto-osakeyhtiön hallitus saa nopeasti jonkin asteisen käsityksen rakennuksen kunnosta. Huoneilmasta mitattavia suureita voidaan myös verrata helposti keskenään ja esittää esimerkiksi pohjakuvassa tai 3D-mallissa.

Rakennuksen inventointimallista tai vastaavasta 3D-mallista voidaan muokata erityisesti tähän tarkoitukseen luotu ”Lämpötilamalli” tai kattavammin ”Korjaustarveanalyysimalli”, joka voisi toimia konsultin työkaluna kun hän käy esittelemässä tutkimuksen taloyhtiön korjauksesta päättävälle. Esimerkiksi lämpökamerakuvaus paljastaa oikein käytettynä rakennuksen tiettyjä heikkousalueita.

#### 4.6 Tutkimukseen kerättävä tieto

Mittauksen lähtökohtana tulisi olla rakennuksen terveellisyyden ja energiatehokkuuden arviointi. Mittaajan tulisi pyrkiä arvioimaan niihin vaikuttavia tekijöitä objektiivisesti sortumatta keskittymään johonkin tiettyyn oletettuun vikaan. Suomessa on valtava rakennuskanta, jossa on arvioitu olevan 30 - 50 miljardia korjausvelkaa (Nissinen 2009), joten korjattavaa löytyy kyllä. Korjaustarvetta etsivä kuntotarkastusrakenne on ollut olemassa jo vuosikymmeniä, eikä tämän työn tarkoitus ole tutkia sitä.

Vertailun helpottamiseksi lomakkeessa tulisi olla kohdat ennen ja jälkeen korjaustoimenpiteen mitatuille arvoille.

Kaikkia tietoja kerätessä on otettava huomioon että toiminnot suoritetaan jonkun kotona. Koti on ihmisille yleensä hyvin henkilökohtainen paikka eikä siellä saa tehdä muuta kuin mitä on luvattu tai sovittu. Tuloksia julkaistaessa kaikki kerättävä tieto on



pidettävä siten salassa, ettei siitä voida paikallistaa rakennusta eikä sen asukkaita ellei sitä sovita toisin asianosaisten kanssa.

#### 4.6.1 Rakennuksen tiedot

Rakennuksen tiedot ovat tarpeellisia muiltakin kuin osoitetietojen osalta. Rakennuksen miljöö näyttelee melko merkittävää osaa mittaustulosten arvioinnissa, vaikka mitausvirhettä aiheuttavia tekijöitä kuten tuulta ja auringonpaistetta pitäisi pyrkiä ottamaan huomioon jo mittausvaiheessa. Mittaushetkellä pitäisi pystyä myös osoittamaan mihin ilmansuuntaan huoneiston ulkoseinät osoittavat, esimerkiksi luonnostellun pohjapiirroksen päälle.

Tarvittava tieto:

- Osoitetiedot
- Rakennuksen tiedot
  - Rakennusvuosi, korjaus- ja huoltohistorian pääpiirteet
  - Rakennetyypit, U-arvot
  - Ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmä
- Kerros ja huoneisto, ulkoseinien ilmansuunnat

Rakennuksen runko- ja seinätyypillä ei ole juurikaan vaikutusta itse mittaustilanteeseen, mutta tuloksia arvioidessa on hyvä tietää ulkoseinän rakenne mahdollisia korjaustarpeita analysoitaessa. Erityyppisillä rakenteilla tiedetään olevan kohtia, joissa vaurioitumisriski on korkea. Mittauksen tulisi kuitenkin kattaa koko rakennus, joten sen ei tulisi perustua virheiden tai korjaustarpeen etsimiseen.

Lomakkeen käyttäjä täyttää ensimmäisenä omat yhteystietonsa lomakkeeseen mahdollisia yhteydenottoja varten. Lomakkeen ensimmäinen osa on pääasiassa isännöitsijälomakkeen tiedoilla täytettävissä eikä vaadi erityistä osaamista, mutta isännöitsijälomakkeen tiedot on tarkastettava siinä määrin kuin se on mahdollista.

#### 4.6.2 Mittausajankohdan säätilatiedot

Säätila lienee merkittävin yksittäinen asia, joka väärin huomioituna voi tehdä koko mittauspöytäkirjan turhaksi. Rakennus on säätilan vaikutuksen alainen. Rakennuksen sisälämpötila pyritään pitämään vakiona ulkolämpötilasta riippumatta, mutta ilman-

paine ja taustapitoisuus tulee suhteuttaa ulkoilmaan. Ulkoilman kosteuspitoisuus taas vaikuttaa korvausilman myötä sisätiloihin ja tulee huomioida varsinkin jäähdytyslaitteistoa suunniteltaessa. Tuulen voimakkuus ja suunta voi luoda yli- ja alipaineita eri puolille rakennusta ja aiheuttaa tällä paikallisia ja tilapäisiä ilmavuotoja tai niiden korostumisia. Viisto auringonpaiste taas lämmittää usein lattioita ja aiheuttaa täten mitaepätarkkuutta.

Tarvittava tieto:

- Ilmanpaine
- Lämpötila
- Ilmankosteus
- Pilvisyys ja auringon asema
- Tuulen voimakkuus ja sen suunta

Pilvisyyden ja auringon suunnan voi arvioida ja kirjata ylös mittatietoihin. Tuulen voimakkuuden ja suunnan tarkkuudeksi riittää lähimmän valtakunnallisen mittauspisteen mittaesarvo (ilmatieteenlaitos tms.). Muiden mittaesarvojen tulisi olla paikallisia kohteen lähietäisyydellä mitattuja arvoja. Laitteistosta riippuen sisäilmamittauslaitteisto voi soveltua suoraan myös ulkoilman mittaamiseen.

#### 4.6.3 Huoneiston aistinvarainen arvio

Aistinvaraiseen arvioon ei kannata käyttää liikaa aikaa, mutta ensivaikutelma ja vastaan tulleet poikkeavuudet kannattaa kuitenkin todeta niin tuoksuissa kuin muissakin lisähuomiossa. Aistinvaraisen menetelmän luotettavuus ja vertailtavuus on huono. Sen ei pidä antaa vaikuttaa raportin laatijan objektiivisuuteen. Pääasia on huomioida tavallisuudesta poikkeavat tekijät ja mahdollista kosteuskuormaa lisääviä tai muita mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä.

Tarvittava tieto:

- Ovea aukaistessa ali- tai ylipaineen tuntu/ääni
- Huoneilman tuoksu tai haju (esim. onko sisällä tupakoitu)
- Yleinen siisteys vain jos sillä voi olla vaikutusta hajuun / sisäilman laatuun
- Lemmikit, huonekasvit (jos tavanomaisesta poikkeava määrä)

Aistinvaraista arviota tehdessä tulee kiinnittää huomioita vain havaittaviin asioihin. Esimerkiksi homehavaintoa ei kirjata yhden haistamisen perusteella, koska se on epäily, joka on syntynyt jonkun tuoksun vuoksi. Tässä siis tulee kuvailla hajua mahdollisimman tarkasti, ei sen syitä. Paine-eron tuntu on vaivattomasti havaittavissa kunhan siihen vaan muistaa kiinnittää huomion kun ovi avataan. Muut havainnot on pääasiassa näköhavaintoja ts. helpommin kuvailtavia tai kuvattavia.

#### 4.6.4 Huoneiston mittauspöytäkirja

Huoneiston jokainen huone tulee arvioida omana osanaan. Varsinkin makuuhuoneissa vietetään suuri osa vuorokaudesta ja sen puutteet voivat vaikuttaa yöunen laatuun ja virkeyteen. Vedon tunne voi myös olla hyvin paikallinen, samoin matalat pintalämpötilat. Näihin mittauksiin vaikuttaa erittäin voimakkaasti esimerkiksi auringonpaiste ja kannattaakin suunnitella rakennuksen mittaus niin että auringon vaikutus on minimoitu. Varsinkin kevätaurinko paistaa Suomessa suoraan huoneisiin ja lattioihin, mikä voi pilata muuten hyvät mittaustulokset vertailukelvottomiksi.

Mittaus kannattaa suorittaa tähdäten visuaalisen lopputuloksen luomisen helppouteen. Järjestelmällisyys ja keskittyminen rakennukseen kokonaisuutena auttavat hahmottamaan kokonaiskuvaa jo kohteessa.

Yleisesti voidaan mainita, että sandwich-julkisivuisessa rakennuksissa ilmavuotoja yhtenäisen rakenteen kohdalla ei yleensä ole. Näissä kohteissa kylmäsiltojen vaikutus korostuu. Samoin paikallavalurakenteiset betonirakennukset ovat teoriassa ilmatiiviitä rakenteen osalta.

Tarvittava tieto:

- Ilmanpaine
- Lämpötila jokaisesta huoneesta
- Suhteellinen kosteus
- Pistelämpötilataulukko ulkoseinistä / lämpökamerakuvaus
- Pistelämpötilataulukko lattiasta / lämpökamerakuvaus
- Hiilidioksidipitoisuusmittaus
- Ilmanvaihdon mittaus
- Energiankulutustiedot (erityisesti lämpö, mikäli mahdollista)

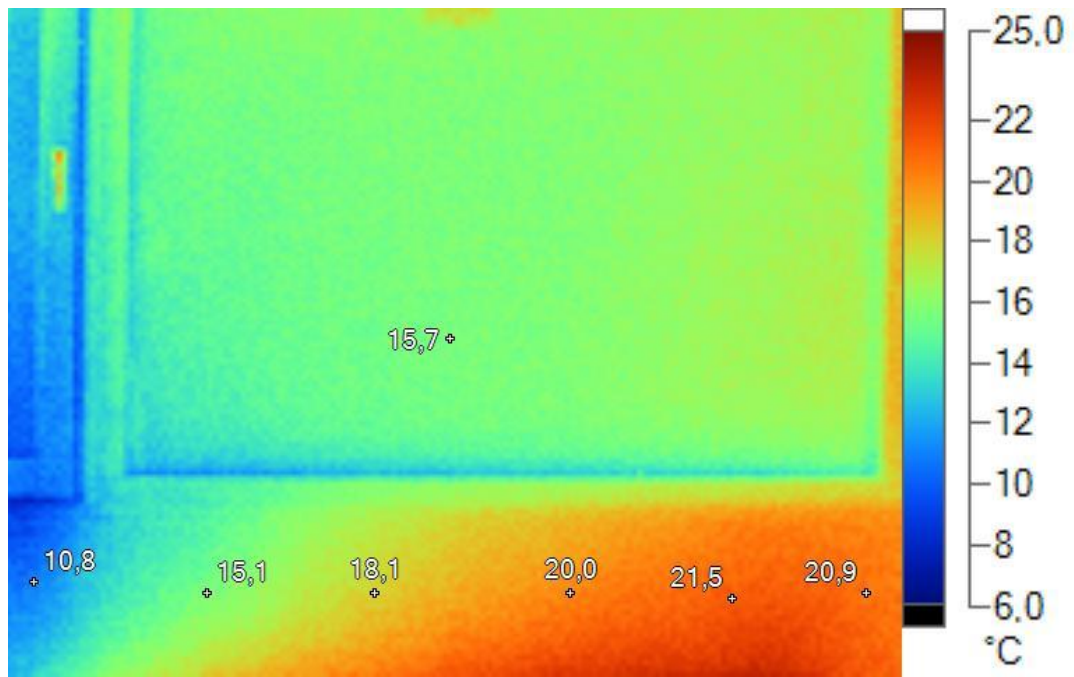
Taustatiedoksi ja vertailua varten tarvitaan:

- Asunnon koko
- Asukkaiden lukumäärä
- Muuta huomioitavaa, kuten mahdolliset vesivahingot tms.

Mittausjärjestelyt kohteessa riippuu käytettävästä mittauslaitteistosta. Tärkeintä on saada jatkuvaa mittausdataa makuuhuoneista ainakin suhteellisesta kosteudesta, lämpötilasta sekä hiilidioksidipitoisuudesta. Ilmanpainetta ei voida mitata jatkuvana, mutta se voidaan mitata mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi laitteistoa asennettaessa ja purkaessa. Ilmanvaihdon mittaamiseen tarvittava laite on yksinkertainen ja sillä voidaan mitata kanavan ilmamäärät. Ilmanvaihtotavasta riippumatta poistokanavat sijaitsevat lähes poikkeuksetta kylpyhuoneessa ja keittiössä.

Lämpökamerakuvaus suositellaan suoritettavaksi vain tarvittaessa. Rakennusta kuvaattaessa se on hyvä työkalu lämpövuotojen paikallistamisessa. Mikäli kuitenkin lämpövuotoja ei ole paljon tai niiden mahdollisuus on voitu poissulkea teoreettisesti, ei lämpökamera kuvausta välttämättä ole tarpeen suorittaa. Lämpökameran käyttöön tulisi tutustua ja sen tekniikka on hyvä tuntea, sillä erilaiset pinnat heijastavat lämpösäteilyä eri tavoin. Esimerkiksi kromattu postiluukku voi heijastaa mittaustuloksiin mittaajan lämpöä eikä anna lainkaan tietoa oikeasta pintalämpötilasta.

Huoneiston tai rakennuksen ilmatiiveyttä voidaan mitata tarvittaessa kokonaisuutena ilmatiiveysmittausjärjestelmällä. Sen tuloksella voidaan osoittaa, kuinka ilmatiivis rakennus tai huoneisto kokonaisuudessaan on. Lämpökamerakuvaus on paras suorittaa tämän kokeen aikana.



Kuva 1. Lämpökamerakuva testikohteesta Kuopiossa. Kuvassa nähdään tuuletusikkunan käytön vaikutuksia pintalämpötiloihin alapuolisen konvektorin lämmittäessä yhtäjaksoisesti. Kuvan vieressä oleva asteikko näyttää kuvan alueella olevan ylimmän ja alimman lämpötilan. Kuva Perttu Rantala

#### 4.7 Tarkastuslomakkeen tulosten tulkinta ja esitys

Merkittävä osa rakennuksen arvioinnista on tutkimuksen tulosten esitys rakennuksen omistajalle. Omistaja on viime kädessä se hankinnoista vastaava taho, joka on ollut tutkimustiedon tarpeessa tilatessaan tutkimusta rakennukselle. Tehtyjen tutkimusten perusteella tehdään tarveselvitys, joka on rakennushankkeen ensimmäinen vaihe ennen suunnittelun aloittamista. Tämän vuoksi tulosten esitys pitäisi tuottaa mahdollisimman nopeasti luettavaksi ja kerralla ymmärrettävään muotoon. Tämä tarkoittaa taulukoiden esittämistä kuvaajina, vuotojen esittämistä kuvista sanallisten selityksien sijaan ja muutenkin on pyrittävä havaintoja korostavaan esitystapaan. Ongelmia ei tarvitse suurentaa, vaan ne voi esittää poikkeuksina normaalitoiminnasta. Tästä lämpökamerakuva on hyvä esimerkki: lämpökamera osoittaa lämpötilat värein suhteuttuen väriskaalan kuvausalueelleen, näin se korostaa pienetkin lämpötilaerot toisistaan, vaikkei varsinaista riskiä kuvausalueella olisikaan.

#### 4.7.1 Hiilidioksidipitoisuus

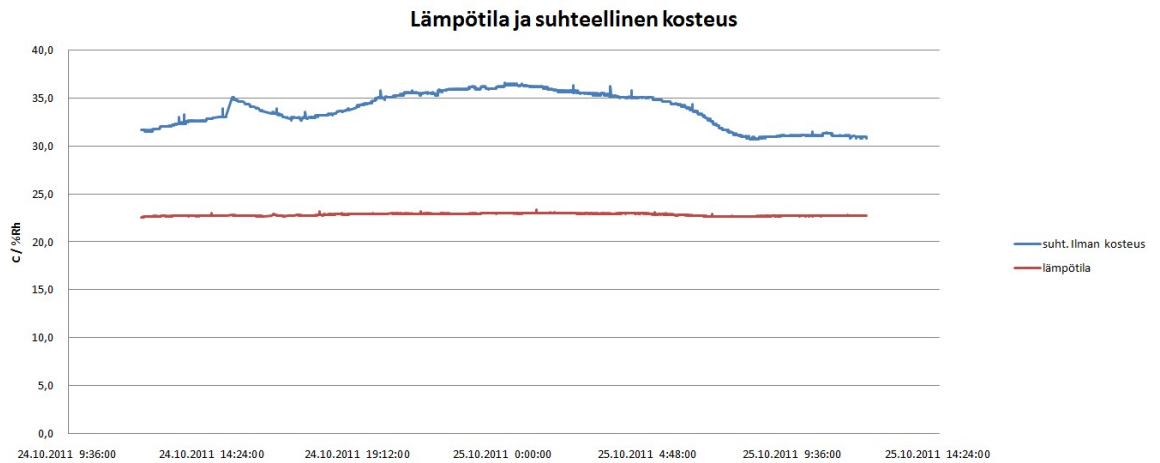
Hiilidioksidipitoisuus on tärkein yksittäinen suure ilmanvaihdon riittävyden arviointiin. Sen arvo ppm ( $\text{cm}^3/\text{m}^3$ ) osoittaa hiilidioksidin määrän tilavuutta kohden. Hiilidioksidi on nopeasti sisäilmaan tasoittuva kaasu, minkä vuoksi sen pitoisuutta voidaan pitää luotettavana suureena. Arvioitaessa sisäilman laatua on otettava huomioon myös korvausilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuus tai ulkoilman taustapitoisuus, joka on keskimäärin 350 ppm. (Sisäilmayhdistys.)

Jos hiilidioksidipitoisuus pääsee nousemaan liian korkeaksi, sen voi havaita tunkkaisuuden tunteesta, sekä mahdollisesti myös väsymyksestä, päänsärystä ja näiden seurauksesta virkeyden alenemisesta. Hyvin korkea hiilidioksidipitoisuus vaikuttaa myös ihmisen hengityskeskukseen ja hengitys kiihtyy - tällöin tunne on kuin ilma loppuisi. (Sisäilmayhdistys.) On kuitenkin huomattava että sisätiloissa normaalisti esiintyvät korkeatkaan pitoisuudet eivät ole terveyshaitta sinänsä vaan kuvastavat puutteellista ilmanvaihtoa.

Sisäilmayhdistys on julkaissut sisäilman raja-arvoja. Sisäilmastoluokituksen mukaiset arvot hiilidioksidipitoisuuden osalta ovat: S1 700 ppm, S2 900 ppm ja S3 1200 ppm. Hiilidioksidipitoisuutta käytetään myös ilmanvaihdon säädön mitoitusperusteena jolloin säätöarvona pidetään 800 ppm pitoisuutta.(Sisäilmayhdistys)

#### 4.7.2 Lämpötila ja suhteellinen kosteus

Lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat riippuvaisia toisistaan kohdassa 3.1.1 esitetyistä syistä. Lämpötilan äkillinen nousu absoluuttisen vesipitoisuuden pysyessä samana näkyy suhteellisen kosteuden arvossa äkillisenä laskuna. Ihminen aistii ilmasta vain suhteellisen kosteuden ja edellä mainittu tilanne tuntuu kuivuutena limakalvoilla, esimerkiksi nenässä ja silmissä.



Kuvio 3. Lämpötila ja suhteellinen kosteus kuvaajassa

Ylläolevassa esimerkissä lämpötila on pysynyt suhteellisen vakaana suhteellisen kosteuden vaihteluvälin ollessa noin kuusi prosenttia (30,5 % - 36,5 %). Rakennetta varten ilman tulisi olla mahdollisimman kuivaa kun taas ihmiselle parempi olisi noin Rh60 %. Testikohteessa ilman kosteuspitoisuus voi siis jo tuntua kuivalta. Tulkinnassa tulee ottaa huomioon voimakkaat nousut tai laskut lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa. Lämpötilan voimakas vaihtelu voi kertoa kasvaneesta tuuletustarpeesta tai olla viite liian kylmästä korvausilmasta, jos piikit ajoittuvat ilmanvaihdon tehostuksen ajankohtiin. Suhteellisen kosteuden arvo heilahtelee lämpötilan mukana, mutta jos suhteellisen kosteuden arvo kasvaa liian korkealle se viittaa suoraan puutteelliseen ilmanvaihtoon.

#### 4.7.3 Ilmatiiveysmittaus

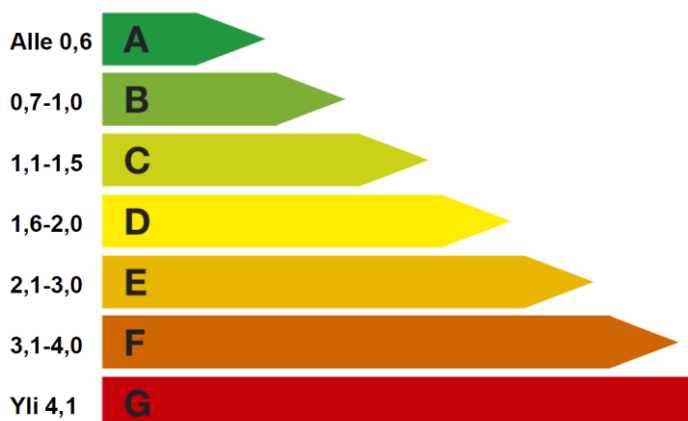
Ilmantiiveysmittauksessa arvona käytetään ilmanvuotolukua n50. Se kuvastaa kuinka monta kertaa rakennuksen tilavuus vaihtuu tunnissa 50 Pascalin alipaineessa. Täten mitä pienempi arvo saadaan, sitä tiiviimpi on rakennus. (Merak Rakennustutkimus)

Taulukko 2. Tyypillisiä ilmanvuotolukuja n50. (Merak Rakennustutkimus). Lupa taulukon käyttöön saatu

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n50-luvut 1/h	
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomioita sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erityistarkastus)	Pientalo	1...3
		Asuinkerrostalo	0,5...1,5
		Toimistorakennus	0,5...1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa.	Pientalo	3...5
		Asuinkerrostalo	1,5...3
		Toimistorakennus	1,5...3
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa.	Pientalo	5...10
		Asuinkerrostalo	3...7
		Toimistorakennus	3...7

Rakennuksen ilmatiiveysmittaus luokitellaan seuraavan asteikon (kuvio 4) mukaisesti. Yleisesti käytössä olevan luokituksen perusteella rakennuksia voidaan arvioida ja vertailla vuotoluvun perusteella ja yhtäaikaisesti tehdyllä lämpökamerakuvauksella voidaan paikantaa vuotopaikat luotettavasti.

#### TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS



Kuvio 4. Tiiviysmittausluokitus (Merak Rakennustutkimus). Lupa kuvion käyttöön saatu



#### 4.8 Oletukset

On odotettavaa, että yhteisiä tekijöitä eri mitattavien suureiden välillä löytyy. Asumisterveys koostuu useasta eri tekijästä, jonka puutteet voivat olla seurausta niin rakennusvirheistä, käyttö- tai huoltovirheistä kuin laiminlyönneistäkin. Rakennuksen ylläpito vaatii jatkuvaa seurantaa ja jonkin verran ammattitaitoa ja-tietoa. Rakennuksen varustusta tulisi päivittää ja uudistaa käytön muuttuessa ja energiatehokkuutta tarkasteltaessa varustuksen olisi tärkeää olla kohtuullisen nykyistä tekniikkaa.

Puutteiden korjaamisen laiminlyönnillä on vaikutus sisäympäristön laatuun. Lomakkeen kokeileminen jo korjauspäätöksen saaneisiin kohteisiin tuottaa tietoa lomakkeen käyttökelpoisuudesta varsinkin jos tehtyjä kuntoarvioita ja -tutkimuksia voidaan vertailla lomakkeen johtopäätöksiin.

#### Pintalämpötilojen mittaus

Pintalämpötilamittaus pistelämpötiloina on kohtuuttoman isotöinen ja epätarkka menetelmä, jota ei suositella käytettäväksi lainkaan. Lämpökamerat ovat käytettävyydeltään ja raportointiominaisuuksiltaan jo ylivertaisia. Niiden avulla voidaan mitata tuhansia pistelämpötiloja yhdessä kuvassa ja näyttää tulos visuaalisesti. Asianmukaista laitteistoa käytettäessä työmäärä vähenee ja kohdeasunnossa vietetty aika vähenee.

#### Vedon tunne ja pinta-lämpötilat

Veto tai vedontunne vaikuttavat voimakkaasti asumisviihtyvyyteen. Eri henkilöillä on hyvin erilainen havaitsemiskynnys ja siksi vedon syy pitäisikin aina löytää mittaustuloksia analysoimalla.

Veto aiheutuu usein joko korvausilmareitistä tai muusta paikallisesti suuresta ilma-  
vuodosta. Suuret ikkunapinnat tai vastaavat suuremmat alhaiset pintalämpötilat voivat osaltaan aiheuttaa vedontunnetta. Näillä on yhteistä se, että ilma on viileämpää kuin muissa osissa huonetta. Muulla tavoin havaittavat vedontunteet tuntuvat myös viileiltä, mutta sitä ei voida havaita lämpötilan muutoksena. Tällaisia ovat kohonnut ilman suhteellinen kosteus, joka saa ilman tuntumaan kylmemmältä sen suuremman vesisisällön vuoksi, tai liian suuri sisäilman virtausnopeus.

## 5 LOMAKKEEN TESTAUS

Työssä toteutettiin työn osana kehitetyn arviointilomakkeen koekäyttö. Koekäytön tarkoituksena oli kokeilla lomakkeen tietojen keräämistä ja raportointia. Valtavalla määrällä mittausdataa ei ole mitään tarkoitusta, jollei sen analysointiin ja käsittelyyn ole esitystapaa. Tämän vuoksi oli tarkoituksenmukaista ideoida myös sellaisen luomista. Tulosten esitystapa ja luettavuus on kuitenkin luotettavan tutkimuksen tulos; hyvänkin tutkimuksen painoarvoa voi pudottaa sen huono luettavuus.

Koekäyttö suoritettiin yhtäaikaaisesti Itä-Suomen yliopiston Ympäristöinformatiikan laitoksen anturiasennuksen yhteydessä INSULAVO-kohteessa. Kohde on vuokratalo Kuopiossa. Kohde sisältää useita kolmekerroksisia luhtitaloja, jossa kaikki huoneistot ovat läpitalon-huoneistoja. Mittaukset tehtiin päätyasunnossa, jossa päästiin mittamaan myös ulkonurkkien vaikutusta sisäympäristöön.

### Mittalaitteet

Tutkimuksia varten oli käytössä sisäilman mittauslaitte TSI IAQ-CALC 7545. Lisäksi käytössä oli Fluke Ti9 – lämpökamera. Ilmanpaine-eron mittaukseen oli käytettävissä TSI.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Sisäilmatutkimuksia tehdessä on tärkeää ottaa huomioon kaikki mittaukseen vaikuttavat tekijät. Lomakkeen keräämät tiedot sisäilmasta mahdollistavat huoneiston arvioinnin, mutta kertakäynnillä muuttuvia tekijöitä on liikaa. Nimenomaan sisäilman arvot muuttuvat hyvin nopeasti jo mittaajan tullessa huoneistoon ja esimerkiksi jos mittaajia on useampia niin jo se voi muuttaa hiilidioksidiarvoja. Sisäilmamittauksissa (hiilidioksidipitoisuus, lämpötila ja suhteellinen kosteus) merkittävintä on saada selville normaali asumisen kuormitus. Tämä voidaan toteuttaa suorittamalla sisäilmamittaus vähintään kolmen vuorokauden kestoisena jatkuvana mittauksena. Paine-ero ja epäpuhtaudet olisi myös hyvä pystyä mittaamaan mahdollisuuksien mukaan jatkuvana.

Lämpökamerakuvauksen, niin erinomainen menetelmä kun se onkin, järkevyyttä joutuu pohtimaan siitä syystä, että sen käyttöaika on vain pari kuukautta vuodessa. Sen vuoksi siitä ei kannattane tehdä mittauksen vakiokalustoa.

Menetelmästä on pyritty laatimaan mahdollisimman kevytsuoritteinen, että sen voisi tehdä pienin laitteistoin. Johtoajatuksena oli tähtäys vaivattomaan ja luotettavaan analyysiin, jonka lopputulos on helppoymmärtää. Tällöin sen luettavuus on parempi ja mahdollisesti asumisterveyttä huonontavat tekijät voidaan selvästi esittää mahdollisimman suurelle osalle asianosaisia.

### 6.1 Lopputulosten analysointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda menetelmä energiaparannusten vaikutusten arviointiin. Opinnäytetyössä ei pyritty tutkimaan tiettyä kohdetta, vaan kehittää menetelmää asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantamisen vaikutusten arviointiin, huomioiden sisäympäristön laatuun ja asumisterveyteen liittyvät tekijät. Tässä osiossa tuloksia käsitellään menetelmän kehittämisen näkökulmasta. Samoin koemittauksen / lomakkeen analysointi on osa tulosta. Menetelmän pitäisi soveltua arviointiin sekä ennen että jälkeen korjaustoimenpiteen.

### 6.1.1 Mittaukseen vaikuttaneet tekijät

Lämpökamerakuvauksen ohjekirjoissa painotetaan, että lämpötilaero tutkittavan rakenteen eri puolilla on avaintekijä mittausajankohdan valinnassa. Tässä koekäytössä ei ollut aikataulullisesti mahdollista suorittaa lämpökamerakuvausta suositellussa alle -15 asteen lämpötilassa. Lämpötilaero oli mittaushetkellä vain noin 15 astetta.

Ilmavuotojen paikallistamiseen tarvitaan huomattava paine-ero. Kohdeasunnossa ilmanvaihdon kiinteistökohtainen tehostin ei ollut päällä, mistä johtuen alipainetta ei juuri ollut. Ottaen huomioon lomakkeen toivotun käyttötavan, eli mahdollisimman vähällä häiriöllä ja ajalla toteutettu mittauskäynti, ei erillisen alipaineistajan tuominen asuntoon vaikuttanut realistiselta.

Sisäilman laatua mitattaessa on otettava huomioon asunnon käyttö. Tämä lienee ongelmana aina mittausta tehtäessä, koska ihmiset haluavat raikastaa sisäilmaa ennenkuin päästävät vieraita kotiinsa. Tällöin jo lähtökohtaisesti esimerkiksi hiilidioksidiarvot eivät ole tuloksena vertailukelpoisia.

Mittausajankohta valittiin mahdollisimman aikaiseksi eli kello 8.00, että yön aiheuttamat mahdolliset pitoisuuksien nousut näkyisivät tuloksissa. Asian huomioon ottamisesta huolimatta huoneiston tunkkaisuutta ei päästy havaitsemaan, koska asukas oli jo tuulettanut huoneiston. Muun ajankohdan valinta vuorokaudesta taas aiheuttaa joko asukkaalle ei-toivottua häiriötä tai antaa jo lähtökohtaisesti arvoja, joita ei voida verrata keskenään. Vaikuttaa siltä, että ilman jatkuvaa seurantaa luotettavaa tietoa asunnon ilmanlaadusta ei voida määrittellä.

### 6.1.2 Mittaustulos

Koekäytössä oli havaittavissa useita mittaukseen vaikuttavia epätarkkuustekijöitä, jotka vaikuttavat olennaisesti menetelmän kehittämiseen ja lomakkeen sisältöön.

Ensimmäisenä havaintona oli, että esimerkiksi hiilidioksidiarvoja ei voida mitata kertakäynnillä aikaisemmin mainituista syistä. Samoin huoneiston lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaaminen kertakäynnillä ei anna luotettavaa arviota huoneiston lämpöolosuhteista. Paine-eron mittaaminen yksittäisenä suurena taas voi antaa suuntaa arviolle, mutta luotettavasta arviosta ei voi siinäkään puhua. Ilmanvaihtojärjestelmän mittauksessa tarkoituksena on poistuvan ilman tilavuuden mittaus, sen

mittaamiseen ei kuitenkaan ollut käytettävissä mittalaitetta koekäytöllä. Samoin epäpuhtauksia ei saatavilla olleella välineistöllä ollut mahdollisuutta mitata.

Lämpökamerakuvaus on virheiden ja vuotojen etsimiseen erinomainen menetelmä. Pintalämpötilojen arviointi on toteutettava talvikuukausina pakkasjaksolla, mikä lyhentää lämpökameran käyttöajan. Lämpökamerakuvausta voidaan käyttää tarvittaessa tehokkaasti apuvälineenä, mutta sen varaan ei voi jäädä mainitusta syystä.

### 6.1.3 Suositeltu tutkimusmenettely

#### Ennen parannushanketta tehtävä tutkimus

Koekäytöstä saadun kokemuksen perusteella mittauskäynnistä on suositeltavaa tehdä kaksivaiheinen: ensimmäinen vaihe on mittautiedon kerääminen ja käsittely, toisessa vaiheessa tehdään kohdekäynti havaittujen puutteiden selvittämiseksi.

Ensimmäisessä eli mittautiedon keräysvaiheessa mittautietoa tulisi kerätä jatkuvana. Tarvittavat tiedot ovat jo aikaisemmin mainitut lämpötila, suhteellinen kosteus, hiilidioksidipitoisuus ja paine-ero. Paine-ero on mielenkiintoinen vertailusuure, jolla voitaisiin tutkia tuuletusaikoja ja koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän käyntiaikojen vaikutusta kaikkiin arvoihin. Käsittelyllä tarkoitetaan tässä yhteydessä mittautulosten esittämistavan valmistelua, esimerkiksi yksinkertaista viivadiagrammia, jonka taustaan väritetään sisäilmaohjeen mukaiset raja-arvot. Vuorokaudenaika-arvo koordinaatistosta näkisi tällöin vaivatta milloin arvot mahdollisesti ylittävät raja-arvot ja kuinka ne ovat suhteessa toisiinsa.

Toisessa vaiheessa voidaan käydä kohteessa ja selvittää ensimmäisen vaiheen perusteella tarvittavia yksityiskohtia. Tällaisia voivat mm. olla syy ylisuureen paineeroon (esim. suljetut korvausilmareitit koneellisen poistojärjestelmän taloissa) tai epäpuhtauksien mittaus jos alipainetta ei millään synny (suodattamattoman korvausilman määrän arvioinnin vuoksi). Talvikuukausina lämpökamerakuvaus voi olla hyvä suorittaa jo ilman varsinaista syytä.

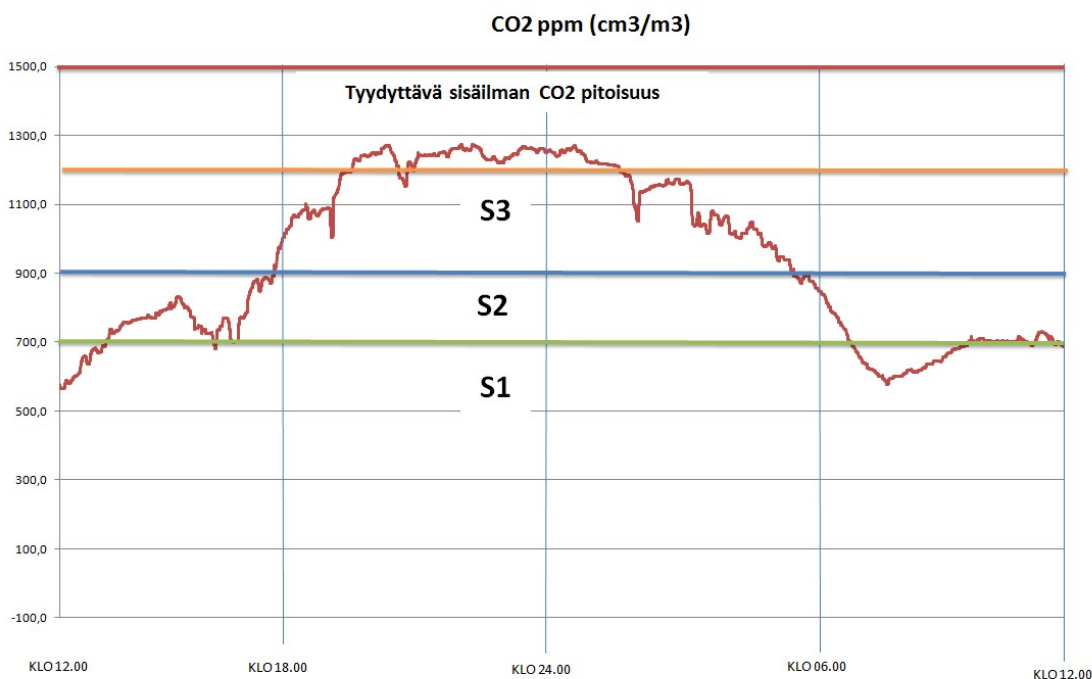
Lisää kattavuutta energiatehokkuuden arviointiin antaa lämmityksen ja sähkön kulutustiedot. Seinärakenteiden lämmöneristävyttä voidaan arvioida teoreettisestikin, jos kulutustietoja ei ole saatavilla.

## Parannushankkeen jälkeen tehtävä tutkimus

Parannushankkeen jälkeen on tarkoitus saada laadukasta tietoa ennen ko. hanketta kerätyille vertailuarvoille. Näin ollen mitään uusia mittauksia ei vertailumielessä ole mielekäästä lisätä. Jos ensimmäinen mittauskäynti on käynnistämässä parannushanketta, sen tulokset täytyy säilyttää vertailuarvoina, jotta hankkeen onnistumista voidaan arvioida.

Mittaussuureille on annettu ohjearvoja. Sisäilmayhdistys on julkaissut verkkosivuilleen nykyisten normien mukaiset ohjearvot, joista tässä tarvitaan hiilidioksidipitoisuuden ohjearvoja.

Esimerkkinä toimiva todellisen mittaustuloksen kuvaaja 3 esittää huoneiston hiilidioksidipitoisuutta vuorokauden ajalta. Kuvaajassa on nähtävissä huoneiston käytön aiheuttama hiilidioksidikuorma. Kyseessä olevassa kiinteistössä on painovoimainen ilmanvaihto, jota tehostetaan koneellisesti kello 6.30 - 8.00, 10.30-12.00 ja 15.00 – 18.00. Kuvaajasta voidaan löytää illan tehostuksen alkuhetki kello 15.00 ja aamun tehostuksen loppuhetki kello 8.00.



Kaavio 3. Hiilidioksidipitoisuuden mittausarvoja kuopiolaisesta kerrostalosta. Kaavioon esitetty Sisäilmayhdistyksen ohjearvot.

Kuvaajalla voidaan osoittaa mittaustulokset suhteessa johonkin. Ensimmäisellä mitauskerralla on tarkoituksena suhteuttaa hiilidioksidiarvot kansallisiin ohjearvoihin ja korjauksen jälkeen kuvaajassa voidaan näyttää vertailuarvoina vanhaa kuvaajaa sekä tavoitepitoisuutta.

Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvojen olisi hyvä pysyä melko vakaana. Pieni eläminen on luonnollisesti normaalia. Mikäli arvot nousevat tai laskevat huomattavasti, on syytä epäillä joko käyttövirhettä tai kaluste/varusterikkoa. Energiaparannustöiden jälkeen on tarkoituksenmukaista, että mitatut lämpöolosuhdearvot osoittavat lämmitysjärjestelmän säätöjen olevan kohdallaan, jos vaikka ennen parannuksia niissä onkin havaittu puutteita.

Ilmanvuotolukua arvioitaessa voidaan käyttää

Taulukko 2:ssä olevia lukuarvoja. Yhtä aikaa mahdollisesti tehtävän lämpökamerakuvausten kuvia kannattaa tulkita valmistajan toimittamalla ohjelmalla, tällöin kuvista saadaan paras mahdollinen hyöty käyttöön.

## 7 POHDINTA

Tilaaajan antama lähtökohta oli saada käyttöön lomake, jolla voidaan tehdä ennen – jälkeen analyysiä korjausrakennuskohteissa. Painopistealueena oli energiaparannusten vaikutusten arviointi.

Lomake ei vielä ensimmäisessä koekäytössä ollut valmis käyttöönotettavaksi. Siitä kehitettiin opinnäytetyössä havaittujen kehityskohtien perusteella toinen versio, jota ei kuitenkaan kokeiltu käytännössä. Koekäytön perusteella voitiin päätellä, että yhdellä kohdekäynnillä ilman jatkuvaa mittausseurantaa on erittäin vaikea tehdä luotettavaa ammattimaista arviota tilanteesta ennen korjauksia tai korjauksien jälkeen. Opinnäytetyö antoi selvän suunnan lomakkeen kehittämiseksi ja tärkeää pohjatietoa sen sisällykselle.

Parhaimmillaan tämän työn avulla kehitetty menetelmä tulee palvelemaan terveellisemmän energiaparannushankkeen suunnittelun toteutusta. Työ on kokonaisuutena vielä kesken, mutta kattava taustatyö luo pohjan jatkokehitykselle. Laajempaan käyttöön soveltuvana pohjatyönä tämä voi palvella yleisemminkin. Laaja lähtötilanne antaa mahdollisuuden kehittää tästä omaan käyttöön tarkennetun mallin.

Opinnäytetyön teoriaosuuteen on lyhennetty laajahko kirjallisuusmateriaali. Rakennuksen ja rakenteiden ymmärtäminen on paljon rakennusfysiikan ymmärtämistä. Rakennusalan puolestapuhujana haluaisin, että mahdollisimman moni ymmärtäisi syvemmin rakennuksen vaipan toimintaperiaatteet sen käytön tehostamiseksi ja kehittämiseksi. Kiinteistönpito vaatii myös tämän asian ymmärtämistä ja on toivottavaa, että mahdollisimman moni haluaisi syventyä teoriaosuuden yksinkertaistettuun ja lyhennettyyn rakennusfysiikan oppituntiin. Viitteet lähteisiin antavat toisaalta mahdollisuuden perehtyä aiheeseen vielä syvällisemmin ilman kohtuutonta vaivannäköä.

Rakennesuunnittelun suuntauksen koulussa valinneena rakenteiden fysiikkaa olen opiskellut vain yhden kurssin. Korjausrakentamisen oppitunneilla home- ja mikrobi-



vaurioihin on viitattu ja niihin liittyviä tekijöitä on käyty läpi, mutta sisäilma-ammattilaiseksi ei sillä tietomäärällä vielä edetä. Sisäilmatietokeskuksen ja Ympäristö- ja Terveyslehden tuottaman materiaalin avulla perehdyin ko. asioihin syvemmin.

Rakennusfysiikka on kuitenkin pääasiassa loogista ja osittain yleisluonteista tietoa. Sen ymmärtäminen ei ole liian vaikeaa, vaikka toisiinsa vaikuttavia asioita on paljon. Siitä huolimatta ei näitä asioita välttämättä mieti, ellei se ole jotenkin ajankohtaista. Opinnäytetyöprosessin aikana aloin itsekkin tekemään erilaisia päättelyketjuja ja johdtopäätöksiä, joiden perusteella olen etsinyt lisätietoa. Työn painopiste on sujuvasti muuttunut koko prosessin ajan, lopputavoitteen kuitenkin pysyessä samana. Joka tapauksessa olen oppinut erittäin paljon viimeisen vuoden aikana rakenteiden fysiikasta ja eri osa-alueiden vaikutuksista toisiinsa.

## LÄHTEET

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakennustieto.

Energiatodistus. Ympäristöministeriö. 2011. [viitattu 11.3.2011] Saatavissa: [www.ymparisto.fi/energiatodistus](http://www.ymparisto.fi/energiatodistus)

Energiatodistusopas 2007 Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. Ympäristöministeriö. 2007. [viitattu 11.3.2011] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=105735&lan=fi>

Haakana, M. 2011. Tulevat energiamääräykset ja energiatodistukset 2012 Energiatodistusten seurantajärjestelmä nyt ja tulevaisuudessa. Ympäristöministeriö. [viitattu 11.4.2011] Saatavissa: <http://www.energiatodistus.motiva.fi>

INSULAVO, 2011. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen Itä-Suomessa. [Viitattu 7.2.2011] Saatavissa: [www.thl.fi/insulavo](http://www.thl.fi/insulavo)

Laki terveydensuojelusta (19.8.1994/763). [viitattu 16.2.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 14.3.2007/487. [viitattu 7.2.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070487>

MERAK Rakennustutkimus Oy verkkosivusto, 2011. [viitattu 1.12.2011] Saatavissa: <http://www.merak.fi/Rakennuksen-ilmatiiveysmittaus.php>

Nissinen, J. 2009. Korjausvelka kuntoon. Rakentajalehti [verkoartikkeli] 2009, nro 8. [viitattu 17.11.2011] Saatavissa: [http://www.rakennusliitto.fi/rakentajalehti/rakentaja\\_nro\\_8\\_7\\_5\\_2009/korjausvelka\\_kuntoon/](http://www.rakennusliitto.fi/rakentajalehti/rakentaja_nro_8_7_5_2009/korjausvelka_kuntoon/)

Paloniitty, S. 2004. Rakennuksen lämpökuvaus. Saarijärvi: Hämeen ammattikorkeakoulu.

Puhakka, E. Bäck, B. Kalso, S. Vahnen, R. Viitanen, H. Arvela, H. Voutilainen, A. Ruotsalainen, R. Koukila-Kähkölä, P. Sarekoski, K. Kärkkäinen, J. 1996. Terveellinen sisäilma. Helsinki: Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy.

Sisäilmayhdistys, Terveelliset tilat, Sisäilmasto, Kemialliset epäpuhtaudet. [viitattu 29.11.2011] Saatavissa: [http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto/kemialliset\\_epapuhtaudet/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/kemialliset_epapuhtaudet/)

Taloyhtiö.net, Peruskorjaus ja remontointi, Kuntoarvio ja PTS [viitattu 7.12.2011]. Saatavissa: <http://www.taloyhtio.net/korjausjaremontointi/>

THL verkkosivusto, 2011. [viitattu 7.2.2011] Saatavissa: <http://www.thl.fi>

Välikylä, T. 2009. Asumisterveysopas. Vaasa: Ympäristö ja Terveys-lehti.

## TAUSTA-AINEISTO

Kallinen, Mikko. 2011. Vahinkokartoittaja, ISS Proko Oy. Syksy 2011. Suullinen tiedonanto.

Koivisto, J. Jääskeläinen, E. Nevalainen, A. Husman, T. Meklin, T. Vahteristo, M. Heiskala, S. Forss, P. Turpeinen, J. Röning-Jokinen, I. 1996. Asuinkerrostalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio: Kuopion yliopiston painatuskeskus.

Niskanen, Martti. 2011. Testausinsinööri, Savonia-ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2011. Suullinen tiedonanto.

Puhakka, E. Kärkkäinen, J. 1994. Rakentamisen tavoitteena puhdas sisäilma. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Savolainen, Tapani. 2011. Testausinsinööri, Savonia-ammattikorkeakoulu. 30.9.2011. Suullinen tiedonanto.

Seuri, M.; Reiman, M. 1996. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Vahteristo, M. Räsänen, J. Husman, T. Hyvärinen, A. Nevalainen, A. 1996. Kosteusvauriot ja asukkaiden terveys kahdessa kerrostaloyhtiössä. Kuopio: Kuopion yliopiston painatuskeskus.



### ASUINKERROSTALON ARVIOINTILOMAKE

Tähän osaan kerätään perustiedot rakennuksesta ja säästä.

	1. käynti	2.käynti
	pvm.	pvm.
Täyttäjät:		täytä vain muuttuneilta osin
Nimi:		
Yritys:		
Puhelin:		

#### 1. OSOITETIEDOT

Osoite	
Kaupunginosa	
Kaupunki	

#### 2. SÄÄTILA

Lämpötila	
Ilmankosteus %Rh	
Ilmanpaine	
Tuuli ja sen suunta	
Sääkuvaus	

#### 3. KOHDE-ERITTELY

Kerrosluku	
Asuntojen lkm.	
Rakennusvuosi	
Korjaushistoria	

##### Rakennustyyppi

Kerrostalo	
Rivitalo	
Luhtitalo	

##### Ilmanvaihtotyyppi

Painovoimainen	
Koneellinen poisto	
Koneellinen tulo ja poisto	

**Lämmöntalteenottojärjestelmä**

Ei ole	
On, yhteinen	
On, huoneistokohtainen	

**Asunnon hallintamuoto**

vuokratalo	
osaketalo	

**Huoneistoja**

yhteensä	
kerroksessa	
Kerrosala (m2)	

**Kellari (kyllä/ei)**

Saunatilat	
Pesutilat	
Kuivaustilat	
Muuta	

**RAKENTEET****Runkorakenne**

Kantavat seinät - laatta	
Pilari - laatta	
Pilari - palkki	

**Perustus**

Nauha-antura (maanvarainen)	
Pilariantura (maanvarainen)	
Kallioperustus (nauha/pilari)	
Paaluperustus (nauha/pilari)	
EOS	

**Alapohja**

Ryömintätilainen	
Maanvarainen	
EOS	

**ULKOSEINÄT (pääosin)****Julkisivu**

paksuus:

Tiili	
Betonirappaus	
Rappaus muulla alustalla	
Betoni (muotti/pesu) (sileä/karhea)	
Puu-/lautaverhous	
Levytys, mikä?	

**Lämmöneriste**

paksuus:

Mineraalivilla

Puhallusvilla

Polyuretaani tai polystyreeni

Muu, mikä

EOS


**Kantava rakenne**

paksuus:

Betoni

Tiili/Harkko

Vaahtobetoni (Siporex)

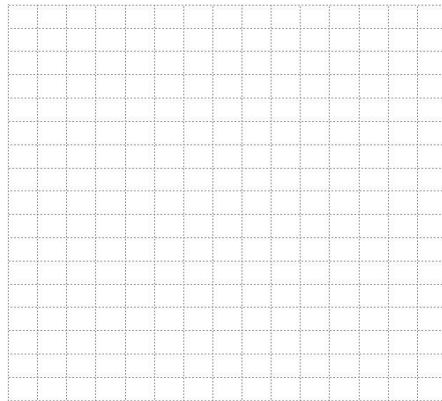
EOS


**Valmistustapa**

Paikallavalu

Elementti


Piirrä ulkoseinärakenne rakennepaksuuksineen mikäli tiedossa:

**Vesikatto**

harja

auma

tasa (sisäpuolinen kallistus)

pulpetti

muu, mikä?


**Vesikate**

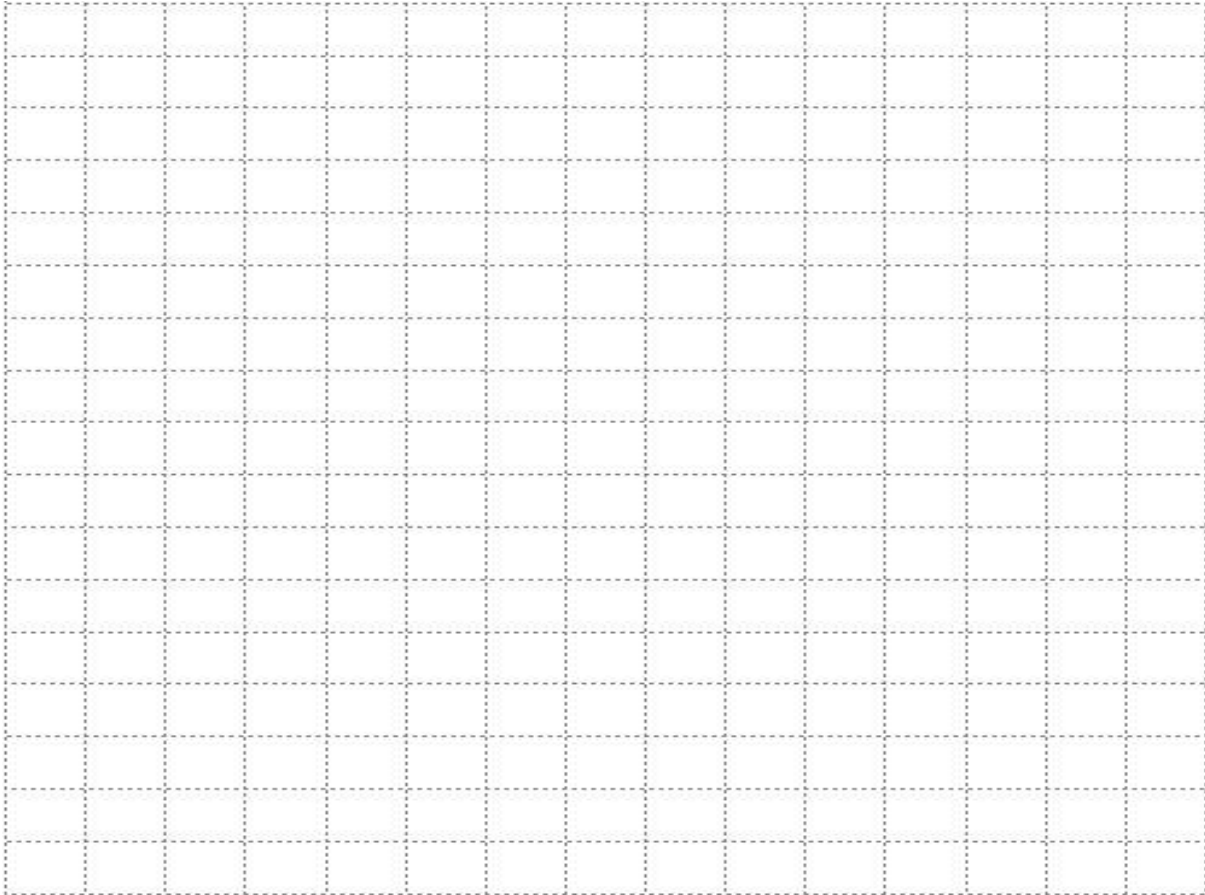
Bitumihuopa

Pelti

Tiili

muu?


*Merkitse karkeasti rakennuksen pohjan muoto ja ilmansuunta*





HUONEISTON ARVIOINTILOMAKE

Huoneisto:

Huoneistoon mennessä kiinnitä ensin huomio seuraaviin

- Yli- tai alipaineen tuntu tai ääni ulko-ovessa
- Huoneiston tuoksu, huomio mm. seuraavat:
  - o kuivumassa oleva pyykki
  - o ruoanlaiton aiheuttamat tuoksut
  - o siivoamisen aiheuttama kosteus
  - o suihkun aiheuttama kosteus
  - o tupakointi asunnossa
- Yleinen siisteys vain jos se on poikkeava

Huomioita:

---

---

---

---

---

**Asunnon perustiedot:**

Asunnon koko (m<sup>2</sup>)

---

Huoneiden lkm (esim 2h, k, s)

---

Asukkaiden lkm

---

### HUONEISTON MITTAUSARVOT (MITATTAVA JOKAISESTA HUONEESTA)

Arvoina käytetään tietoa tallentavan mittalaitteen usean päivän keskiarvoina. (Lämpötila, Suhteellinen kosteus, CO<sub>2</sub>-pitoisuus)

	1. mittaus pvm.	2. mittaus pvm.
1. Ilmanpaine-ero		
2. Lämpötila jokaisesta huoneesta (°C)		
3. Ilmankosteus (Rh %)		
4. Hiilidioksidipitoisuusmittaus (ppm)		
Kello 0.00 - 8.00 <sup>Ka</sup>		
Kello 8.00 - 16.00 <sup>Ka</sup>		
Kello 16.00 - 24.00 <sup>Ka</sup>		
5. Ilmanvaihdon mittaus (jos vain poisto, niin huoneistokohtainen) (l/s)		
6. lämpökamerakuvaus		
7. Ilmanvuotoluku (n50)		

Huomioita:



## Savonia Ammattikorkeakoulu

Perttu Rantala  
kt51676

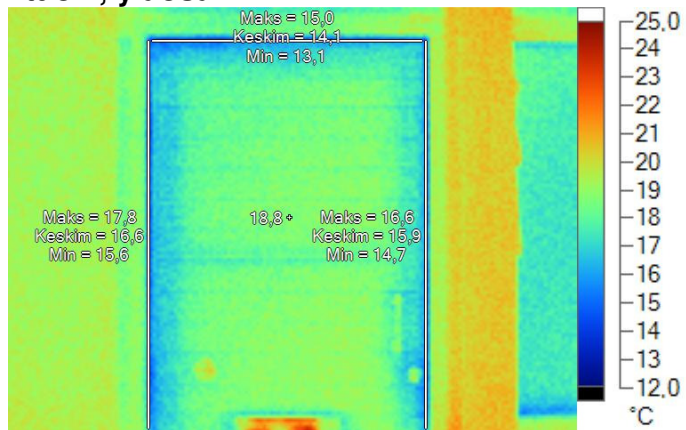
# Kerrostalo huoneisto Kuopio

## *Koekäyttö luhtitalossa. Läpitalon huoneisto, päätyasunto*

*Tilaaajan nimi: Terveysten ja Hyvinvoinnin Laitos, Ympäristöterveyden osasto, Kuopio  
Osaksi INSULAVO-projektia*

Kiitos laitteiston lainasta:  
Mika Raatikainen, Ympäristöinformatiikan laitos, Itä-Suomen Yliopisto.  
Tapani Savolainen, Savonia Ammattikorkeakoulu.  
Jorma Savolainen, ISS Palvelut Oy.

Sää mittaushetkellä:  
Lämpötila: 6,3 °C  
Suht. kosteus: 38,6 % Rh  
Ilmanpaine: +1 Pa Sisätilaan verrattuna  
Tuuli: 0 m/s  
Sääkuvaus: Pilvinen aamu, runsas yökaste

**Etuovi, yläosa****IR000561.IS2**

20.10.2011 7:39:56

postiluukun heijastava pinta vääristää pintalämpötilan paikallisesti

**Kuvan tiedot**

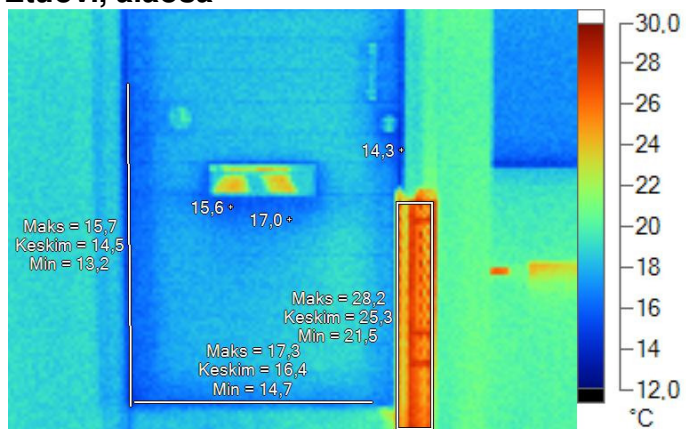
Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
V0	16,6°C	15,6°C	17,8°C
V1	14,1°C	13,1°C	15,0°C
V2	15,9°C	14,7°C	16,6°C

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	18,8°C

## Etuovi, alaosa



IR000562.IS2

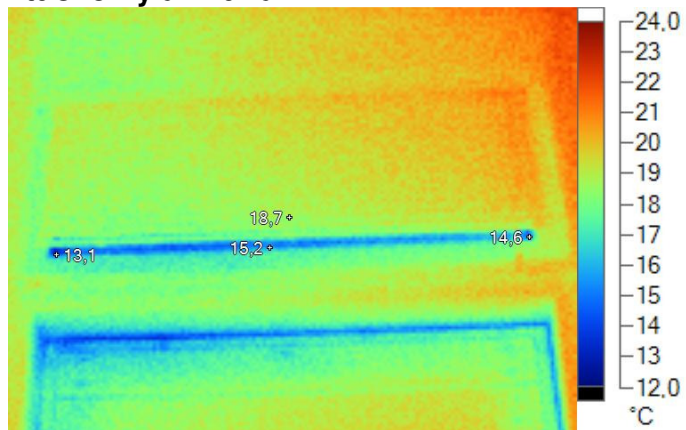
20.10.2011 7:40:03

## Kuvan tiedot

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

## Pääkuvan merkit

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
V0	14,5°C	13,2°C	15,7°C
V1	16,4°C	14,7°C	17,3°C
A0	25,3°C	21,5°C	28,2°C
Nimi		Lämpötila	
Keskipiste		17,0°C	
P0		15,6°C	
P1		14,3°C	

**Etuoven yläikkuna****IR000563.IS2**

20.10.2011 7:40:24

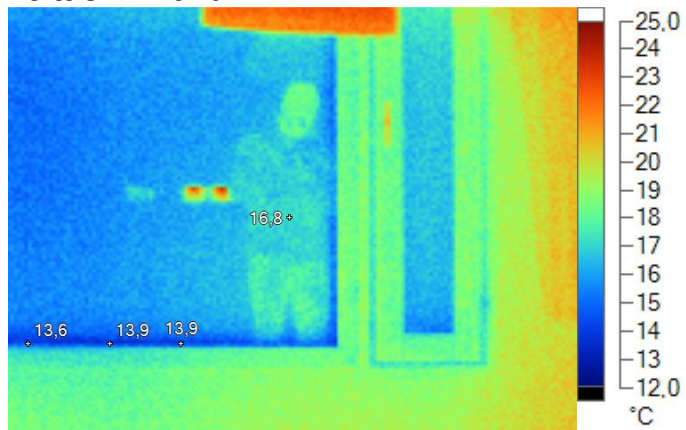
Sisäpuoliset sälekaihtimet ovat kiinni, näkyvä viiva on ikkunapintaa.

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	18,7°C
P0	13,1°C
P1	15,2°C
P2	14,6°C

**Keittiön ikkuna 1****IR000564.IS2**

20.10.2011 7:40:57

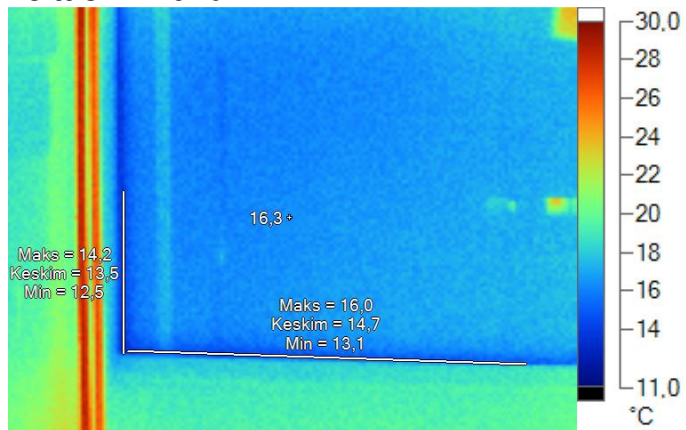
Kuvassa heijastuksia ja kattovalaisin

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	16,8 °C
P0	13,6 °C
P1	13,9 °C
P2	13,9 °C

**Keittiön ikkuna 2****IR000565.IS2**

20.10.2011 7:41:07

Patteriputket kulkevat kuvassa vasemmalla.

**Kuvan tiedot**

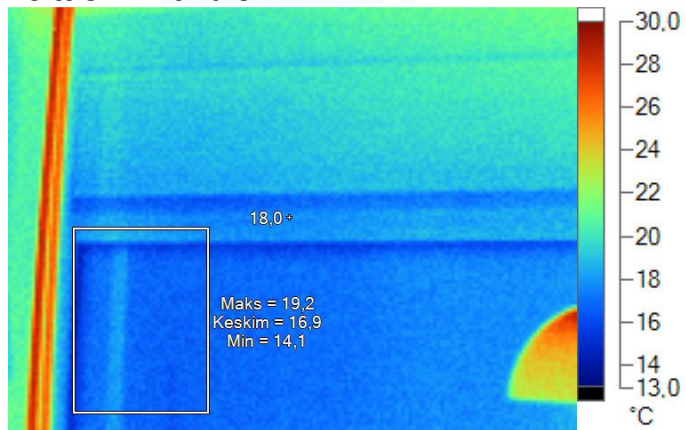
Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
V0	13,5°C	12,5°C	14,2°C
V1	14,7°C	13,1°C	16,0°C

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	16,3°C



**Keittiön ikkuna 3****IR000566.IS2**

20.10.2011 7:41:14

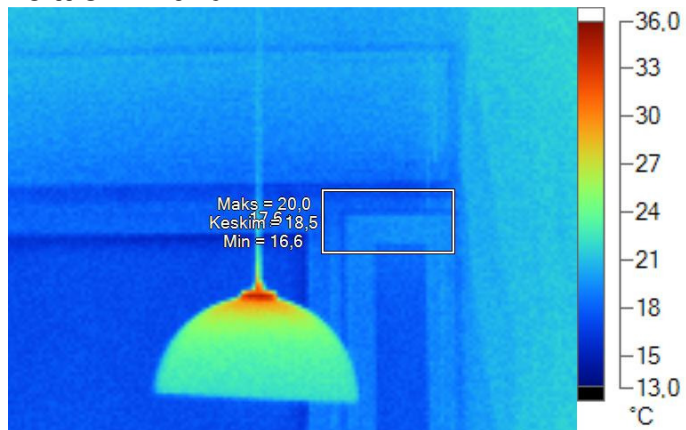
**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
A0	16,9°C	14,1°C	19,2°C

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	18,0°C

**Keittiön ikkuna 4****IR000567.IS2**

20.10.2011 7:41:28

Ei merkittäviä ilmapuotoja tuuletusikkunarakenteessa.

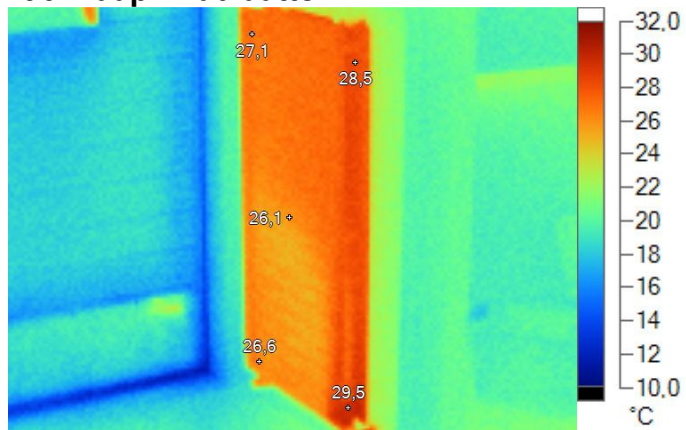
**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
A0	18,5°C	16,6°C	20,0°C

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	17,6°C

**Tuulikaapin radiaattori****IR000569.IS2**

20.10.2011 7:42:23

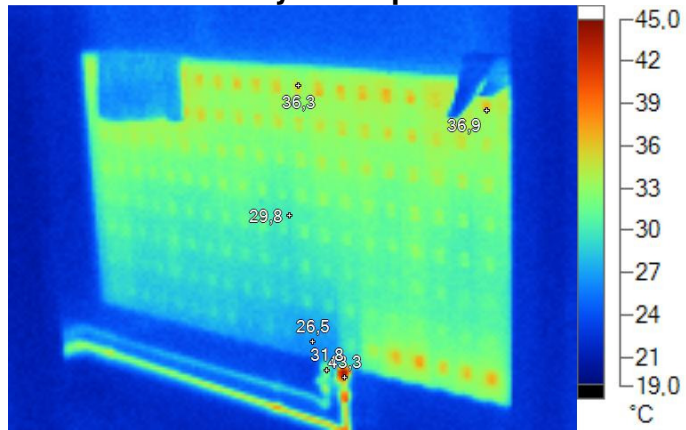
Lämpö tasoittunut hyvin.

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	26,1 °C
P0	28,5 °C
P1	27,1 °C
P2	29,5 °C
P3	26,6 °C

**WC-suihkutilan käyttövesipatteri****IR000570.IS2**

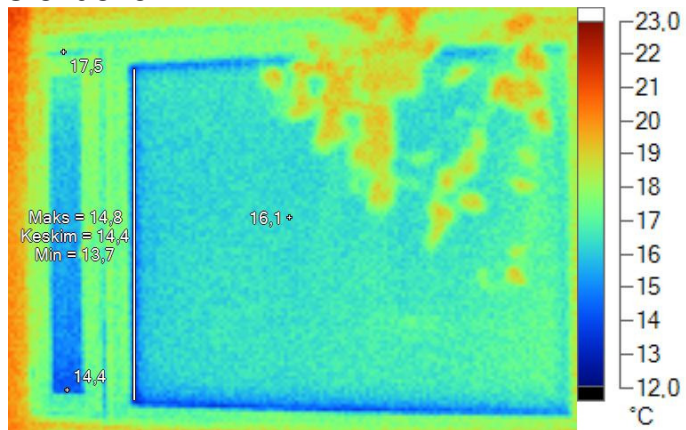
20.10.2011 7:42:50

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	29,8 °C
P0	43,3 °C
P1	31,8 °C
P2	36,9 °C
P3	36,3 °C
P4	26,5 °C

**Olohuone****IR000572.IS2**

20.10.2011 7:44:28

**Kuvan tiedot**

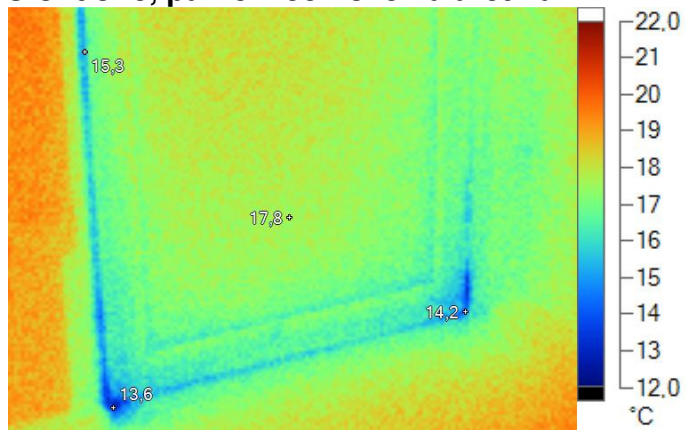
Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
V0	14,4°C	13,7°C	14,8°C

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	16,1°C
P0	14,4°C
P1	17,5°C

### Olohuone, parvekkeen oven alareuna



IR000574.IS2

20.10.2011 7:45:13

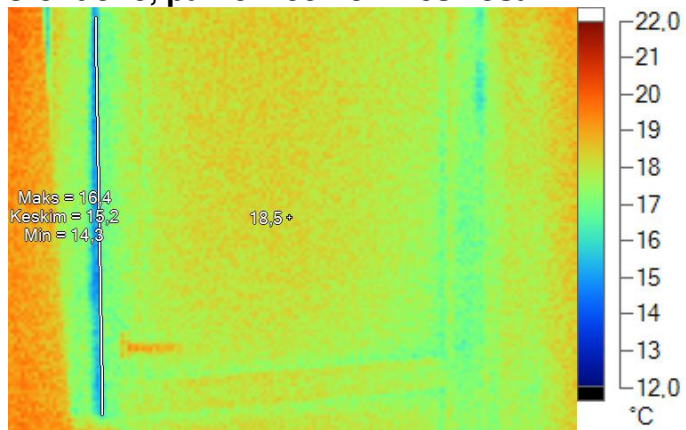
### Kuvan tiedot

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

### Pääkuvan merkit

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	17,8 °C
P0	13,6 °C
P1	14,2 °C
P2	15,3 °C

### Olohuone, parvekkeen ovi keskiosa



**IR000575.IS2**

20.10.2011 7:45:21

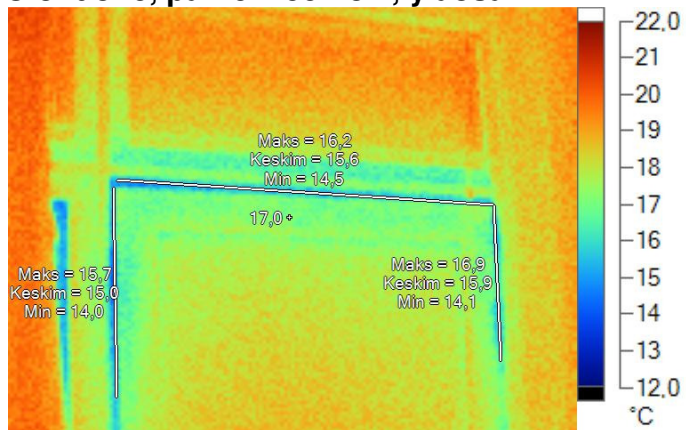
### Kuvan tiedot

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

### Pääkuvan merkit

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
V0	15,2°C	14,3°C	16,4°C

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	18,5°C

**Olohuone, parvekkeen ovi, yläosa****IR000576.IS2**

20.10.2011 7:45:28

Yläikkunaelementin sälekaihtimet kiinni.

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

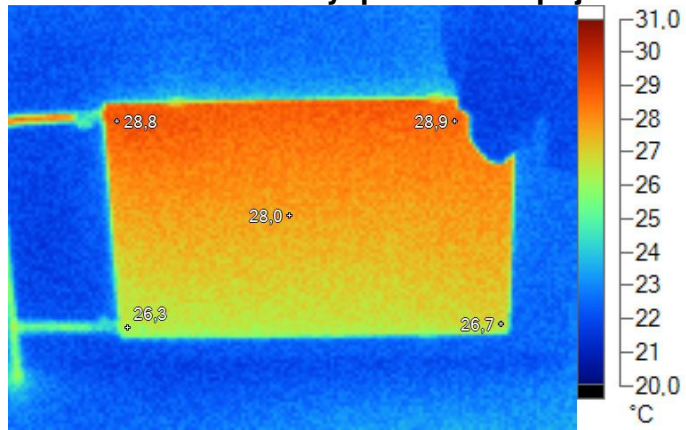
**Pääkuvan merkit**

Nimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
V0	15,0°C	14,0°C	15,7°C
V1	15,6°C	14,5°C	16,2°C
V2	15,9°C	14,1°C	16,9°C

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	17,0°C



### Vaatehuoneen lämmityspatterin lämpöjakauma



IR000577.IS2

20.10.2011 7:45:58

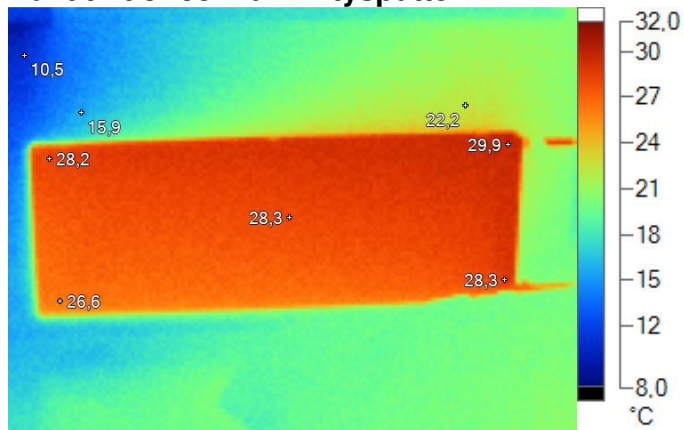
### Kuvan tiedot

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

### Pääkuvan merkit

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	28,0 °C
P0	28,8 °C
P1	26,3 °C
P2	26,7 °C
P3	28,9 °C

## Makuuhuoneen lämmityspatteri



**IR000578.IS2**

20.10.2011 7:46:57

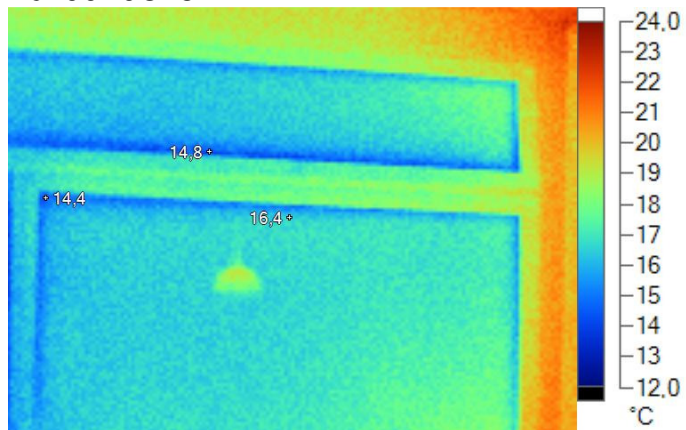
Patterin yläpuolella vasemmassa reunassa olevasta tuuletusikkunasta oli tuuletettu ennen kuvausta. Oikeassa reunassa patterin yläpuolinen betonirakenne on lämmennyt ilmavirran ansiosta.

### Kuvan tiedot

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

### Pääkuvan merkit

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	28,3 °C
P0	22,2 °C
P1	15,9 °C
P2	10,5 °C
P3	28,2 °C
P4	29,9 °C
P5	28,3 °C
P6	26,6 °C

**Makuuhuone****IR000579.IS2**

20.10.2011 7:47:10

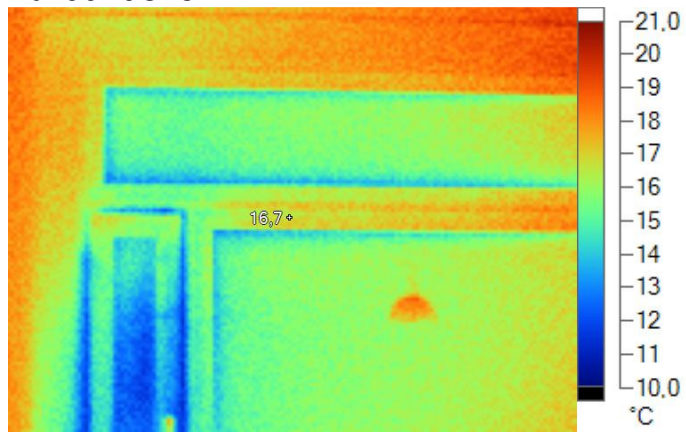
Lämpölasielementissä ei merkittäviä vuotoja.

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	16,4 °C
P0	14,8 °C
P1	14,4 °C

**Makuuhuone****IR000580.IS2**

20.10.2011 7:47:16

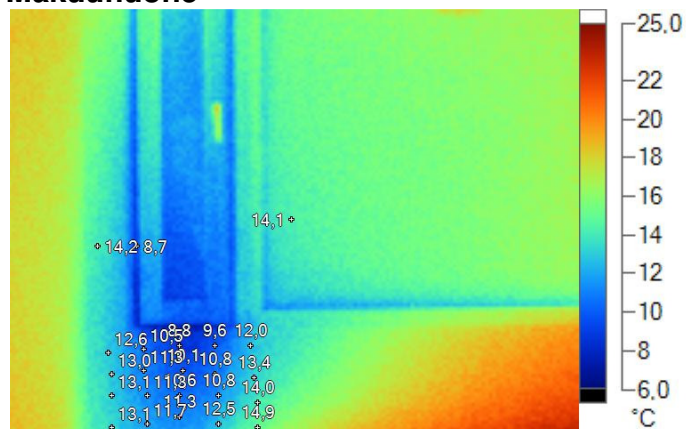
Tuuletusikkuna suljettu juuri ennen kuvausta.

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	16,7°C

**Makuuhuone****IR000581.IS2**

20.10.2011 7:47:29

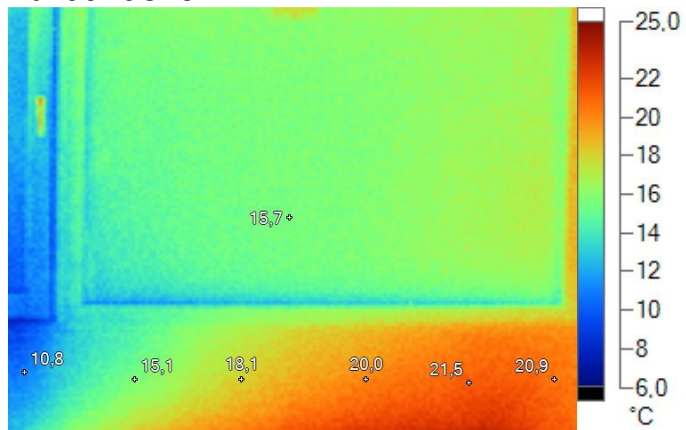
Tuuletuksen vaikutukset pintalämpötiloihin

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	14,1 °C
P0	8,8 °C
P1	10,1 °C
P2	10,6 °C
P3	11,3 °C
P4	9,6 °C
P5	10,8 °C
P6	10,8 °C
P7	12,5 °C
P8	10,5 °C
P9	11,3 °C
P10	11,3 °C
P11	11,7 °C
P12	12,6 °C
P13	13,0 °C
P14	13,1 °C
P15	13,1 °C
P16	12,0 °C
P17	13,4 °C
P18	14,0 °C
P19	14,9 °C
P20	8,7 °C
P21	14,2 °C

**Makuuhuone****IR000583.IS2**

20.10.2011 7:47:54

Lämmönjakautuminen patterin yläpuolella tuuletuksen aikana

**Kuvan tiedot**

Kameramalli	Ti9
-------------	-----

**Pääkuvan merkit**

Nimi	Lämpötila
Keskipiste	15,7°C
P0	10,8°C
P1	15,1°C
P2	18,1°C
P3	20,0°C
P4	21,5°C
P5	20,9°C

