



HARRI KAARTINEN JA TIMO LAAJOKI

*Fysikaalisten mittalaitteiden käyttö
rakennusten kunnan arvioinnissa*



OPINNÄYTETYÖT, RAKENNUSTERVEYS 2012



ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO
Koulutus- ja kehittämispalvelu
Aducate

**HARRI KAARTINEN
TIMO LAAJOKI**

*Fysikaalisten mittalaitteiden käyttö
rakennusten kunnon arvioinnissa*

Muut julkaisut -sarja
opinnäytetyöt

Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate
Itä-Suomen yliopisto
Kuopio
2012

Aihealue:
Rakennusten terveellisyys

Kopijyvä Oy
Kuopio, 2012

Myynnin yhteystiedot:
Itä-Suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate
aducate-julkaisut@uef.fi
<http://www.aducate.fi>

ISBN 978-952-61-0758-5 (painettu)
ISBN 978-952-61-0759-2 (pdf)

TIIVISTELMÄ:

Olemme työssämme selvittäneet korjaus- ja uudisrakentamiseen soveltuvien mittauksen taustaa miksi, mitä ja miten mitataan. Olemme myös selvittäneet mittauksiin tarvittavaa koulutusta, koulutuksen- ja mittalaitteiden hintaa. Olemme keränneet yhteen eri mittauksissa tarvittavat laitteet, ja tehneet niistä työkalusalkun aloitteleville mittajille. Tutkielman tarkoituksena on ollut antaa realistinen kuvaus ennen kaikkea laitteiden hankintaan, ominaisuuksiin, käyttöön ja hintaan liittyvissä asioissa.

AVAINSANAT:

Tiiveysmittaus, lämpökamerakuvaus, kosteusmittaus, työhygieeniset mittaukset, radon, mittalaitteet.

ABSTRACT:

We have researched with this work the background of measurement devices suitable for the renewal and construction of building throughout Finland.

We have also discovered the training needed to be used for this kind of measurement, and, also the price of the training and measurement devices.

We have collected all necessary measurement devices and a toolset for the beginners. The purpose of this study has been to present a realistic view to purchase the devices, quality usage, and to examine the price issues.

KEYWORDS:

Airtightness, Thermal imaging camera, Humidity indicator, Working measurement, Radon, Indicators.

Esipuhe

Työssämme tutkittiin ja havainnoitiin rakennusten terveyden arviointiin käytettäviä mittalaitteita ja niiden käyttökelpoisuutta, tehokkuutta ja luotettavuutta. Toivomme, että lopputyömme olisi käyttökelpoinen ja selkeä työkalusalkku aloitteleville mittajille.

Haluamme kiittää RI (ylempi AMK) Sauli Paloniittyä/ HAMK ja DI Timo Kauppista/tutkija, VTT Oulu, tiiveysmittauksen ja lämpökamerakuvauksen osalta asiantuntevasta avusta ja ideoinnista. Työhygieenisten mittausten osalta kiitämme vanhempaa asiantuntijaa Esko Rytköstä/Työterveyslaitos. Kiitokset myös Sami Niemelle/Vahanan Oy asiantuntija-avusta betonirakenteiden kosteusmittausosion osalta. Kiitokset myös koulutuksen koordinaattorille RI, FT Helmi Kokotille/ Itä-Suomen yliopisto; ja Helmin enkeleille rakentavasta ja kannustavasta toiminnasta. Haluamme kiittää työnantajaamme Rateku Oy:tä mielenkiintoisten opiskelujen mahdollistumisesta.

Kiitokset huikeille opiskelukavereille yhteisistä hetkistä Kuopiossa; taitaa tulla ikävä. Kiitokset myös Best Westen Hotelli Savonialle ja Jälki-istunto aulakahvilalle, mistä tutkielmamme kuningasideat saivat alkunsa.

Kiitokset englanninkielen käännöksistä ja tuesta European Area Manager, MA Tracy James/Oxford University Press ja M Sc. Kai Haatainen/EBSCO Information Services.

Suurimmat kiitokset puolisoillemme Tuulalle ja Arjalle, jotka auttoivat meitä toteuttamaan tämän elämämme suurimman kirjallisen haasteen.

“It is mistake to look far ahead. Only one link in the chain of destiny can be handled at a time.”

“It is always wise to look ahead, but difficult to look further than you can

Winston Churchill

“Kirjoitti kynä, ohjasin minä, ota siitä selvän sinä.”

Virve Sammelkorpi

03.04.2012

Harri Kaartinen & Timo Laajoki

SISÄLLYSLUETTELO	
ESIPUHE	
1 JOHDANTO	15
2 TIIVEYSMITTAUS	15
2.1 JOHDANTO TIIVEYSMITTAUKSEEN	15
2.1.1 Käsitteitä	15
2.1.2 Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun mittaus	17
2.2 ILMANVUOTOLUVUN VERTAILUARVO	20
2.3 RAKENNUKSEN JA HUONEISTON ILMATILAVUUDEN LASKENTA	21
2.4 PIENTALOJA KOSKEVAT ERITYISOHJEET	23
2.5 KERROSTALOJA KOSKEVAT ERIKOISOHJEET	24
2.5.1 Yksittäisissä huoneistoissa tehtävät mittaukset	24
2.5.2 Yhdessä tai useammassa portaassa tai koko rakennuksessa tehtävä mittaus	25
2.6 TIIVEYSMITTAUKSEEN TARVITTAVAT LAITTEET	27
2.7 ILMANPITÄVYYSRAPORTIN SISÄLTÖ	29
2.8 MITTAUSLAITTEIDEN TARKKUUS JA KALIBROINTI	29
3 LÄMPÖKAMERAKUVAUS	31
3.1 JOHDANTO LÄMPÖKAMERAKUVAUKSEEN	31
3.2 KÄSITTEITÄ	32
3.3 MITTAUSTEN TARKOITUS	34
3.4 LÄMPÖKUVAUS RAKENTAMISESSA	35
3.5 LÄMPÖKUVAUKSEN PERUSTEET	37
3.6 RAKENNUSTEN LÄMPÖKUVAUKSEEN SISÄLTÄYVÄT LAITTEET	39
3.7 KAMEROIDEN KALIBROINTI JA VIRHEMAHDOLLISUUDET	40
3.8 RAKENTEIDEN PINTALÄMPÖTILAT	41
3.9 LÄMPÖVUODOT	43

3.10 ILMAVUODOT	43
3.11 ERISTEVIAT	46
3.12 KOSTEUS- JA HOMEVAURIOT	47
3.13 LÄMPÖKUVAUS KUNTOTUTKIMUKSEN OSANA	48
3.14 SISÄILMASTON KUNTOTUTKIMUS	48
3.15 TALOTEKNIIKAN LÄMPÖKUVAUS	49
3.16 LAADUNVARMISTUSMITTAUKSET	50
3.17 LÄMPÖVIIHTYVYYS	51
3.17.1 Sisätilojen lämpöolot	51
3.18 ASUMISTERVEYSHOJEISSA MÄÄRITELLYT LÄMPÖOLO- SUHTEET	53
3.18.1 Fysikaaliset olot	53
3.18.2 Huoneilman lämpötila	53
3.18.3 Lämpötilojen ohjearvot	54
3.18.4 Lämpötilaindeksi	55
3.18.5 Lämpötilan ja vedon mittaaminen	55
3.18.6 Lämpötilamittausstandardit ja mittalaitteet	56
3.19 Voimassa olevat ohjeet ja määräykset	57
3.19.1 Terveydelliset viranomaismääräykset ja ohjeet	57
3.19.2 Rakenteelliset viranomaismääräykset ja ohjeet	58
3.20 RAPORTOITAVAT POIKKEAMAT JA KORJAUSLUOKITUS	58
3.21 MÄÄRÄYSTEN JA OHJEIDEN SOVELTAMINEN JA TULKINTA	60
3.21.1 Lämpötilaindeksin käyttö	61
3.21.2 Pistemäisen lämpötilan arviointi	63
3.22 TULOSTEN VIRHEARVIOINTI	64
3.23 PAINE-ERON VAIKUTUS MITTAUSTULOSSIIN	65
3.24 LÄMPÖKUVAUKSEN RAPORTOINTI	65
3.24.1 Lämpökuvausraportti	66
3.24.2 Mittausraportti	66

4 KOSTEUSMITTAUSMENETELMÄT JA MITTARIT	69
4.1 BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUSMITTAUS	69
4.1.1 Tausta	69
4.2 YLEISIMMÄT KOSTEUSMITTAUSMENETELMÄT JA NIIDEN SOVELTUVUUS BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUSMITTAUKSEEN	71
4.2.1 Pintakosteudenosoittimet	71
4.2.2 Kalsiumkarbidimittari	72
4.2.3 Vastusmittaus	73
4.2.4 Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivatus- punnitusmenetelmällä	73
4.2.5 Suhteellisen kosteuden mittaamenetelmät	74
4.3 BETONIN KOSTEUSPITOISUUDEN JA SUHTEELLISEN KOSTEUSPITOISUUDEN VÄLINEN YHTEYS	75
4.4 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS	77
4.4.1 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä	78
4.4.2 Mittaaminen jatkuvasti betonin sisällä olevalla anturilla	80
4.4.3 Kosteusmittauspiste	80
4.4.4 Kosteuslähteen määrittäminen maanvaraisessa laatassa	81
4.4.5 Mittaussyvyys ja –tarkkuus	82
4.4.6 Mittareiden tiivistys	83
4.4.7 Mittausreiän tasaantuminen	84
4.4.8 Mittapäiden asennus	84
4.4.9. Mittaustulosten lukeminen	85
4.4.10 Lämpötilan vaikutus mittaukseen	86
4.5 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS NÄYTEPALAMENETELMÄLLÄ	88
4.5.1 Näytepalojen otto	88
4.5.2 Näytepalojen siirto ja tasaantuminen	89

4.6 MITTAUSAJANKOHTA JA MITTAUSPISTEIDEN VALINTA	89
4.6.1 Vesivahinkoihin liittyvät betonirakenteen kosteusmittaukset	89
4.6.2 Kuntotutkimukseen liittyvät betonirakenteen kosteusmittaukset	90
4.6.3 Betonirakenteen päällystettävyyden arviointiin liittyvät kosteusmittaukset	91
4.6.4 Betonirakenteiden pitkäaikainen kosteusseuranta	93
4.7 BETONIRAKENTEEN PÄÄLLYSTETTÄVYYDEN KOSTEUSMITTAUSSYVYYDET	94
4.8 SUHTEELLISEN KOSTEUDEN (RH) MITTAUS KEVYESTÄ RAKENTEESTA	95
4.9 VIILTOMITTAUS	99
4.10 PUUN KOSTEUDEN MITTAAMINEN	100
4.10.1 Puun vastusmittari	100
4.10.2 Kapasiteettimittari	101
4.11 MITTAUSTULOSTEN TULKINTA JA RAPORTOINTI	101
4.11.1 Tulosten tulkinta	101
4.11.2 Raportointi	103
4.11.3 Betonirakenteiden suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä	103
5 MELUMITTAUKSET	106
5.1 MITÄ MELU ON?	106
5.2 MELUKÄSITTEITÄ	106
5.3 MELUNTORJUNTA	107
5.3.1 Työmelun raja- ja toiminta-arvot	108
5.3.2 Meluntorjuntaohjelma	109
5.4 MELUNTORJUNNAN PERUSTANA LAINSÄÄDÄNTÖ	110
5.4.1 Melun syntymisen estäminen	110
5.4.2 Meluntorjunta	111

5.4.3 Meluntorjuntakeinot	111
5.4.4 Melun etenemisen estäminen	112
5.4.5 Äänen etenemisen rajoittaminen	113
5.4.6 Jälkikaiunta-aika	114
5.4.7 Liikennemelu	114
5.5 MELUN HAITTOJA	115
5.5.1 Muut terveyshaitat	117
5.6 MELUN MITTAAMINEN	119
5.6.1 Melumittauksen mahdollisia virhelähteitä	120
5.6.2 Hyvä mittausraportti	120
5.6.3 Melumittarin kalibrointi	120
5.6.4 Työpaikkamelun mittaaminen	
5.7 MITTAAMINEN MELUMITTARILLA	121
5.7.1 Mittaaminen annosmittarilla	121
6 TÄRINÄ	123
6.1 MITÄ TÄRINÄ ON?	123
6.1.1 Mitä mitataan?	123
6.1.2 Mitä tarkoittavat taajuus ja taajuuspainotus?	123
6.2 KÄSITÄRINÄ	124
6.2.1 Mitä mittauslaitteita on käytettävä?	125
6.3 KEHOTÄRINÄ	125
6.3.1. Kehotärinän mittaaminen	126
7 VALAISTUS	128
7.1 MITÄ HYVÄ VALAISTUS ON?	128
7.2 VALAISTUSSUUREITA	129
7.3 LUMINANSSI	130
7.4 VALAISTUSVOIMAKKUUS	131
7.5 VALON VALINTAPERUSTEET	133
7.6 VALAISTUKSEN MITTAAMINEN JA ARVIOINTI	135

8 RADON	137
8.1 MITÄ RADON ON?	137
8.2 MISTÄ RADON SYNTYY?	138
8.3 MIKSI RADON ON VAARALLISTA?	138
8.4 MITEN RADON TULEE SISÄILMAAN?	139
8.5 MITEN RADONIA MITATAAN?	141
8.6 ENIMMÄISARVOT	142
8.7 MITEN RADON TORJUTAAN?	143
8.8 VEDEN RADONPITOISUUS	144
8.9 RADONIN VÄHENTÄMINEN KAIVOVEDESTÄ	145
8.9.1 Uraanin, radiumin, lyijyn ja poloniumin poisto	145
9 MITTAUKSIIN TARVITTAVAT MITTARIT JA APUVÄLINEET	147
9.1 TIIVEYSMITTAUKSEEN TARVITTAVAT LAITTEET JA APUVÄLINEET	147
9.1.1 Tiiveysmittauksiin tarvittavien laitteiden nykyhinnat	147
9.1.2 Tiiveysmittauksiin vaadittava koulutus	147
9.1.3 Koulutukseen osallistuvan perusosaaminen	148
9.1.4 Koulutuksen sisältö ja rakennusten ilmatiiveydenmittaajalle asetetut osaamisvaatimukset	148
9.1.5 Koulutuksen nykyhintaa	149
9.2 LÄMPÖKAMERAKUVAUKSEEN TARVITTAVAT LAITTEET	149
9.2.1 Lämpökamerakuvauksiin tarvittavien laitteiden nykyhinnat	150
9.2.2 Lämpökamerakuvauksiin vaadittava koulutus ja hinta	150
9.3 BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUDENMITTAAMISEEN TARVITTAVAT LAITTEET	152
9.3.1 Betonin kosteudenmittaamiseen tarvittavien laitteiden nykyhinnat	152
9.3.2 Betonin kosteudenmittaamiseen vaadittava koulutus ja hinta	150

9.4 PUUN KOSTEUDEN MITTAAMINEN	153
9.4.1 Mittaaminen piikkimittarilla	153
9.5 TYÖHYGIEENISIIN MITTAUKSIIN TARVITTAVAT LAITTEET JA HINNAT	154
9.5.1 Työhygieenisiin mittauksiin vaadittava koulutus ja hinta	155
9.5.2 Melumittarit	156
9.5.3 Meluannosmittarit	157
9.5.4. Valaistusmittarit ja niiden hinnat	157
9.5.5 Tärinämittarit ja niiden hinta	157
9.6 RADONIN MITTAUKSEEN TARVITTAVAT LAITTEET JA HINNAT	158
10 JOHTOPÄÄTÖKSET	161

LÄHDELUETTELO (osissa asiakokonaisuuksien jälkeen)

TAULUKKOLUETTELO

- Taulukko 1 Raportoinnin rajalämpötiloja eri ulkoilman lämpötiloilla
- Taulukko 2 Esimerkkilaskelma, mitä paine-ero vaikuttaa indeksiin ja sitä kautta korjausluokkaan
- Taulukko 3 Betonin ja anturin lämpötilaeron vaikutus RH arvoon
- Taulukko 4 Aikarajat, jonka jälkeen kuulovaurion riski on toistuvassa melu-altistuksessa todennäköinen
- Taulukko 5 Ohjearvot tärinälle
- Taulukko 6 Valaistusvoimakkuuksien suhde ja tasaisuus
- Taulukko 7 Erilaisten työtehtävien vaatimat valaistusvoimakkuudet (Suomen Valoteknillinen Seura 9/1986)
- Taulukko 8 STUK: in hyväksymät radonmittausmenetelmät radonpitoisuuden mittauksessa. Hyväksytyt mittalaitteet, joilla kalibrointi on voimassa.

KUVALUETTELO

- Kuva 1 Vaipan tiiviysmittauksen periaate
- Kuva 2 Retrotec Blower-door
- Kuva 3 Minneapolis Blower-door
- Kuva 4 Sementtityypin, silikan ja huokoistamisen vaikutus betonin kuivumiseen
- Kuva 5 Tutkittavan maanvaraisen laatan rakenne
- Kuva 6 Mittaussyvytydet eri rakenneratkaisuilla betonin rakennepaksuuksista riippuen
- Kuva 7 Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittausanturin sijoittaminen rakenteeseen
- Kuva 8 Tavanomaisen ohuen metallivartisen mittausanturin tasaantumisaika 100 mm syvyydeltä
- Kuva 9 Melumuuri Vuosaaren satamassa
- Kuva 10 Kehotärinän toiminta-arvot eripituisessa altistuksessa
- Kuva 11 Suositeltavat luminanssisuhteet
- Kuva 12 Luksimittari ja luminanssimittari ja niiden toimintatapa
- Kuva 13 Betonin kosteudenmittauslaite Vaisala HM141
- Kuva 14 Piikkimittari Protimeter mini
- Kuva 15 Pintakosteudenosoitin Trotec650T
- Kuva 16 Radonmittauspurkki
- Kuva 17 Purkin analysointi käynnissä
- Kuva 18 Alphaguard radonmonitori

1. Johdanto

Tutkielmamme esittelee mahdollisimman kattavasti tämänhetkisen tilanteen rakennusten olosuhdemittauksissa, millä, miten ja miksi mitataan. Käytämme työssämme päivittäin tutkielmassamme esiteltyjä mittalaitteita ja olemme havainneet, että yleensä vain laatutuotteet tuovat toivotun tuloksen. Mittareiden valinnassa kannattaa olla tarkkana, koska erilaisia mittareita on olemassa satoja ja mittarit kehittyvät koko ajan. Kannattaa myös miettiä mittareiden hinta- ja laatusuhdetta. Mittarivalmistajat maahantuojat järjestävät koulutusta, niitä kannattaa hyödyntää. Olemme osallistuneet useisiin koulutuksiin, joten tämäkin alue on tullut tutuksi. Koulutuksien hinnat ovat melko korkeita, mutta yleensä myös laadukkaita, onneksemme työnantajamme on maksanut koulutuksemme.

2. Tiiveysmittaus

2.1 JOHDANTO TIIVEYSMITTAUKSEEN

Ilmanpitävyysmittauksia on Suomessa aloitettu 70- 80 lukujen vaihteessa. Yksittäisiä mittauksia on tehty jo aikaisemmin käyttämällä rakennuksen omia ilmastointilaitteita. Kaupalliset tiiveysmittauslaitteistot ovat yleistyneet parin viime vuoden aikana, muuttuneet määräykset ja energiatehokkuuslaskelmat ovat lisänneet konsulttien käyttöä.

Energiatehokkaassa rakentamisessa vaipan ilmatiiviys on tärkeä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan, ja sisäilmaston viihtyvyyden kannalta sekä energiakulutuksen vähentämisen näkökulmasta kannalta.

Rakennusten ilmanpitävyyden mittaaminen rakennusten laadunvalvontamittauksena on yleistynyt merkittävästi muutaman vuoden sisällä. Vaipparakenteiden ilmatii-

viydestä on puhuttu kymmeniä vuosia, mutta vasta energiatodistuksen myötä tiiviiden todentaminen on yleistynyt ja se on tullut jäädäkseen yhtenä rakennuksen vaipan kunnon tutkimisen muotona lämpökuvauksen rinnalle.

Hyvän ilmatiiviiden saavuttaminen rakennuksen vaipparakenteissa on tärkeä momentakin syystä. Ehkä tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä voidaan pitää rakennuksen vaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistamista. Siirryttäessä entistä paremmin eristäviin vaipparakenteisiin tulee hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteen sisään estää, jotta vältetään rakenteiden kosteus, ja homevaurioriskeiltä. Nykyisten asumistottumusten seurauksena sisäilman kosteuslisä voi olla talviaikana jopa 4-5 g/m³ sisäilmassa, jolloin kosteuskonvektion riski kasvaa. Jos vaipparakenteissa on ilmavuotoreittejä, voi sisäilman kosteus kulkeutua ilmavirtausten mukana kylmiin rakenteiden osiin ja aiheuttaa kosteusvaurioriskin.

Toinen merkittävä syy hyvään ilmanpitävyyteen on hyvän asumisviihtyvyyden saavuttaminen. Kylmän ulkoilman virtaaminen sisätiloihin aiheuttaa vedon tunnetta ja pahimmilleen lisää terveyshaittariskejä. Vaipan hyvä ilmanpitävyys parantaa sisäilman laatua, koska vedontunne vähenee ja mahdollisten homeiden, epäpuhtauksien ja haitallisten aineiden kulkeutuminen talon rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta sisäilmaan vähenee. Lisäksi hyvä ilmanpitävyys parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa, koska kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin ja toisaalta siksi, että kylmä ulkoilma ei pääse jäähtyttämään rakennetta ja aiheuttamaan materiaali-kerrosten välisiin rajapintoihin homeen kasvulle otollisia olosuhteita tai kosteuden tiivistymisriskiä.

Kolmas merkittävä tekijä hyvään ilmatiivyyteen pyrkimisessä on energiakulutuksen pienentäminen. Hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Esimerkiksi pientaloissa laskennallinen kokonaisenergiankulutuksen lisäys on keskimäärin 4 % jokaista n₅₀-luvun kokonaisuusyksikön lisäystä kohti. Vuotoilman tarvitseman energian osuus suhteessa kasvaa siirryttäessä matalaenergiarakentamisen suuntaan. Koska uudistuotantoon vai 1-2 % rakennuskannasta, todellinen ongelma on olemassa olevassa rakennuksissa, joiden tiiveyden pa-

rantamiseksi tuleekin kiinnittää erityistä huomiota. Tiiviyden merkitystä energiankulutukseen ja rakennetekniseen toimivuuteen ei pidä kuitenkaan yliarvioida. Riittävän tiiviystason omaavissa rakennuksissa (esim. $n_{50} = 1.0$ 1/h) ei tiiviyden parantamisella saavuteta laskennallisesti enää merkittäviä energiansäästöjä. Silti tiiviissäkin rakennuksessa voi hallitsemattomien ilmavuotojen vuoksi lämpöviihtyvyys alentua, erityisesti jos vuotokohdat ovat keskittyneet lähellä työ- ja oleskelupisteitä ja ulkovaipan alaosiin (ikkunat, lattianrajat, nurkat). Tätä yleensä kompensoidaan sisälämpötilan nostolla joka nostaa lämmitysenergian kulutusta. Mikäli painesuhteet eivät rakennuksessa ole kohdallaan (esimerkiksi liian suuri alipaine) tai joissakin tapauksessa ajoittainen ylipaine, voi sisäilman kondensoituminen tai ulkoilman kosteuden siirtyminen rakenteisiin aiheuttaa pitkällä aikavälillä rakenneteknisiä ja sitä myöten sisäilmaongelmia. (Rateko: Rakennusten ilmanpitävyys ja tiiviyden mittaust).

2.1.1 Käsitteitä

Painekoe

Rakennuksen ilmanpitävyyteen kehitetty koe, jossa rakennus ali- tai ylipaineistetaan, jotta vaipan ilmanpitävyyttä voidaan tutkia.

Tiiviysmittaus kts. painekoe

Rakennuksen ulkovaipan ilmavuotoluvun n_{50} ja q_{50} määrittäminen 50 Pa alipaineessa (tai ilmavuotokohtien etsiminen muussa, käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa).

Ilmanvuotoluku, n_{50} [1/h]

Ilmanvuotoluku n_{50} kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa (pascal) ali- tai ylipaine. Rakennuksen sisätalavuus mitataan ulkovaipan sisäpintojen mukaan, välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen.

Ilmanvuotoluku, q_{50} [l/h]

Ilmanvuotoluku q_{50} kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa

(pascal) ali- tai ylipaine. Ilmavuotoluku kuvaa rakennusvaipan ilmanpitävyyttä. Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja;

Ilmanpitävyys, ilmatiiveys

Ilmanpitävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä estää haitallinen ilmanvaihtuvuus rakenteen eri kerrosten läpi.

Neutraaliakseli

Tasolinja rakennuksen poikki jossakin korkeudessa, missä sisä- ja ulkoilman paineero on nolla.

Ulkovaippa

Ulkovaipalla tai vaipalla tarkoitetaan rakennuksen sisätilojen erottavia rakennekerroksia kylmästä ulkoilmasta.

n_{50} ilmoitettu ilmavuotoluku

Ilmoitettu ilmavuotoluku on talotoimittajan tietyille talotyyppille/tyypeille mittauksista laskettu ilmavuotoluku. Ilmoitettua ilmavuotolukua voidaan käyttää rakennuksen ilmavuotoluvun suunnitteluarvona ilman erillistä selvitystä tai mittausta. Ilmoitettu ilmavuotoluku lasketaan RT 80- 10974 mukaisesti. Ilmoitettu ilmavuotoluvun laskennassa otetaan huomioon mittaustulosten lukumäärä ja hajonta.

Talotyyppi

Talotyyppi on talotoimittajan rakennus, jonka rakenteet ovat määrätynlaiset esim. puurakenteinen, kivirakenteinen tai sekarakenteinen. Eri talotyyppiä voivat olla erilaisilla toteutusratkaisuilla tehdyt rakennukset, jotka vaikuttavat ilmatiivyyteen. Talotoimittajalla voi siis olla useita talotyyppisiä. (RT -10974)

2.1.2 Rakennusvaipan vuotoluvun mittaus

Rakennuksen tai sen osien tiivyyttä mitataan Suomessa ns. alipainemenetelmällä, jossa tutkittavaan tilaan aiheutetaan 50 Pa:n alipaine ulkoilmaan nähden. Alipaine saadaan aikaan puhaltimella. Heinäkuun alussa 2012 voimaan tulevat määräykset edellyttävät, että rakennus on mitattava sekä 50:n Pa yli- että alipaineessa. Puhallin asennetaan ulko-oven tai ikkunan tuuletusluukun paikalle. Rakennuksen omaa il-

manvaihtolaitteistoa voidaan hyödyntää tiiveysmittauksissa; on käyttökelpoinen ratkaisu vallankin isoissa rakennuksissa.

Alipaineen ylläpitämiseksi tarvittava ilmamäärä mitataan. Tämä ilmamäärä jaettuna tutkittavan tilan ilmatilavuudella antaa tulokseksi n_{50} , tai ilmamäärä jaetaan vaipan alalla jolloin tulokseksi saadaan ilmavuotoluku q_{50} . Ilmavuotoluku n_{50} esitetään yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa. Ilmavuotoluku q_{50} esitetään yksikössä $[m^3/(h m^2)]$.

$$n_{50} = Q_{50}/V$$

missä n_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h]

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla $[m^3/h]$

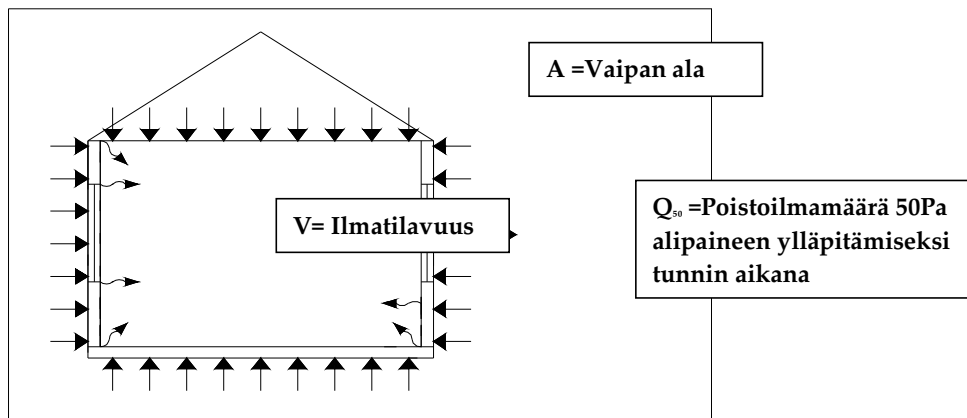
V = rakennuksen/mitattavan osan sisätalavuus $[m^3]$

$$q_{50} = Q_{50}/A$$

missä q_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla $[m^3/(h m^2)]$

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla $[m^3/h]$

A = rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan ala $[m^2]$



Kuva 1. Vaipan tiiveysmittauksen periaate

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä on esitetty standardissa SFS EN 13829. Standardissa käytetään mittaumenetelmää B (rakennuksen

vaipan testaus) siten, että rakennukseen tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot (ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanavat, korvausilmaventtiilit), tulisijat ja hormit suljetaan tiiviisti tarvittaessa teippaamalla.

Rakennuksen mitattavaan alueeseen otetaan mukaan kaikki lämmitetyt ja jäähdytetyt tilat tai tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto ja sellaiset tilat, jotka selkeästi ovat ilmanpitävän vaipan sisäpuolella.

Ilmanvuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus lasketaan rakentamismääräyskokoelmassa D5 määritetyn rakennuksen ilmatilavuuden mukaan. Rakennuksen ilmatilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei lasketa rakennuksen ilmatilavuuteen.

Vaipan alaan lasketaan ulkoseinien pinta-ala sisämittojen mukaan laskettuna sekä yläpohjan ja alapohjan ala. Aukkoja ei vähennetä vaipan alasta. (RT- 80- 10974).

2.2 ILMANVUOTOLUVUN VERTAILUARVOJA

Rakennuksen ilmavuotoluku tarvitaan lähtötietona lämmöntarpeen laskennassa. Erinomainen arvo pientalossa on alle 1,0 l/h, normaali n. 4,0 l/h ja heikko n. 10,0 l/h. (viittaa uusiin rakentamismääräyksiin jotka tulevat voimaan 01.07.2012). Ilmanvuotolukua ei pidä sekoittaa LVI- suunnittelussa käytettyyn termiin ilmanvaihtokertoain, joka kertoo rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelijalle kuinka monta kertaa sisäilman tilavuus halutaan vaihtuvat aikayksikössä. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa on otettava siis huomioon koneellisen ja luonnollisen ilmanvaihdon suhteet.

Vuoden 2003 alussa voimaan tulleissa rakentamismääräyksissä ilmanpitävyys otetaan huomioon lämmönläpäisykertoimien ja lämmön talteenoton ohella ns. lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 kohdassa esitetään rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennan ohjeet.

Tiivysmittaus rakennuksen laadunvalvontamittauksena Tiivysmittaus (vuoden 2010 alun jälkeen) on tehtävä silloin kun uudisrakennuksen energiatodistuslaskel-

missa halutaan käyttää parempaa ilmavuotolukua kuin 4 l/h vaihtoa tunnissa, ellei rakennus kuulu ns. talotoimittajan ilmoitusmenettelyn piiriin. Ilmoitusmenettely vaatii jokaisesta talotyypistä tiiviysmittauksien sarjan, tulosten laskennan sekä tulosten seurannan.

Tällä hetkellä suomessa käytetään tiiviysmittauksen yksikkönä n_{50} - lukua. Joka kertoo, montako kertaa rakennuksen ilma vaihtuu tunnin aikana 50Pa paine-erolla vaipan vuotokohtien kautta. 2010 määräyksissä vertailuarvo n_{50} - luvulle on 2,0 l/h. Jos suunnitelmissa käytetään parempaa kuin 4,0 l/h tulee tiiviys osoittaa.

Tiiviysmittauksen yksikkönä 1.7.2012 eteenpäin käytetään q_{50} - lukua. Joka kertoo kuinka paljon ulkovaippa neliötä kohden vuotaa tunnin aikana 50Pa paine-erolla vaipan vuotokohtien kautta.

2012 määräyksissä vaatimus pientaloille ja rivitaloille on q_{50} - luvulle 4,0 [m³/(h m²)]. Ja muille rakennuksille 3,0 [m³/(h m²)]. Vertailuarvona käytetään 2 [m³/(h m²)] ja suositus on alle 1,0 [m³/(h m²)]. (Sauli Paloniitty: Tiiveysmittausraportin malli 2011).

2.3 RAKENNUKSEN JA HUONEISTON ILMATILAVUUDEN LASKENTA

Rakennuksen mitattavaan tilaan otetaan mukaan kaikki tilat, jotka ovat selvästi ilmanpitävän vaipan sisäpuolella. Yleensä mitattavaan tilaan kuuluvat kaikki lämmitetyt ja jäähdytetyt tilat sekä tilat, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Osassa rakennusta tehtävissä paine-eromittauksissa mitattavaan tilaan otetaan pääsääntöisesti mukaan kaikki saman palo-osaston sisällä olevat tilat. Jos mitattavaan tilaan liittyy tila, joka on erikseen lämmitetty tai jäähdytetty ja sen ulkovaippa on lämpöeristetty, mutta se on selvästi ilmanpitävän vaipan ulkopuolella eikä tilan vaipparakenteissa ole tiivistä ilmansulkua, tila jätetään mittauksen ulkopuolelle. Tällöin mitattavasta tilasta tähän tilaan johtavat ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot tiivistetään ja tilaan johtavat kulkuaukot suljetaan.

Edellä kerrotun mukaisesti rakennuksen mitattavaan tilaan otetaan mukaan myös esimerkiksi tekniset tilat, autotallit, varastot ja kellarit, jos ne ovat ilmanpitävän vai-

pan sisäpuolella. Tämä pätee riippumatta siitä, ovatko tilat lämmitettyjä tai onko niihin erillinen sisäänkäynti ulkoa. Sama koskee esimerkiksi loma-asuntojen yhteydessä olevia saunaosastoja ja WC: itä, joihin on ulkoa erillinen sisäänkäynti. Väliseinien ilmatiiveyttä voidaan arvioida painekokeen yhteydessä mittaamalla paine-ero seinän yli. Jos rakennuksen ilmavuotoluku mitataan rakennuksen omalla ilmanvaihtokoneella, on mittaukseen otettava mukaan kaikki ne tilat, joiden ilmanvaihto tapahtuu laitteiston kautta.

Ilmanvuotoluvun laskennassa käytettävä rakennuksen sisätilavuus lasketaan Rakentamismääräyskokoelmassa D5/16/ määritetyn rakennuksen ilmatilavuuden mukaan. Rakennuksen ilmatilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei lasketa rakennusten ilmatilavuuteen. Huoneiston ilmatilavuus lasketaan vastaavalla tavalla kuin rakennuksen ilmatilavuus. Näin ollen huoneiston tilavuuden laskenta poikkeaa Rakentamismääräyskokoelmassa D5/16/ määritetystä huoneiston tilavuudesta siltä osin, että väliseinät otetaan mukaan ilmatilavuuteen.

Rakennuksen ja huoneiston ilmatilavuuden laskenta poikkeaa myös standardissa SFS-EN 13829/14/ esitetyistä ohjeista siltä osin, että niihin otetaan mukaan myös alle 160 cm olevien tilojen sekä väliseinien ilmatilavuus. Alle 160 cm korkeiden tilojen huomioon ottaminen laskennassa kuvaa paremmin tutkittavan rakennuksen todellista ilmatilavuutta. Väliseinien mukaan otto taas helpottaa ilmatilavuuden laskemista merkittävästi, mutta niiden aiheuttama virhe lopputuloksessa on vähäinen.

Uusissa taloissa tiiveysmittaus on suositeltavaa tehdä siinä vaiheessa rakentamista, kun kaikki ulkovaipan ilmatiiveyteen vaikuttavat rakennustyöt on tehty valmiiksi, mutta vaipan mahdollista lisätiivistämistä voidaan vielä suorittaa. Jos ilmanvuotoluvun suunnitteluarvoa on käytetty lämpöhäviöiden kompensoinnissa ja mittaustulos poikkeaa suunnitteluarvosta huonompaan suuntaan, tehdään lisätiivistäminen ja uusintamittaus, ja tarvittaessa tätä jatketaan, kunnes päästään suunnitteluarvon mukaiselle tasolle. Mittauksen yhteydessä vuotoreitit voidaan paikallistaa joko lämpökameralla (alipainekokeessa) tai merkkisavulla (ylipainekokeessa) ja siten mahdollis-

tetaan niiden välitön tiivistäminen. Tällä menettelyllä voidaan parantaa myös sellaisten rakennusten ilmanvuotolukua, joissa se ei ole välttämätöntä lämpöhäviöiden osoittamiseksi. (RT 80- 10974).

2.4 PIENTALOJA KOSKEVAT ERITYISOHJEET

Useita huoneistoja sisältävän pientalon (pari- tai rivitalo) ilmavuotoluku voidaan määrittää mittaamalla ilmanpitävyys vähintään yhdestä huoneistosta. Rivitalossa mitattavan huoneiston tulee olla päätyhuoneisto, jotta mitattavavala rajoittuisi mahdollisimman suurelta osalta ulkovaippaan. Myös siinä tapauksessa, että rivitalosta mitataan useampia huoneistoja, vähintään yhden niistä tulee olla päätyhuoneisto. Kun pientaloista mitataan useampia huoneistoja, sen ilmanvuotoluku on huoneistoista saatujen mittaustulosten keskiarvo.

Jos halutaan selvittää useasta huoneistosta koostuvan pientalon pelkän ulkovaipan ilmanvuotoluku, on kaikki huoneistot paineistettava samaan paineeseen yhtä aikaa, jotta ilma ei virtaa merkittävästi huoneistojen välisten seinien läpi. Tämä edellyttää, että jokaiseen huoneistoon asennetaan oma painekoelaitteisto tai painekoe tehdään pientalon omilla IV- koneilla samanaikaisesti. Talon ilmavuotoluku saadaan tässä tapauksessa huoneistokohtaisten ilmanvuotolukujen keskiarvona. Käytännössä tämä on erittäin vaikea toteuttaa, joten yleensä rivitalohuoneistojen (jos asunnot suoraan yhteydessä toisiinsa) ja kerrostalojen yksittäisten huoneistojen mittauksessa on mukana myös siirtoilmat muista huoneistoista).

Jos useammasta huoneistosta koostuvan pientalon vaipassa on käytetty useita eri toteutusratkaisuja, jotka edellyttävät vähintään kuuden rakennuksen otoksen mittausta (esimerkiksi puu- ja kivirakenteinen ulkoseinä), tulee mitattava huoneisto tai huoneistot valita tutkimukseen siten, että ne sisältävät kaikilla tällaisilla toteutusratkaisuilla tehtyjä vaipan osia. Jos huoneistojen valinta on tässä suhteessa ongelmallista, on suositeltavaa, että pientalon kaikki huoneistot mitataan luotettavan mittaustuloksen saamiseksi.

Pientalossa tehtävässä painekokeessa vaipan yli vallitseva paine-ero voidaan mitata yhdellä paine-eromittarilla. Paine-ero on suositeltavinta mitata läheltä rakennuksen sisäkorkeuden puoliväliä. Painekoelaitteistoa käytettäessä, paine-eron mittausta tapahdetaan käytännössä usein ulko-ovesta, johon laitteisto on kiinnitetty. Tarvittaessa voidaan käyttää lisämittareita tarkistusmittauksiin. (RT 80- 10974).

2.5 KERROSTALOJA KOSKEVAT ERITYISOHJEET

Kerrostaloissa ilmanpitävyys mitataan joko yksittäisistä huoneistoista, yhdestä tai useammasta kokonaisesta portaasta tai koko rakennuksesta. Eri menetelmillä mitattuja kerrostaloja voidaan käyttää saman talotyypin ilmoitetun ilmavuotoluvun määrittämiseen. Jos mittaus tehdään yksittäisestä huoneistosta tai useammasta kokonaisesta portaasta, kerrostalon ilmanpitävyys on saatujen mittaustulosten keskiarvo.

Yksittäisten huoneistojen ilmanpitävyys mitataan helpoimmin painekoelaitteistolla ja koko portaan tai koko rakennuksen ilmanpitävyys joko painekoelaitteistolla tai rakennuksen omalla keskitetyllä ilmanvaihtokoneella. Yksittäisten huoneistojen mittauksessa ei eritellä ulkovaipan ja huoneistojen välisiä ilmavuotoja, joten koko portaan tai koko rakennuksen ilmaisanpitävyyden mittaus antaa tältä osin tarkemman tuloksen kerrostalon ulkovaipan ilmanpitävyydestä. Toisaalta koko portaan tai koko rakennuksen ilmanpitävyyden mittaus muuttaa yleensä merkittävästi rakennuksen sisätilavuuden ja vaipan sisäpinta-alan välistä suhdetta verrattuna yksittäisten huoneistojen mittaukseen. Tämä pienentää yleensä n_{50} -luvun arvoa, vaikka ulkovaipan ilmanpitävyys ei todellisuudessa paranekaan. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että kerrostalon ilmanpitävyydestä saadaan riittävän hyvä kuva sekä yksittäisten huoneistojen mittauksella että koko portaan tai koko rakennuksen mittauksella.

Edellä kuvatuista syistä johtuen on kuitenkin suositeltavaa, että kerrostalojen ilmaavuotoluku mitataan myös talotyypin seurannan yhteydessä samalla tavoin kuin se on mitattu tutkimuksen yhteydessä. Kerrostalojen ja korkeiden rakennusten ilmanpitävyyden mittauksessa q_{50} on n_{50} -arvoa kuvaavampi luku, johtuen ilmatilavuuden ja ulkovaipan erilaisesta suhteesta esim. pientaloihin verrattuna. (RT 80- 10974).

2.5.1 Yksittäisissä huoneistoissa tehtävät mittaukset

Ilmanvuotoluvun määrittäminen yksittäisten huoneistojen mittaustuloksista edellyttää yhteensä vähintään kolmen huoneiston mittausta kustakin talosta. Huoneistot tulee mitata eri kerroksista siten, että vähintään yksi huoneisto mitataan alimmasta ja ylimmästä kerroksesta ja lisäksi mitataan vähintään yksi huoneisto joka toisesta välikerroksesta. Kerrostalon ilmanvuotoluku on huoneistoista saatujen mittaustulosten keskiarvo.

Jos kerrostalon vaipassa on käytetty useita eri toteutusratkaisuja, jotka edellyttävät vähintään kuuden rakennuksen otoksen mittausta (esimerkiksi betonielementtipuurakenteinen ulkoseinä), tulee mitattavat huoneistot valita tutkimukseen siten, että ne sisältävät kaikilla toteutusratkaisulla tehtyjä vaipan osia. Tällöin mitattavien huoneistojen määrää on tarvittaessa lisättävä niin, että mittaustulokset kuvaavat kattavasti koko kerrostalon ilmanpitävyys määritetään koko portaan tai koko rakennuksen mittauksena.

Kerrostalohuoneistossa tehtävässä mittauksessa painekoelaitteisto asennetaan huoneiston ulko-oveen, mutta paine-eromittaus tehdään ulkovaipan yli. Paine-ero voidaan mitata yhdellä paine-eromittarilla. Paine-ero on suositeltavinta mitata läheltä huoneiston sisäkorkeuden puoliväliä. (RT 80- 10974).

2.5.2 Yhdessä tai useammassa portaassa tai koko rakennuksessa tehtävä mittaus

Porrashuoneellisissa kerrostaloissa ilmapuotoluvun määrittäminen voidaan tehdä myös koko portaasta tai koko rakennuksesta. Tämä edellyttää että portaan tai rakennuksen huoneistojen ulko-ovet ovat porrashuoneeseen avoinna ja huoneistoissa olevat tarkoituksellisesti ilmanvaihtoa varten tehdyt aukot, tulisijat ja hormit on suljettu tiiviisti.

Tässä yhteydessä on syytä selventää, että edellä kuvattu koko portaan mittauksena määritelty kerrostalon ulkovaipan ilmanpitävyys ei tarkoita samaa asiaa kuin porrashuoneen ilmanpitävyys, jossa tarkoituksena on määrittää porrashuoneen ja huo-

neistojen välisten seinien ja ovien ilmanpitävyys. Porrashuoneen ilmanpitävyyttä määritettäessä huoneistojen porrashuoneeseen liittyvät ulko-ovet ovat suljettuina. Porrashuoneen ilmanpitävyys ei kuvaa rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyttä eikä sitä näin ollen voida käyttää kerrostalon ilmavuotolukua määritettäessä. (Porrashuone on ollut yleensä ilmanpitävyydeltään kerrostalon heikon kohta).

Koko portaassa tai koko rakennuksessa tehtävä painekoe tulee toteuttaa ensisijaisesti siten, että painekoelaitteisto asennetaan kerrostalon keskikerrokseen esimerkiksi parvekeoveen, joka on lähellä portaan sisäkorkeuden puoliväliä. Tällöin vaipan yli vallitseva paine-ero voidaan mitata yhdellä laitteiston yhteydessä olevalla paine-eromittarilla. Paine-eroa on kuitenkin suositeltavaa seurata kokeen aikana myös talon ylimmässä ja alimmassa kerroksessa. Lisäksi on suositeltavaa, että paine-eroa pidetään yllä jonkin aikaa ennen tekoa varsinkin suurimmilla paine-eroilla. Tällä menettelyllä varmistetaan, että paine-ero pääsee muodostumaan ulkovaipan yli kaikkialla porrashuoneessa.

Jos painekoelaitteisto asennetaan lasitetun parvekkeen oveen, tulee varmistua, että parvekelasit ovat auki. Lisäksi parvekkeen koko ja muoto tulee olla sellainen, että puhaltimesta tuleva ilmavirta pääsee kohtuullisen esteettömästi virtaamaan ulkoilmaan alipainekokeen aikana.

Jos paine-eroa ei mitata portaan sisäkorkeuden puolivälin läheltä, se tulee mitata sekä ylimmästä että alimmasta kerroksesta, jotta sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero ei vaikuttaisi mittaustulokseen merkittävästi. Tämä tilanne esiintyy esimerkiksi silloin, jos painekoelaitteistoa ei voida jostain syystä asentaa kerrostalon keskikerrokseen tai jos portaan ilmavuotoluku mitataan kerrostalon omalla ilmanvaihtolaitteistolla. Näissä tapauksissa paine-erona käytetään ylimmän ja alimman kerroksen mittaustulosten keskiarvoa. Paine-eromittaus tulee tehdä siten, että mittaustulokset tallennetaan pidemmältä aikaväliltä ja keskiarvot lasketaan jälkikäteen. Tällöin on tärkeää varmistaa, että eri mittareilla mitatut paine-erot vastaavat samaa ajankohtaa.

Siinä tapauksessa, että painekoelaitteisto on asennettu alakerran ulko-oveen, on alipainekokeessa syytä mitata ilman tilavuusvirrat myös 50 Pa suuremmilla paine-

eroilla. Tämä johtuu siitä, että painekoelaitteisto säätää ilma tilavuusvirtaa laitteiston yhteydessä olevan paine-eroanturin perusteella. Tällöin lukemat vastaavat talon alaosassa olevaa paine-eroa, joka voi olla huomattavasti suurempi kuin portaan keskimääräinen paine-ero, varsinkin talviaikaan.

Vanhojen kerrostalojen seurantamittaus koko portaan tai koko rakennuksenmittauksena siten, että huoneistojen ulko-ovet ovat porrashuoneeseen avoinna, tuottaa usein hankaluuksia, koska huoneistoissa on jo asukkaat ja lemmikkieläimiä. Jos uuden kerrostalon ilmavuotoluku on ollut alhainen ($\leq 1,0$ l/h), seurantamittaus voidaan tehdä siten, että avataan ainoastaan huoneistojen väliovet ja postiluukut. Tällöin postiluukujen kautta tehtävä mittaus ei vielä merkittävästi muuta mittaustulosta (mittaustulokset ovat tyypillisesti enintään 0,1 l/h pienempiä kuin ulko-ovet auki tehdyssä mittauksessa). Muussa tapauksessa huoneistojen ulko-ovet tulee avata porraskäytävään. Kerrostalojen yhteisten tilojen ovet (esimerkiksi oleskelu-, varasto- ja saunatilat) on aina pidettävä avoinna porrashuoneeseen seurantamittauksen aikana riippumatta siitä, mikä kerrostalon ilmavuotoluku on ollut uutena mitattaessa.

Korkeiden rakennusten kohdalla alimman ja ylimmän kerroksen paine-ero ulkoilmaan verrattuna on hyvin erilainen erityisesti jos rakennuksessa on avointa tilaa ylös asti ja rakennuksessa on koneellinen iv-järjestelmä. Kerrostalojen huoneistokohtaisessa iv-järjestelmässä tilanne on toisenlainen. Rakennuksen painesuhteet tulisi mitata ainakin kolmelta eri tasolta mittausten alkaessa myös sen vuoksi, että selvitetään vallitsevat painesuhteet ns. normaalissa käyttötilassa. Jos vallitseva alipaine on 1. kerroksessa esim. -30 Pa, se ei ole "normaali" tilanne. Joissakin tapauksessa tällaisia paine-eroja ei voida iv-järjestelmästä johtuen välttää. Isommissa rakennuksissa, kuten liike- ja toimisto rakennukset, olisi syytä selvittää ilmanvaihtojärjestelmän palvelualueet sekä myös olemassa olevat mittauspöytäkirjat. (RT 80- 10974).

2.6 TIIVEYSMITTAUKSEEN TARVITTAVAT LAITTEET

Tiiveysmittaus voidaan suorittaa rakennuksen oman ilmanvaihtojärjestelmän avulla, mikäli puhaltimet ovat taajuusohjattuja ja puhaltimien ilmavirta voidaan mitata. Ra-

kennuksen omia laitteita käyttämällä kanavavuodot sisältyvät mittaustulokseen. Kanavien tiiveys pitää kuitenkin olla erikseen tarkistettu. Isojen rakennusten, kuten urheiluhallien, tiivyyttä ja vuotoilmavuotoa voidaan mitata myös merkkiainekokeen avulla. Rakennuksen kokonaisilmanvaihdon ja hallitun ilmanvaihdon yhteyttä voidaan tutkia merkkiaineen avulla, pitoisuuden alenemamenetelmällä. Tutkittavaan tilaan johdetaan merkkiainetta, ilokaasua (typpioksiduuli, N₂O) tai rikkiheksafluoridia(SF₆), ja seurataan pitoisuuden laskua. Pitoisuuden aleneman avulla voidaan määrittää kokonaisilmanvaihtokerroin. Kun samanaikaisesti mitataan venttiilikohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat, saadaan erotuksena vuotoilmanvaihto kyseisessä mittaustilanteessa. Menetelmää voidaan käyttää myös vuotoilmanvaihdon määrittämiseen, kun ilmanvaihtojärjestelmä pysäytetään ja estetään ilman virtaus ilmanvaihtokanaviston kautta: Rateko: (Rakennusten ilmanpitävyys ja tiiveyden mittaus). Käytössä on myös muutamia kaupallisia tiiveysmittauslaitteita. Tällä hetkellä Suomeen tuodaan ainoastaan kahta erilaista Blowerdoor laitteistoa. Toinen on nimeltään RETROTEC-BLOWERDOOR ja toinen MINNEAPOLIS-BLOWERDOOR, molemmat USA:sta (kuvat 2 ja 3).



Kuva 2. Retrotec- Blowerdoor



Kuva 3. Minneapolis-Blowerdoor

2.7 ILMANPITÄVYYSRAPORTIN SISÄLTÖ

Ilmanpitävyysmittauksesta laaditaan raportti, jossa esitetään vähintään seuraavat tiedot:

- rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot
- rakennuksen tai sen mitatun osan ilmatilavuus
- mittaajan nimi ja mittauspäivämäärä
- säättiedot: ulkolämpötila, tuulen nopeus , tuulen suunta ja ilmanpaine
- tiiveysmittausten kattavuus: koko rakennus/ osarakennus
- tiedot mittauksissa käytetyistä laitteista ja koejärjestelyistä: kalibrointitiedot, paine-eron tuottamistapa (apupuhallin/ omailmanvaihtojärjestelmä)
- mittauspisteiden sijainti
- mittauksen ajaksi suljetut aukot
- mahdolliset poikkeamat standardista SFS-EN 13829
- mittauksien tulokset: mittauspaine-erot, mitatut vuotoilmavirrat eri paine-eroilla, sisälämpötila, ulkolämpötila ja ilmanpaine
- mittauksien tuloksista määritelty vuotoilmavirta 50 Pa: n paine-erolla
- vaipan ilmavuotoluku n_{50} , 1.7.2012 alkaen q_{50} . (RT 80- 10974)

2.8 MITTAUSLAITTEIDEN TARKKUUS JA KALIBROINTI

Painekoelaitteistojen mittaustarkkuudessa esiintyy käytännössä merkittäviä merkkitai laitekohtaisia eroja pienillä rakennuksen vuotoilmavirroilla ja ilmanvuotoluville (ilmanvuotoluvun ollessa $< 1,5$ l/h). Tästä syystä mittaustulokset voivat vaihdella tällä alueella huomattavasti. Ilmanpitävyysraportissa tulee aina mainita mittauslaitteiston merkki ja soveltuvuus pienten ilmavirtojen ja vuotolukujen mittaukseen sekä tarkkuus eri ilmavirroilla, jos se on määritetty testikokeiden avulla. Rakennusvalvonta voi perustellusta syystä edellyttää tarkistusmittausta toisella laitteella, jos

mittaustulokset on määritelty laitteistolla, jonka soveltuvuus on todettu puutteelliseksi tuloksena esitetyle ilmavirta- tai vuotolukutasolle.

Painekokeessa käytettävät mittauslaitteet tulee kalibroida säännöllisesti. Ellei käytettäville laiteille ole annettu valmistajan taholta erillisiä kalibroitivälejä, voidaan käyttää seuraavia ohjeellisia kalibroitivälejä:

- painekoelaitteisto 2 vuoden välein
- virtaus- ja paine-eromittarit 2 vuoden välein
- lämpötila-anturit 4 vuoden välein.

Jos laitteisto vaurioituu, kalibroinnit on aina tehtävä uudestaan vaurion korjaamisen jälkeen. (RT 80- 10974).

Lähdeluettelo

1. Sauli Paloniitty: Tiiveysmittaus raporttimalli 2011: (Tiiveysmittauskurssin opetusmateriaalia).
2. Rateko: Rakennusten ilmanpitävyys ja tiiveyden mittaus 2010 (Tiiveysmittauskurssin opetusmateriaalia).
3. RT 80-10974:Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. (lokakuu 2009).
4. Suomen rakennusmääräyskokoelma D5 Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. (2007)

3. Lämpökamerakuvaus

3.1 JOHDANTO LÄMPÖKAMERAKUVAUKSEEN

Lämpökameroita on ollut saatavilla kaupallisilla markkinoilla 1960-luvulta lähtien. Suomessa rakennusten lämpökuvausta on tehty 1970-luvun lopulta lähtien. Aina 1980-luvun loppuun asti kuvausyksiköt olivat suuria ja painavia. Lämpökameratekniikka on mennyt 1990-luvun alusta lähtien suurin harppauksin eteenpäin. Kameroiden parantunut erotuskyky, koko, paino, kuvankäsittelyominaisuudet sekä oheistuotteena saatavat kuvankäsittelyohjelmistot ja hinta ovat mahdollistaneet sen, että nykyisin lämpökuvausta käytetään aikaisempaa yleisemmin rakennusten kuvauksessa.

Lämpökameralla voidaan selvittää rakennuksista hyvin monentyyppisiä asioita: rakennusmateriaalien, rakennusten lämpöolosuhteita ja – viihtyvyyttä, vaipan ilmanpitävyyttä, rakenteiden lämpötekniistä toimivuutta, tietyin edellytyksin kosteus- ja homevaurioita sekä talotekniikan vikoja ja puutteita. Usein lämpökamerakuvauksen yhteydessä joudutaan tekemään myös erityyppisiä tukimittauksia muilla menetelmillä.

Rakennuksen lämpökuvaus sisältää perustapauksessa rakennuksen ulkovaipan sisäpuolisen ja ulkopuolisen lämpökuvauksen. Kuvauksesta pyritään etsimään rakennuksen ulkovaipan viat ja puutteet, vaipan ilmavuodot, lämmöneristeiden kunto ja toimivuus sekä kylmäsillat. Poikkeamat esitetään raportissa lämpökuvina ja näkyvän valon kuvina ja ongelmapaikat merkitään pohjapiirustuksiin.

Muita lämpökuvauksen yhteydessä mitattavia suureita ovat muun muassa sisäilman ja ulkoilman olosuhteet: lämpötila, suhteellinen kosteus, sisäilman ja ulkoilman välinen paine-ero sekä aistinvaraiset havainnot. Lämpökuvauksen ja edellä mainittujen tukimittausten avulla päästään selville rakennuksen vaipan kunnosta ja lämpöoloista. Samalla saadaan viitteitä sisäilman laadusta, ilmanvaihdon toimivuudesta ja

mahdollisista muista käyttäjien viihtyvyyteen liittyvistä seikoista sekä voidaan esittää selkeitä johtopäätöksiä ja ehdotuksia jatkotoimenpiteeksi.

Perustapauksessa rakennuksen lämpökuvauksen tuote on raportti tutkimuksesta tai tehdystä mittauksesta, jossa on käytetty osana mittaavaa lämpökameraa. Sen tulee olla selkeä dokumentti tehdystä työstä niin, että kolmaskin osapuoli voi tulkita tuloksia. Raportti rakennuksen tiiveydestä ja lämmöneristyskyvystä on sekä omistajan-taloyhtiön, urakoitsijan tai kiinteistönpitäjän- että myyjän ja ostajan etu. Sen avulla voidaan välttyä kalliilta vuosikorjauksilta tai kaupan jälkeisiltä erimielisyyksiltä sekä pahimmissa tapauksessa oikeustapauksilta.

Lämpökuvauksella on ainetta rikkomattomana tutkimusmenetelmänä myös omat rajoituksensa. Lämpökuvien tulkinnessa täytyy ottaa huomioon kaikki pintalämpötiloihin mahdollisesti vaikuttaneet tekijät. Lisäksi on varottava ylitulkintaa - joissakin tapauksista voidaan joutua uusintakuvaus- ja käyttämään muita tutkimusmenetelmiä. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.2 KÄSITTEITÄ

Lämpökuvaus:

Lämpökuvauksella tarkoitetaan pinnan lämpötilajakauman määrittämistä ja kuvaamista mittaamalla pinnan infrapunasäteily ja tulkitsemalla lämpökuva.

Lämpökamera

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn- infrapunasäteilyn voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoiksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaalisesti.

Emissiivisyys

Pinnan kyky lähettää lämpösäteilyä. Emissiivisyysluku, emissiviteetti, kertoo kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää omaa energiaa. Lämpökuvauksessa käytetty materiaalien emissiivisyysluku vaihtelee arvo 0-1 välis-

sä ja se ilmoitetaan desimaalilukuna. Käytetty emissiivisyys on mainittava mittausraportissa.

Oleskeluvyöhyke

Huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista rakennusosista.

Huoneilman lämpötila

Ilman lämpötila mitattuna mistä tahansa oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta. Huoneilman lämpötila mitataan SFS 5511 kohdan 4 mukaisesti.

Pintojen keskimääräiset pintalämpötilat

Seinien ja lattioiden keskimääräiset pintalämpötilat mitataan standardin SFS 5511 mukaan.

Pistemäinen lämpötila

Pistemäinen pintalämpötila on muualla kuin oleskeluvyöhykkeellä mitattu paikallinen pintalämpötila.

Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyyden kokeminen ja lämpöviihtyvyyden puutteiden aiheuttamat terveydelliset vaikutukset ovat yksilöllisiä ja riippuvat monesta tekijästä, kuten sisäilmaolosuhteista, ihmisen terveydentilasta, iästä, herkistymisestä, altistusajasta sekä psykologisista tekijöistä. Sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän lisäksi mm. vaipan ilmavuodot ja pintojen lämpötilat.

Tiiveysmittaus

Rakennuksen ulkovaipan ilmanvuotoluvun n_{50} ja q_{50} määrittäminen 50 Pa alipaineessa (tai ilmavuotokohtien etsiminen muussa, käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa). Suomessa ei tällä hetkellä ole lukuarvollisia viranomaismääräyksiä rakennusten ilmanpitävyydestä.

Lämpötilaindeksi

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpötekniistä toimivuutta. Vaipan pintalämpötiloja voidaan arvioida ja verrata toisiinsa lämpötilaindeksiä

käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä vakio-olosuhteissa (-5 °C ± 1 °C: n ulkolämpötilassa ja +20 °C ± 2 °C sisälämpötilassa). Lämpötilaindeksi annetaan prosentin tarkkuudella ja se määritellään seuraavasti:

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

- TI = lämpötilaindeksi, %

- T_{sp} = sisäilman lämpötila, °C (mitattu esim. lämpökameralla)

- T_i = sisäilman lämpötila, °C

- T_o = ulkoilman lämpötila, °C

Normaali käyttötilanne

Normaalilla käyttötilanteella tarkoitetaan olosuhteita, joissa mitattava tila tavallisesti sitä käytettäessä on.

Pintalämpötilojen (lämpökuvaustulosten) arvioimiseksi on myös muita menetelmiä, esimerkkinä mitattujen pintalämpötilojen vertailu ympäristön keskilämpötiloihin tai lämmönsiirto-ohjelmistolla määritetyn pintalämpötilan vertailu mitattuun pintalämpötiloihin. Myös tietyn kriteerin alittavan pintalämpötila-alueen koko ympäristön keskimääräiseen pintalämpötilaan verrattuna voi olla yhtenä arviointiperusteena. Pintalämpötilat eivät myöskään saisi laskea kastepisteen tai oikeammin RH > 80 % tasolle. Tämä tarkoittaa sitä, että määritetään mitattavan tilan suhteellinen kosteus ja lasketaan RH=80 % (tai RH=70 %) vastaava lämpötila. RH=70 % vastaava rakenteen pintalämpötila on kondensoitumisen ja kasvuston esiintymisen kannalta hyvä kriteeri (kasvusto vaatii 80 %:n RH: n). (RT 14- 10850).

3.3 MITTAUSTEN TARKOITUS

Lämpökuvauksen tarkoituksena on määrittää rakennuksen kunnon. tai laadunvalvonnassa ulkovaipan lämpötekniinen kunto, lämmöneristyskerroksen toimivuus ja rakenteellinen toimivuus ja rakenteellinen tiiviys (ilmanpitävyys). Lämpökameran avulla voidaan samalla selvittää muita rakennuksen ja rakenteiden toimivuuteen se-

kä olosuhteisiin ja asumisviihtyvyyteen liittyviä tekijöitä, kuten ilman virtausreittejä, rakenteiden fysikaalista toimintaa, tietyin edellytyksin kosteusvaurioita ja LVIS-laitteiden toimintaa. (RT 14- 10850).

3.4 LÄMPÖKUVAUS RAKENTAMISESSA

Kun korjausrakentaminen sekä ihmisten asumisviihtyvyyteen kohdistuvat vaatimukset lisääntyvät, tulee entistä enemmän tarvetta tutkia rakennusten lämpöviihtyvyyttä ja rakenteiden kuntoa. Asunnon laadun merkitys on korostunut, kun asumistottumukset ovat muuttuneet. Hinta tai paljain silmin nähtävät pinnat eivät ole enää ainoita tekijöitä, jotka vaikuttavat omasta asunnosta haaveilevan ostopäätökseen. Entistä enemmän kiinnitetään huomiota myös talon rakenteellisiin ominaisuuksiin, kestävyys, lämmöneristyskykyyn tiiviyteen ja energiankulutukseen sekä elinkaarikustannuksiin. Nimenomaan rakenteelliset tekijät, erityisesti vesikatto, sadevesijärjestelmät, kallistukset, lattiataason korkeus maarajasta, perustukset, routaeristys ja täyttömaan laatu sekä talon alla olevat maarakenteet ovat huomattavasti pintojen ominaisuuksia tärkeämmät ns. pitkällä aikavälillä. Toinen tärkeä kohde ovat kosteat tilat ja niiden kosteuden eristys, sekä tietenkin tuulensuojalevyn ja höyrynsulun kunto.

Edellä mainittuihin seikkoihin vaikuttavia tekijöitä voidaan helposti ja pintoja rikkomatta selvittää rakennuksen lämpökuvauksella. Lämpökuvaus tukimenetelmiseen on yksi työväline työkalupakissa, jonka avulla voidaan selvittää rakennuksen toimivuuteen ja kuntoon liittyviä ongelmia. Sen avulla voidaan lisäksi varmistaa uudisrakennuksen rakenteiden lämpötekniistä toimivuutta osana laadun- ja toimivuudenvarmistusta. Perusteellisessa rakennuksen kuntotutkimuksessa voidaan selvittää ongelmakohdat ja korjaustarve ja tutkimustulosten perusteella voidaan suositella käytettävä korjaustapa. Riittävän laaja kuntotutkimus on hyvä perusta tehdä asunto-kauppa tai suunnitella peruskorjaamista.

Lämpökamerakuvaus vaatii aina tuekseen lämpötila-, paine-, ja kosteusmittauksia. Erityisesti rakennuksen ulkopuolelta suoritettava kuvaus asettaa kuvaajalle ja kuvien tulkitsijalle suuren haasteen. Lämpökuvaus ei tällöin yksin riitä, vaan usein tarvitaan myös esimerkiksi lämmönsiirtolaskelmia. usein joudutaan käyttämään myös muita menetelmiä, ja erityisesti ulko- ja sisäilman välinen paine-ero on aina mitattava. Tarve selvittää rakennuksen sisäilmasto-oloja ja rakenteiden pintalämpötiloja syntyy useasta eri syystä.

- Asuinrakennuksen asukkaat valittavat vedontunteesta, kylmistä pintalämpötiloista tai liian viileistä sisälämpötiloista.
- Rakennuksen omistajat kiinnittävät huomiota rakennusten energian kulutukseen ja alkavat suunnitella lämpöteknistä korjausta.
- Rakennuksessa esiintyy muuten korjaustarvetta, jonka yhteydessä pyritään parantamaan myös rakennuksen lämpöteknistä toimivuutta.
- Rakennuksessa esiintyy kosteusvaurioita tai siihen viittaavia ilmiöitä.
- Teollisuus- ja toimistorakennuksissa kiinnitetään huomiota energiakustannusten osuuteen ja halutaan selvittää mahdollisuudet säästää kustannuksissa.
- Rakennusten käyttäjät valittavat vedosta, kylmistä pinnoista, ilmanvaihdon riittämättömydestä tai sen tehokkuudesta jne.
- Uudisrakennuksen tai peruskorjatun rakennuksen lämpöteknisen toimivuuden laatu halutaan varmistaa.

Yleensä tarve tehdä lämpötekninen kuntotutkimus tai energiakatselmus on siis johonkin:

- kiinnostuksesta energiakustannusten pienentämiseen, missä kannustimena on yhteiskunnan myöntämä tuki
- käyttäjien valituksista ja/tai esiintyneistä vaurioista
- halusta selvittää rakennuksen ulkovaipan lämpötekninen toimivuus (uudistustanto). (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.5 LÄMPÖKUVAUKSEN PERUSTEET

Pintalämpötilojen mittaaminen lämpökuvauksella perustuu pintojen lähettämään eli emittoimaan lämpösäteilyyn. Kaikki pinnat lähettävät säteilyä, jonka voimakkuus riippuu pintalämpötilasta ja pinnan emissiokertoimesta, kyvystä lähettää lämpösäteilyä. Lämpökamerat mittaavat tutkittavasta pinnasta tullutta infrapuna-alueen kokonaissäteilyä, johon sisältyy myös pinnasta heijastunut säteily sekä joissakin tapauksissa pinnan läpi tullut säteily.

Materiaalin emissiokerroin voi olla 0-1. Luku tarkoittaa pinnan kykyä säteillä infrapunaenergiaa suhteessa täydelliseen säteilijään eli mustakappaleeseen, jonka emissiokerroin on 1. Kun emissiokerroin on alhainen, 0-0,5, pinta on kiiltävä ja heijastava. Tällöin suurin osa pinnasta lähtevästä lämpösäteilystä voi olla ulkopuolisten lämmönlähteiden ja pintojen heijastuksia. Tällaisen pinnan todellinen lämpötila on vaikea mitata lämpökameralla, joskus jopa mahdotonta. Kun pinnan emissiokerroin on lähellä 1:tä, niin heijastuksen osuus on pieni ja suurin osa lämpökameralla vastaanotettavasta lämpösäteilystä on kohteen itsensä lähettämää.

Rakennusmateriaaleista tyypillisiä heijastuksia ovat metallipinnat, erityisesti kiiltävät metallipinnat. Myös lasipintojen emissiivisyys eri aallonpituusalueilla vaihtelee. Tästä aiheutuu niin sanottua tasoheijastusta, josta johtuu esimerkiksi lämpökuvassa näkyvä kuvaajasta heijastunut lämpö, mikäli kuvaaja on kuvan alueella. Kun mitataan pintoja, joiden emissiivisyys on matala tai se vaihtelee, olisikin syytä käyttää mustaa teippisuikaletta varmistamaan pintalämpötilan oikeellisuus. Mikäli emissiokerrointa ei korjata, kiiltävät pinnat näyttävät kylmemmiltä kuin saman lämpöiset emittoivat pinnat, joilla on korkea emissiivisyys, mikäli ympäristön lämpötila on pintojen lämpötilaa matalampi.

Rakennusmateriaalien emissiokertoimet ovat yleensä onneksi lähellä arvoa 1, tyypillisesti 0,85-0,95, jolloin Suomen olosuhteissa käytännön kuvaustilanteissa saadaan riittävän tarkkoja pintalämpötilatietoja. (Hyvä käytäntö on käyttää emissiviteettikerrointa 0,93. Ikkunalasille se on n. 0,84). Mittalaitteessa tulee olla emissiivisyyden sää-

tömahdollisuus. Esim. kaikissa IR- lämpömittareissa sitä ei ole vaan laite on asetettu esim. tasolle 0,95).

Emissiivisyyteen vaikuttavat säteilyn aallonpituus, pintalämpötila, materiaali ja kuvauskulma. Käytännössä rakennusten lämpökuvaukseen vaikuttavat kuvattavan kohteen pintamateriaalin emissiokerroin ja kuvauskulma. Lisäksi kuvausetäisyys vaikuttaa siten, että mitä kauempaa kohdetta kuvataan, sen suurempaa aluetta yksi kuvauspiste edustaa. Kameran spesifikaatioista voidaan laskea yhtä kuvapistettä (pikseliä) vastaava alue etäisyyden funktiona. Samoin voidaan laskea pienin alue, jonka pintalämpötila voidaan mitata luotettavasti. On muistettava, että kamera mittaa aina kuvapisteen kokonaissäteilyä. Mitä suurempi yksittäisen kuvapisteen edustama alue on, sitä varmemmin yksittäinen ympäristöään kylmempi/ lämpimämpi kohta jää havaitsematta.

Pinnan emissiivisyys muuttuu kuvauskulman muuttuessa. Kun kohdetta kuvataan tarpeeksi vinosta kulmasta, laskee sellaisenkin materiaalin emissiivisyys, jonka emissiokerroin on korkea. Samalla kohteen pintalämpötila laskee näennäisesti.

Eri lämpötilat nähdään lämpökameran näytöstä käytetystä lämpötila- ja värisävyasteikosta harmaan eri sävyinä tai eri väreinä. Tärkeimmät kuvaustulokseen vaikuttavat tekijät ovat edellä esitetyn mukaisesti pintojen emissiivisyys, kuvauskulma sekä sää- ja sisäilmaolosuhteet ennen mittauksia ja mittaushetkellä. Eri pintojen erilaiset emissiokertoimet, katselukulma ja kuvausetäisyys varsinkin ulkopuolisessa kuvauksessa saattavat vaikeuttaa tulosten tulkintaa tai johtaa vääriin tulkintoihin.

Kuvaustilanteissa voidaan kameratyypistä riippuen jo mitata yksittäisiä pintalämpötiloja, alueiden keskilämpötiloja, maksimi- ja minimilämpötiloja sekä asetetun pintalämpötilatason alittavia alueita. Lämpökuvauksella saadaan siten kohteen pintalämpötilajakauma, josta voidaan päätellä rakenteiden lämpötekniinen toimivuus. Rakenteissa olevat puutteet tai virheet voidaan havaita ainoastaan, jos ne näkyvät rakenteen pinnalla ympäristöstään poikkeavina lämpötilaeroina. Joissakin tapauksissa nämä pintalämpötilaerot syntyvät muutostilanteessa, toisin sanoen vasta silloin, kun ulko- sisälämpötilan erotus muuttuu.

Lämpökamera mittaa siten vain ja ainoastaan mitattavan kohteen pintalämpötiloja. Uudet lämpökamerat ovat aikaisempaa kenttäkelpoisempia, ja tulokset voidaan tallentaa videonauhalle, tietokonelevykkeelle tai muistikortille. Tuloksia, kuten pintalämpötiloja, voidaan analysoida jo kuvaustilanteessa ja kuvankäsittelyohjelmilla jälkikäteen. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaukset.2011).

3.6 RAKENNUSTEN LÄMPÖKUVAUKSEEN SOVELTUVAT LÄMPÖKAMERAT

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

Tasapainotetuissakin lämpökameroissa mittalaitteen tasaantuminen on käytännön lämpökuvauksessa otettava huomioon, kun siirrytään ulko-olosuhteista sisäkuvaukseen tai päinvastoin. Laitteen on annettava tasapainottua. Tasapainottumisen vaatima aika vaihtelee kameratyypeittäin, mutta se voi olla käytännössä jopa 30 minuuttia tai enemmän, olosuhteista riippuen. Mikäli mittauksia tehdään liian nopeasti siirryttäessä uusiin lämpötilaolosuhteisiin, voidaan alussa tehdä jopa usean asteen mittausrvirheitä. Käytännössä uusimpien jäädyttämättömien ilmaisinmatriisien tasaantuminen kestää yleensä vain muutamia minuutteja, mutta varmintaa on odottaa tasaantumista olosuhteiden muutoksen jälkeen vähintään 15 minuuttia.

Kiinteistökuvauksen työkaluksi suositellaan niin sanottuja pitkäaaltokameroita, jotka toimivat pitkällä infrapuna-aalloilla, 8-12 μm :n alueella (long-wave, LW). Niillä saadaan muodostettua kuva myös kylmässä talvisäädssä ulkokuvauksessa, vaikka kohteiden lähettämä lämpösäteily on hyvin alhainen. Matalissa lämpötiloissa, kuten huoneenlämpötilassa ja sitä alemmissa lämpötiloissa, pitkäaaltoalueella on käytettä-

vissä enemmän energiaa kuin niin sanotulla lyhytaaltoalueella 2-5 μm (short-wave, SW).

Lämpökamerassa tulee olla myös kuvien tallennusmahdollisuus raportointia, tulosten jälkikäsitteilyä ja analysointia varten. lämpökameraa, joissa ei ole lämpökuvien jälkikäsitteily- ja analysointiominaisuutta tai aluemittastustyökaluja, voidaan käyttää esimerkiksi rakennustyön aikaiseen laadunvalvontaan. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.7 KAMEROIDEN KALIBROINTI JA VIRHEMAHDOLLISUUDET

Hankittaessa uutta mittaavaa lämpökameraa on syytä huolehtia siitä, että myyjä toimittaa kalibrointitodistuksen. Kamera on voitu kalibroida tehtaalla tai maahantuojalla.

Lämpökuvaajan velvollisuus on huolehtia mittalaitteiden kalibroinnista. Kalibrointitodistus on esitettävä pyydettyäessä. Lämpökamera on kalibroitava vähintään kahden vuoden välein valmistajalla, maahantuojalla tai kalibrointiin valtuutetulla laitoksella. Lämpökuvaajan on itse jokaisen mittauspäivän aikana tehtävä vertailumittaus kosketuslämpötila- anturilla tai pinnasta, jonka emissiokerroin voidaan määrittää $\pm 0,05$: n tarkkuudella ja lämpötila voidaan määrittää asteen tarkkuudella.

Vaikkakin lämpökameroiden erotteluherkkyys on todella hyvä, jopa alle $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$, ei niiden todelliseksi mittaustarkkuudeksi voida antaa käytännön tilanteisiin kuin $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämä tarkoittaa sitä, että riitatapauksissa on aina tehtävä tarkistusmittauksia kameran virherajojen selvittämiseksi. todellisuudessa kameran mittaustarkkuus sisällä $+ 20\text{ }^{\circ}\text{C}$: n lämpötilassa tehtävässä kiinteistökuvauksessa on noin $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Tämä tarkoittaa sitä että kriittisissä tapauksissa on syytä mitata pintalämpötila kosketuslämpömittarillakin).

Kameraesitteissä esitetty lämpötilan erotuskyky, eli lämpötilaresoluutio, on siten eri asia kuin käytännön mittaustarkkuus. Lämpötilan erotuskyky kertoo sen, mitan pieniä lämpötilaeroja on mahdollista havaita. Mittaustarkkuus kertoo sen, miten suuri

virhemahdollisuus kameran näyttämään pintalämpötila-arvoon sisältyy edellyttäen, että kamera-asetukset on määritetty oikein.

lämpökuvausta suorittava yritys tai laitos voi myös hankkia oman mustakappaleen. Tarkalla lämpötilamittarilla varustettuja mustakappaleita on saatavissa useilta valmistajilta. lämpökameralla mitataan mustakappaleen mittaussaukon pohjan pintalämpötilaa ja tulosta verrataan mustakappaleen lämpömittarin lukemaan. (Sauli Piloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaukset.2011).

3.8 RAKENTEIDEN PINTALÄMPÖTILAT

Rakentamisen laatu ja rakenteiden toiminta voidaan varmentaa käyttämällä erilaisia mittausten menetelmiä. Lämpökuvaukset on oikein käytettynä puolueeton ja suhteellisen tarkka mittausmenetelmä. Sillä voidaan nopeasti rakenteita rikkomatta määrittää lämpövuotokohdat sekä havaita, onko kyseessä heikko eristys tai eristepuute, ilma- vuoto, kylmäsilta tai joissakin tapauksissa kosteusvaurio.

Lämpökuvauksen käyttö rakenteiden pintalämpötilojen määrittämisessä on yleistynyt. Rakennuksia voidaan kuvata sekä ulko- että sisäpuolelta. Pääasiassa rakennuksia kuvataan sisäpuolelta. Mikäli ulkovaipassa on tuuletusrako, ulkopuolisen kuvauksen käyttö on rajoitettua. Tällöin lämpökuvauksella rakennuksen ulkopuolelta voidaan määrittää ikkunoiden toimivuutta sekä yläpohjan lämpövuotoja. Tällöinkin on otettava huomioon tulokseen vaikuttavat tekijät, kuten räystäiden vaikutus, ikkunaheijastukset ym. tekijät.

Rakenteet eivät ole koskaan tasalämpöisiä, eivätkä kaikki havaitut pintalämpötilojen epäsäännöllisyydet merkitse sitä, että rakenteissa tai eristeissä olisi sillä kohdalla puutteita tai virheitä. Rakenteissa on myös niin sanottuja kylmäsiltoja, jotka aiheuttavat pintalämpötilojen laskua. Tyypillisesti tällaisia kohtia ovat ulkonurkat ja latti- anrajat. Liitoskohdissa on myös suoraa seinän osaa suurempi pintavastus, joka alen- taa rakenteen pintalämpötilaa. Rakennusmääräyskokoelman osassa C 4 esitetään,

miten rakenteiden pintalämpötilat samoin kuin keskimääräiset pintavastukset voidaan laskea U- arvolaskelman perusteella.

Sisäpuolisessa lämpökuvauksessa rakennuksen nurkat, katon ja seinän sekä lattian liitokset, läpiviennit yms. ovat siten aina ympäristöään kylmempinä. Rakennenvirheet, kuten eristevirheet tai-puutteet, aiheuttavat paikallista pintalämpötilojen laskua. Jos pintalämpötilat ovat tarpeeksi ympäristöään matalampia, voidaan epäillä rakenteellisia puutteita.

Kastuneet rakenteet muuttavat pintalämpötilaa suhteessa muuten samantyyppiseen mutta kuivaan rakenteeseen. Kastuneet rakenteet tulevat esiin voimakkaiden lämpötilamuutosten yhteydessä, koska märät rakenteet lämpiävät ja jäähtyvät hitaammin kuin kuivat. Samoin vakiotilanteessa kostea eriste johtaa paremmin lämpöä kuin kuiva eriste.

Ulkoseinärakenteiden ilmanpitävyys voi paikoittain vaihdella, jolloin rakenteiden vuotokohtien läpi tuleva kylmä ilma jäädyttää rakenteita ja aiheuttaa vedontunnetta – kylmän ilman nopeasta liikkeestä johtuvaa vetoa sekä kylmien pintojen aiheuttamaa säteilyvetoa. Ulkopuolelta mitattuna eristevirheet ja kylmäsilat näkyvät vastaavasti ympäristöään lämpimämpinä.

Lämpökuvauksella voidaan tutkia myös pinnoitteiden kuntoa, kuten rappauksen irtoamista. Alustastaan irronneen rappauksen alla on ilmakerros, joka toimii eristeenä. Tällöin esimerkiksi jos pintaa lämmitetään, irronnut rappauksen osa lämpiää nopeammin ja myös jäähtyy nopeammin kuin hyväkuntoinen pinnoite.

Rakennuksen ulkoseinien sekä lattian ja katon liitoskohtien pintalämpötiloihin vaikuttavat rakenteiden ja niiden kunnon lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmitysjärjestelmän toiminta sekä sääolosuhteet, kuten ulkolämpötila, ulko- ja sisälämpötilojen erotus, auringonpaiste, tuuli ja lämpötilojen muutokset. Lisäksi siihen vaikuttavat sisäiset kuormat, kuten valaistus ym. Tämän vuoksi sallittujen pintalämpötilojen määrittäminen ei ole yksinkertaista.

Lämpökameralla voidaan määrittää nopeasti suurien pintojen pintalämpötilajakauma. Lämpökuvauksen aineita rikkomattomana optisena mittausmenetelmänä sisäl-

tää kuitenkin virhelähteitä, mikäli kaikkia tulokseen vaikuttavia tekijöitä ei tunneta, ei oteta huomioon tai ei kyetä poistamaan.

Lämpökuvauksella voidaan tutkia rakennuksesta myös muitakin kun rakenteellisia asioita, kuten sähkökeskuksia, sähköjohtojen sijaintia ja kuormitusta. Lämpökameral-la voidaan myös tutkia lämmityslaitteita, sen järjestelmiä ja osia, välillisesti ilmanvaihtoa ja sen toimintaa, vesijohtoja, vesivuotoja ja lämmitysputkistojen sijaintia. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.9 LÄMPÖVUODOT

Lämpövuodoksi kutsutaan sellaisia rakenteessa olevia kohtia, joissa lämmönjohtuminen on selvästi suurempaa ympäröivään rakenteeseen verrattuna. Lämpövuotoja aiheutuu niin sanotuista kylmäsilloista, kuten kantavista rakenteista tai eristeputteista. Pelkkään lämpövuotoon ei liity ilmavuotoja eli rakenteen läpi kulkeutuvia konvektiovirtauksia.

Ympäristöään selvästi matalammat pintalämpötilat voivat johtua kylmäsiltojen aiheuttamasta lämpövuodosta, rakenteiden läpi kulkevasta ilmavirtauksesta tai näiden yhdistelmästä.

Lämpövuoto on yleisnimitys, jota ei pyritä käyttämään, vaan lämpövuodot luokitellaan joko eristeivioiksi tai kylmäsilloiksi. Lämpövuotoon voi myös liittyä ilmavuotoa, jolloin se erotellaan tulkinnassa erikseen. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.10 ILMAVUODOT

Kun lämpökuvauksella etsitään rakennuksen ilmavuotoja, on tärkeää ymmärtää rakennuksessa vallitsevat painesuhteet. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ensisijaisesti ilmanvaihtojärjestelmä, savupiippu- eli hormivaikutus ja tuuli. Ilmavuotoihin vaikuttaa höyrynsulun tai ilmansulun tiiveys. Myös tuulensuojalevyn vuotokohdat jäädyttävät eristekerrosta, vaikka höyrynsulku olisikin kunnossa.

Kylmänä vuodenaikana ulko- ja sisätilojen välisestä lämpötilaerosta aiheutuu luonnollisesti savupiippuvaikutuksesta rakennuksen yläosaan ylipainetta ja alaosiin alipainetta. Savupiippuvaikutuksesta aiheutuvaan paine-eroon vaikuttavat rakennuksen korkeus sekä ulkoilman ja sisäilman lämpötilaero.

Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä perustuu hormivaikutukseen ja tuulen ejetorivaikutukseen. Painovoimaisessa rakennuksessa on siten nollataso, jonka yläpuolella on ylipaine ulkoilmaan nähden ja alapuolella alipaine ulkoilmaan verrattuna. Nollatason yläpuolella sisäilma pyrkii tunkeutumaan rakenteiden läpi ulos, alapuolella ulkoilma pyrkii tunkeutumaan mahdollisia vuotoreittejä pitkin sisälle.

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ulkoilma otetaan ulkoilmaventtiilien kautta. Poistoilma johdetaan koneellisesti poistoventtiilien ja poistokanavien kautta ulos. Rakennus on kauttaaltaan alipaineinen ulkoilmaan nähden.

Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä, joka on joko varustettu lämmön talteenotolla tai ilman sitä, tulo- ja poistoilma johdetaan sisään koneellisesti. Rakennuksen tulisi olla tasapainossa lievästi alipaineinen ulkoilmaan verrattuna. Korkeissa tiloissa voi rakennuksen yläosa olla silti ylipaineinen. Tyypillisenä esimerkkinä tästä ovat uimahallit ja niiden hyppytorniosat sekä korkeat teollisuusrakennukset.

Ilmanvaihtojärjestelmällä vaikutetaan siten pysyvästi rakennuksen vallitseviin painesuhteisiin. Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaan siten, poistoilmamäärä suurempi kuin tuloilmamäärä, jolloin sisätiloihin muodostuu pieni alipaine. Tuulen aiheuttamaan painevaihteluun ei paljoakaan voida vaikuttaa. Sitä onkin vaikea ottaa huomioon lämpökuvauksessa.

Yhteenvetona voidaan esittää seuraavaa:

- Jos rakennuksesta tutkitaan ilmavuotoja, on rakennuksen vaipan yli oltava paine-ero
- Rakennuksen ilmavuodot kuvataan aina rakennuksen alipainepuolelta, jolloin vuodot aiheuttavat lämpötilaeron vuotokohdan ympärille.
- Rakennuksen sisällä alaosissa on yleensä aina alipainetta jo pelkän savupiippuvaikutuksen ansiosta.

- Jos ilmanvaihdolla ei rakennukseen aiheuteta alipainetta myös katonrajaan, katto-rakenteet on kuvattava ulkopuolelta (ullakolta) tai pyrittävä aiheuttamaan alipaine.
- Kun rakennuksessa on painovoimainen ilmanvaihto, rakenteiden yläosiin vaikuttaa ylipaine ja mahdollisia katonrajojen ilmavuotoja ei kaikissa tapauksissa havaitakaan.
- Kun rakennuksessa on koneellinen poisto-ilmanvaihto tai koneellinen tulo-poisto-ilmanvaihto, muodostuu sisätiloihin automaattisesti alipainetta, jolloin ilmavuodot näkyvät sisäpuolelta kuvattaessa, mikäli järjestelmä on tasapainotettu oikein.

Lämpökuvauksen yhteydessä on tehtävä aine paine-eromittauksia, jotta kuvaukset ja tulkinta voidaan tehdä oikein. Tyypillisimpiä ilmavuotopaikkoja rakennuksen sisäpuolelta tehtävässä kuvauksessa ovat:

- Ikkunat ja ovet ja niihin liittyvät rakenteisiin
- Seinän ja lattian rajakohta
- Pistorasiat ym. ilmansulun rei'itykset ja läpiviennit, erityisesti ulkoseinissä
- Katon ja seinän liitoskohdat
- Katon läpiviennit, valaisimet, hormit ym.

Savupiippuvaikutuksesta ja tuulesta johtuvia painevaihteluita rakenteiden yli ei voida välttää. Vallitsevien painesuhteiden määrittäminen on tärkeää riskien hallinnan kannalta.

Lämpimän sisäilman kulkeutuminen ulos paine-eron vaikutuksesta lisää energiakustannuksia. Lämpimän ja kostean sisäilman vuotaminen rakenteisiin sisältää aina kosteusvaurioriskin, ja siksi lämpökuvajaajan on raportoitava kaikki havaitut ilmavuodot, joissa kostean sisäilman on mahdollista vuotaa rakenteisiin. Tämä on erityisen tärkeää erityisesti kosteissa tiloissa, kuten pesuhuoneissa ja saunoissa. Konvektiovirtaus aiheuttaa riskin, että sisäilman kosteus kondensoituu rakenteiden kylmiin ulko-osiin ja aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita.

Kylmän ulkoilman vuotaminen sisätiloihin vaikuttaa ensisijaisesti viihtyvyyteen, koska se aiheuttaa vetoa. Asukkaat tai käyttäjät ovat yleensä kompensoineet vedon-tunnetta nostamalla sisälämpötilaa. Lisäksi se lisää energiakustannuksia ja pahim-massa tapauksessa aiheuttaa kosteuden tiivistymistä ulkoseinärakenteeseen, kun

ulkoseinärakenteen sisäpinta jäähtyy kastepisteen alapuolelle. Samassa homehtumisriski kasvaa.

Lämpökuvaus tulisikin suorittaa kaksivaiheisena tapauksissa, joissa halutaan erotella ilmavuotoja. Suositeltavin menetelmä on tiiveysmittaus, jossa määritetään rakennuksen ilmanvuotolukua n_{50} ja q_{50} .

Mikäli kohde kuvataan niin sanotussa normaalitilanteessa, esimerkiksi noin 0-5 Pa: n alipaineessa ja uudelleen selvästi suuremmassa alipaineessa (esimerkiksi 20 Pa), kylmäsillat ja eristystasoltaan ympäristöönsä heikommat alueet eivät jäähy lisää, mikäli näihin kohtiin ei liity ilmavuotoa. Jos rakenteessa on ilmavuotoa, pintalämpötilat laskevat ja rakenteet jäähtyvät, kun kyseessä olevaa rakennetta kuvataan normaalitilanteessa ja sen jälkeen suuremmassa alipaineessa.

Eryteisesti katto- ja yläpohjarakenteita kuvattaessa onkin aina otettava huomioon painesuhteet. Kattorakenne saattaa olla ylipaineinen ulkoilmaan verrattuna, jolloin lämpökuvauksella ei välttämättä havaita mahdollisia puutteita, mikäli kyseessä on ilmavuotokohta.

Useimmiten ylipainetta syntyy painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakennuksen yläosiin pelkästään niin sanotun savupiippuilmion ja tuulen ansiosta, ellei sitä kumota poistoilmanvaihdolla. Savupiippuilmio tarkoittaa ilman kerrostumista lämpötilojen mukaan: lämmin ilma kevyimpänä nousee ylöspäin. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.11 ERISTEVIAT

Eristeiden puuttuminen rakenteiden sisältä ilmenee lämpökuvassa useimmiten suoraviivaisena poikkeamana. lämmöneristeen puutteet ja kylmäsillat näkyvät useimmiten selvärajaisina, ja lämpötilapoikkeamat ovat usein kohtuullisen suuria useita asteita. Ne eivät kuitenkaan ole niin suuria kuin ilmavuodoissa. Riskit sen sijaan ovat samat kuin ilmavuodoissakin. Eristeviat ja etenkin eristeiden puuttuminen laajoilta alueilta ovat harvinaisempia kuin esimerkiksi ilmavuodot. Ilmavuodot erottuvat lämpökuvissa epämääräisinä, usein sahalaitaisina kuvina.

Lämpökameralla ei useinkaan havaita pieniä puutteita eristeissä, kuten rungon ja eristeen välistä pientä rakoja tai eristeen lievää ohenemaa tai painumaa. Tähän vaikuttaa oleellisesti se, kuinka rakoon pääsee syntymään konvektiovirtauksia. Jos tuulensuojaus ja ilmansulku ovat kunnossa ja ilmarako eristeessä riittävän pieni, eristeen tyhjään tilaan ei synny ilmavirtausta. Toisaalta huokoisella eristeellä – kuten mineraalivillalla, kivivillalla, selluvillalla - eristetty epähomogeeninen rakenne saattaa näyttää lämpökameralla eristevalta, vaikkakin tuulensuojauksessa on pahoja puutteita, jolloin kylmä ulkoilma ”huuhtelee” eristetilaa, vaikka eriste olisi asennettu asiallisesti. Tyypillisiä pieniä vikoja ovat:

- kierot tai vajaakanttiset runkotolpat
- pieni rako rungon ja eristeen välillä
- rikkoutunut eriste
- liian tiiviiksi sullottu eriste

Runkorakenteet erottuvat aina lämpökuvuissa. Samoin ”kovien” eristeiden, kuten polystyreenin, EPS- eristeiden ja runkorakenteiden tai eriste-eriste- liitoskohdan raja näkyy yleensä terävänä ja kapeana kylmänä vyöhykkeenä, ellei eristettä ole vaahdotettu kiinni. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.12 KOSTEUS- JA HOMEVAURIOT

Kosteus materiaalissa:

- aiheuttaa pinnan jäähtymistä, kun kosteus haihtuu materiaalin pinnalta
- parantaa materiaalin lämmönjohtavuutta, mutta heikentää sen eristyskykyä
- muuttaa pinnan lämpösäteilyn heijastusominaisuutta (emissiivisyyttä)

Edellä mainittujen tekijöiden vaikutuksesta kosteusvauriot voidaan havaita lämpökameralla, jos rakenteen yli on lämpötilaero ja /tai jos kuvattava pinta tai kosteus ei ole vesihöyryn läpäisemättömän pinnan takana. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kosteusvaurioita ei voida kovinkaan helposti määrittää lämpökameralla väliseinärakenteista, jotka on pinnoitettu esimerkiksi kaakeleilla.

Lämpökuvausta voidaan käyttää apuna kosteuskartoituksissa ja vesivahinkotapauksissa. Se ei ole kuitenkaan kosteuskartoitusmenetelmänä parempi kuin muut käytössä olevat menetelmät. Sitä voidaan verrata pintakosteudenosoittimien käyttöön virhemahdollisuuksiensa suhteen. Tarkemmat analyysit vaativat usein aina lisätutkimuksina kosteusmittauksia tai rakenteidenavausta. Yleensä kosteusvaurioiden selvittämiseen tarvitaan muuttuvia lämpötilaolosuhteita, kuten esimerkiksi rakenteen lämmittämistä, ja jäähtymisnopeuden ja pintalämpötilojen muutosten mittausta. Tällöin joudutaan monimutkaisiin laskelmiin, jolloin vaurion selvittäminen voi olla yksinkertaisempaa muilla menetelmillä. Lämpökuvauksen käyttöä ei kuitenkaan tarvitse kuitenkaan tarvitse sulkea pois, vaan se vaatii kehittämistä. Joissakin tapauksessa kostunut alue tulee esiin rakenteen jäähtyessä (ympäristöään lämpimämpi alue) tai lämmitessä (ympäristöään kylmempi alue), koska kostuneen materiaalin lämpökapasiteetti on kuivaa materiaalia suurempi. Tällöin rakennetta voidaan joutua kuvaamaan samalta paikalta useiden tuntien ajan vaurion paikallistamiseksi. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.13 LÄMPÖKUVAUS KUNTOTUTKIMUKSEN OSANA

Lämpökuvausta voidaan käyttää vanhojen rakennusten kunnan arvioimiseen. Tietoa rakennuksen kunnosta halutaan muun muassa silloin, kun ollaan suunnittelemassa peruskorjausta tai halutaan arvioida tarvetta kunnostaa rakenteita ja parantaa talotekniikkaa. Lämpökuvaus soveltuu hyvin ennakoivaan kunnossapitoon (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.14 SISÄILMASTON KUNTOTUTKIMUS

Sisäilmaston kuntotutkimuksen taustalla on yleensä käyttäjille aiheutuvaan terveyshaittaan liittyviä epäilyitä. Lämpökameralla nähdään heti ja termiset olosuhteet, kuten esimerkiksi jos tilassa on säteilyvuotoa aiheuttavia kylmiä pintoja tai jos rakenteissa on ilmapuotoja. Lämpökameralla voidaan paikantaa myös korvausilmareitit,

joiden kautta rakenteista tai muista lähteistä tulevat epäpuhtaudet saattavat kulkeutua sisäilmaan.

Usein sisäilmamittauksissa tarvitaan tueksi myös muita mittauksia, kuten pintalämpötilojen seurantamittauksia, ilman lämpötilan ja niin sanotun pallolämpötilan mittauksia sekä vetomittauksia ja ilman virtausnopeuden mittauksia. Lämpökuvauksella ei aina kaikissa tapauksissa voida havaita varsinaista homekasvustoa. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.15 TALOTEKNIIKAN LÄMPÖKUVAUS

Taloteknisten varusteiden ja laitteiden lämpökuvauksella voidaan tehdä joitakin johtopäätöksiä varusteiden ja laitteiden toiminnasta ja kunnosta. Lämpökuvauksen etuna on ennen ja kaikkea sen nopeus, sillä yhdellä silmäyksellä voidaan tehdä monia johtopäätöksiä, joiden tekeminen muuten on joko mahdotonta tai ainakin aikaa vievää. Taloteknisten järjestelmien kuvaus kannattaa toteuttaa samalla, kun rakennus tutkitaan muutenkin, jolloin saadaan hyvää lisätietoa pienellä lisäkustannuksella.

Lämmitysjärjestelmistä voidaan lämpökuvauksella todeta muun muassa:

- tarve ilmata vesipatterit
- vesipatterien ja putkistojen tukkeumat
- termostaattien toimivuus/ toimimattomuus
- piilossa olevien lämmönluovuttajien sijainti rakenteissa.

Ilmanvaihtojärjestelmästä voidaan todeta muun muassa:

- tuloilman ja poistoilman sijainti
- tuloilman lämpötila, esilämmityksen toiminta ja lämmön talteenotto
- kylmän ilman liikeratoja pinnoilla
- ilmanvaihtojärjestelmän mahdolliset vuodot.

Sähköjärjestelmistä voidaan todeta ylikuormitetut sulakkeet, löysät ja hapettuneet liitokset sekä ylikuormitetut sähköjohdot. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.16 LAADUNVARMISTUSMITTAUKSET

Lämpökuvaus on ainoa tutkimusmenetelmä, jolla voidaan riittävän tarkasti ja nopeasti määrittää rakennuksen vaipan lämpötekniinen kunto.

Lämpökuvaus on parhaimmillaan rakennusurakoitsijan laadunvarmistustyökaluna, jolloin jo työaikaisilla tarkistuksilla voidaan havaita viat ja puutteet. Tällöin niiden korjaaminen on vielä helppoa ja edullista. Samalla vuosikorjausten ja takuutöiden määrä vähenee oleellisesti. Työn aikaisten kuvausten ongelma on usein siinä, ajoittuuko työmaa aikataulullisesti kylmälle vuodeajalle. Silloin lämmityksen tulee olla talossa riittävä pitkään kytkettynä. Silloin aikataulu ei salli työnaikaisia tai ennen luovutusta tehtäviä laadunvarmistuskuvauksia, voidaan kuvaus tehdä ensimmäisenä talvena, jolloin tiloissa on jo käyttäjät. Tämä aiheuttaa usein lisäkustannuksia niin lämpökuvaukselle kuin mahdollisille korjauksille.

Uudisrakentamisen laadunvalvonnassa täytyy kiinnittää huomiota erityisesti seuraaviin kohtiin, joissa voi olla lämpötekniisiä puutteita:

- 1- lehtisen parvekeoven tiivistykset
- parvekeovien karmin ja kynnyksen tiivistykset
- nurkkaikkunoiden karmin tiivistykset
- lattian ja seinän liitokset, erityisesti ensimmäinen kerros
- ulkoseinien alaosissa olevat pistorasiat
- ulkovaipan läpi menevien rakenteiden liittymät, esimerkiksi pilarit ja palkit
- liittymäkohdat, joista puuttuvat ilmansulkulimitykset
- sokkelin ja seinän liitokset
- yläpohjan ilmansulun läpiviennit ja aukot
- rakenteiden läpi menevät tukirakenteet. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökamerakuvaus.2011).

3.17 LÄMPÖVIIHTYVYYS

Ihmisen kokema lämpöaistimus perustuu kolmeen tekijään ja/tai niiden yhteisvaikutukseen: ilman lämpötilaan, ilman liikkeeseen ja operatiiviseen lämpötilaan eli säteilylämpötilaan. Näihin oleskelutiloissa vallitseviin tekijöihin puolestaan vaikuttavat useat eri rakennuksen ja sen talotekniikan tekijät. Näitä ovat yksinkertaistettuna lämmitysjärjestelmä, ilmanvaihto ja vaippa.

3.17.1 Sisätilojen lämpöolot

Rakennuksen sisäpintalämpötiloihin vaikuttavat useat rakenteelliset ja toiminnalliset tekijät. Näitä ovat muun muassa:

- seinän eristystaso ja kylmäsiilat
- höyrynsulun tiiviys
- tuulensuojan kunto
- ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus, painesuhteet
- lämmitysjärjestelmän toiminta
- tilojen käyttö ja sisätilojen kosteuskuormitus
- sisäiset lämmön- tai kylmälähteet.

Kylmät rakenteiden sisäpinnat aiheuttavat säteilyvetoa, jota yleensä pyritään kompensoimaan nostamalla sisälämpötilaa. Samoin yleensä tehdään, jos rakenteissa on ilmavuotoja.

Matalat pintalämpötilat, vedontunne ja alentunut viihtyvyys voivat johtua kaikista edellä esitetyistä tekijöistä, joten esiintyviin ongelmiin tulisi löytää ratkaisu riittävän kokonaisvaltaisella selvityksellä. Pelkkä lämpötilajakauman kartoitus lämpökuvauksella ei aina ole riittävä toimenpide. Alentunut lämpöviihtyvyys on aina usean tekijän summa, johon vaikuttavat:

- paikallinen eristystaso ja iso ikkunapinta-ala
- rakenteiden tiiveys
- ilmanvaihtojärjestelmä (tyyppi, tasapainotus, säädöt)
- lämmitysjärjestelmä (säädöt, mitoitus, patterin koko)

- sisäiset kuormat (valaistus, sähkölaitteet jne.)

Ikkunoiden puitteet, lasiosat sekä ympäröivät rakenteet voivat olla kylmiä. Syynä tähän voi olla:

- ikkunoiden puutteellinen tiivistys

- puitteiden ja seinärakenteen välinen puutteellinen tiivistys

- rakenteelliset kylmäsillat (palkit, roilotukset ym.)

- kapea ikkunoiden karmirakenne ja puitteiden lämmönjohtavuus (metallipuitteet)

- estetty patterikonvektio: ikkunapenkin tuuletusraot tukittu, ikkunapenkki paperi-ym. varastona

- väärin säädetty lämmitys

- liian pieni patteriteho

- väärin säädetty ilmastointijärjestelmä (liian suuri alipaine)

- liian suuri tuloilman lämpötila, jolloin patteritermostaatti voi "vetää kiinni".

Usein alentunut lämpöviihtyvyyys tai heikentyneet lämpöolot johtuvat isosta ikkunapinta-alasta, erityisesti lattiasta kattoon ulottuvista ikkunoista, jotka ovat 90°:n kulmassa toisiinsa nähden, kuten esimerkiksi oleskelutilojen kulmaikkunat. Mikäli tällaisessa tiloissa on vielä varaava lattialämmitys, jolloin lattian pintalämpötilat varustilanteesta/mittausajankohdasta riippuen saattavat olla verrattain matalia, huonetilat ovat normaalia huonetiloja korkeammat ja ikkunoiden U- arvo on liian matala, voi ikkunapintoja pitkin alas virtaava, lattian suuntaiseksi kääntyvä kylmä ilmassa aiheuttaa vetoa, jota tehostaa vielä matala ikkunälämpötila. Myös suoran lattialämmityksen ja korkeiden, laajojen ikkunoiden yhteydessä on esiintynyt veto-ongelmia, ellei laseja ole lämmitetty.

Myös koneellisen poistoilmanvaihdon ikkunapuitteissa tai ulkoseinissä sijaitsevat ulkoilmaventtiilit aiheuttavat usein valituksia. Jos nämä venttiilit suljetaan tai tukitaan, siirtyvät vuotokohdat ulkovaipan muihin osiin, mikäli vaipassa on ilmavuoto-reittejä. Tyypillisiä vuotoreittejä ovat parvekkeen ovet. Tällöin kylmä ulkoilma aiheuttaa vetoa.

Monissa tapauksissa rakenteet ovat toteutettu suunnitelmien mukaan, eikä lämpökuvauksella pystytä havaitsemaan varsinaisia rakennevirheitä. Tällöin lämpökuvauksen pitää pystyä osoittamaan asiakkaalle, mistä alentunut lämpöviihtyvyys saattaa johtua ja mitä lisä- tai tukimittauksia tarvittaisiin ongelman ratkaisemiseksi. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaukset 2011).

3.18 ASUMISTERVEYSOHJEESSA MÄÄRITELLYT LÄMPÖOLOSUHTEET

3.18.1 Fysikaaliset olosuhteet

Asunnon ja muiden oleskelutilojen terveellisyyteen vaikuttavat sekä kemialliset epäpuhtaudet että fysikaaliset olosuhteet. Fysikaalisiin olosuhteisiin kuuluvat muun muassa sisäilman lämpötila ja kosteus, melu ja muut ääniolosuhteet, ilmanvaihto ja ilman laatu, säteily ja valaistusolosuhteet. Jos huoneilman lämpötila on liian korkea, ilma on kostea tai liiallinen ilmanvaihto aiheuttaa vetoa, voi ihmiselle tulla terveydellistä haittaa tai oireilua tai hän voi alkaa kokea asunto-olonsa epäviihtyisäksi. Toisaalta kaikkien sisäilman fysikaalisten ominaisuuksien vaikutuksia ihmisen terveyteen ei toistaiseksi tunneta. Jäljempänä asunnon eri fysikaalisille tekijöille esitetyt suositukset ja ohjeet perustuvat terveysvalvonnassa vakiintuneeseen käytäntöön ja alan kansainväliseen tutkimukseen. (Asumisterveysopas 2009).

3.18.2 Huoneilman lämpötila

Ihmisen kokemaan lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus ja kosteus, vaate- ja ihmisen toiminnan laatu. Lämpöolosuhteet vaikuttavat suoraan viihtyvyyteen. Pitkäaikainen veto ja viileys saattavat aiheuttaa haittaa terveydelle. Jos ilman kosteus sisältämä kosteus tiivistyy pistemäisesti rakenteiden kylmään pintaan, kosteusvaurioiden mahdollisuus lisääntyy. Kylmät pesu- ja saunatilat vähentävät asumisviihtyvyyttä, lisäävät rakenteiden kosteusrasitusta ja saattavat aiheuttaa kosteusvaurion, jonka seurauksena voi syntyä mikrobikasvustoa.

Lattian alhainen pintalämpötila voi olla lapsille ja aikuisillekin haitallinen. Haitan suuruus riippuu vaatetuksesta, lattiamateriaalin lämmönjohtavuudesta, kylmistä lattian suuntaisista ilmavirtauksista ja oleskeluajasta.

Seinä- ja kattopintojen viileys ei yleensä aiheuta haittaa terveydelle, jos jäljempänä ilmoitetut lämpötilojen välttävän tason arvot eivät alitu. Suuret lämpötilaerot laajoilla seinäpinnoilla voivat kuitenkin aiheuttaa lämpösäteilyn epäsymmetrisyyttä. Tämä puolestaan vähentää viihtyvyyttä ja, jos se jatkuu pitkään, voi aiheuttaa haittaa asunnossa oleskelevien terveydelle. Jos huoneilma on lämmityskaudella liian lämmin, se voi lisätä väsymistä ja hengitysteiden oireilua, alentaa keskittymiskykyä sekä aiheuttaa kuivuuden tunnetta, mikä johtaa usein ilmankostutukseen. Liian korkea lämpötila voi myös kiihdyttää kaasumaisten epäpuhtauksien vapautumista lähteistään. (Asumisterveysopas 2009).

3.18.3 Lämpötilojen ohjearvot

Taulukossa 1. on esitetty huonetilojen ja huoneilman ohjearvot. Ohjearvot perustuvat mittausolosuhteisiin, joissa ulkoilman lämpötila on -5 °C ja sisäilman + 21 °C. Mikäli mittausolosuhteet poikkeavat näistä vertailuolosuhteista, voidaan mitattuja pintalämpötiloja verrata ohjearvoihin jäljempänä esitetyllä tavalla lämpötilaindeksiä käyttäen.

Taulukko 1. Raportoinnin rajalämpötiloja eri ulkoilman lämpötiloilla. Sisäilman lämpötila + 21 °C. Arvoja ei ole pyöristetty. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011)

Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Rajalämpötila	Lämpötilaindeksi
5	21	16,2	70
0	21	14,7	70
-5	21	13,2	70
-10	21	11,7	70
-15	21	10,2	70
-20	21	8,7	70
-25	21	7,2	70
-30	21	5,7	70

Taulukon 1. huoneilman lämpötilojen ohjearvot on jaettu kahteen ryhmään: lämpötilojen välttävään ja hyvään tasoon. Arvot koskevat lämpötiloja, jotka mitataan huoneen oleskeluvyöhykkeellä. Muilla oleskelutiloilla tarkoitetaan tässä yhteydessä palvelutaloja, päiväkoteja ja kouluja. Taulukon 1. ohjearvoja voidaan käyttää soveltuvien osin esimerkiksi kokoontumishuoneistojen ja muiden vastaavien oleskelutilojen, kuten terveyskeskusten ja vastaavien odotustilojen, lämpötilaolojen arviointiin. Ohjearvojen hyvä taso vastaa pääosin uudisrakentamiselle asetettuja, rakentamismääräyskokoelman mukaisia vähimmäisvaatimuksia. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen kunnossapidossa ja käytössä tulee pyrkiä vähintään välttävään tasoon. Ohjearvojen välttävän tason alittuminen voi aiheuttaa haittaa terveydelle. (Asumisterveysopas 2009).

3.18.4 Lämpötilaindeksi

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpötekniistä toimivuutta. Seinän ja lattian pintalämpötiloja voidaan arvioida lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$: n ulkolämpötilassa, toisin sanoen jos ulkolämpötila on alle -5 °C tai yli -5 °C (enintään $+5\text{ °C}$) mittaustoleranssi huomioon ottaen. Lämpötilaindeksi määritellään seuraavasti:

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

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C

T_i = sisäilman lämpötila, °C

T_o = ulkoilman lämpötila, °C

Lämpötilaindeksin laskemiseksi on määritettävä huoneilman lämpötila, ulkoilman lämpötila ja sisäpinnan (seinä tai lattia). (Asumisterveysopas 2009).

3.18.5 Lämpötilan ja vedon mittaaminen

Lämpötila on aiheellista mitata silloin, kun mahdollinen haitta voidaan todeta riittäväällä varmuudella. Mittaus tulisi tehdä kylmänä vuodenaikana (ulkolämpötila alle -5

°C) ja/tai tuulisella säällä (tuulen nopeus yli 5-10 m/s). Veto tulisi mitata tuulisella säällä ja mahdollisuuksien mukaan sellaisen tuulen vallitessa, jolloin vedon esiintyminen on todennäköistä. Mittauksia ei tule kuitenkaan tehdä vuodenaika ja paikkakunnan sijainti huomioon ottaen poikkeuksellisen kylmänä tai tuulisena aikana, esimerkiksi Etelä-Suomessa mittauksia tulee välttää alle -26 °C:n ulkolämpötilassa.

Mittauksen aikana asunnon lämmityksen ja ilmanvaihdon on oltava samanlaiset kuin tavanomaisessa käyttötilanteessa. Ennen mittauksia on varmistettava, että sisälämpötila on ollut riittävän tasainen ja pintalämpötiloja mitattaessa on otettu huomioon mahdolliset ulkolämpötilojen vaihtelut. Ikkunatuuletusta tulee välttää vähintään 4-6 tuntia ennen mittausta eikä mittauksen aikana saa tuulettaa lainkaan. Henkilöiden lukumäärä mittaustiloissa on kirjattava mittauspöytäkirjaan. Mittalaitteiden on oltava kalibroituja, ja kalibroinnin tulee olla voimassa. Mittalaitteen tyyppi ja kalibrointitiedot merkitään mittauspöytäkirjaan. Elektronisten mittalaitteiden toiminta on tarkistettava jokaisen mittauksen alussa mittausvirheiden välttämiseksi. (Asumisterveysopas 2009).

3.18.6 Lämpötilamittausstandardit ja mittalaitteet

Huoneilman lämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 4 mukaisesti. Operatiivinen lämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 5 mukaisesti pallo-, kuutio- tai ellipsilämpömittarilla. Pintalämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 6 mukaisesti infrapunalämpömittarilla tai asianmukaisella pinta-anturilla. Mittareita käytettäessä on otettava huomioon käytännön mittausala, joka infrapunalämpömittarilla riippuu mittauskeilasta ja etäisyydestä ja joka kosketuslämpömittareilla on yleensä noin 1 cm². Mitä kauempaa infrapunalämpömittarilla mitataan, sitä suurempaa pinta-alan lähettämää kokonaissäteilyä se mittaa. Tästä seuraa mittaustuloksen keskiarvoistuminen.

Pintalämpötilamittauksissa on tiedettävä jokaisen mittalaitteen käyttöedellytykset, kuten infrapunalämpömittarilla emissiokertoimen asetus ja kosketuslämpömittarilla mittausaika. Kosketuslämpömittaria käytettäessä on varmistettava, että lukema on

tasaantunut. Mittalaitteen siirtäminen lämpimästä kylmään ja päinvastoin aiheuttaa yleensä virheen mittaustulokseen, jos mittaus tehdään liian aikaisin eikä laite ole ollut eristetyssä tai tasalämpöisessä kotelossa.

Pintalämpötila voidaan myös määrittää lämpökameralla, jolloin tulee noudattaa RA-TU 1213 S-kortin vaatimuksia. Tutkittava huoneisto voidaan lämpökuvata sekä tavanomaisessa käyttötilanteessa että tavanomaista käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa, jolloin ilmapuotokohdat voidaan paikallistaa vertaamalla alipainemittaus-ten tuloksia normaalitilanteessa saatuihin tuloksiin. Ilman nopeus mitataan standardin SFS 5511 kohdan 7 mukaisesti. Nopeus mitataan samoista pisteistä kun huoneilman lämpötila ja lisäksi kohdissa, joissa epäillään esiintyvän vetoa. Edellä esitetyt pintalämpötila-arvot koskevat oleskeluvyöhykettä. Pintalämpötilaindeksiä voidaan käyttää oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella rakenteiden toimivuuden määrittämiseen. (Asumisterveysopas 2009).

3.19 VOIMASSA OLEVAT OHJEET JA MÄÄRÄYKSET

3.19.1 Terveydelliset viranomaismääräykset ja ohjeet

Terveydensuojelulaki (763/94) Luku 7 Asunnon ja muun oleskelutilan sekä yleisten alueiden terveydelliset vaatimukset. 26§ Asunnon ja muun oleskelutilan terveydelliset vaatimukset. Asunnon ja muun sisätilan puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa.

Terveydensuojeluasetus (1280/94) Luku 5 Asunnon ja muun oleskelutilan terveydelliset vaatimukset. 15§ Asunnon ja muun oleskelutilan terveellisuuden valvonta: on kiinnitettävä huomiota siihen, että rakennus on ottaen huomioon sen käyttötarkoitus riittävän tiivis ja siinä on riittävä lämmöneristys. (Asumisterveysopas 2009)

3.19.2 Rakenteelliset viranomaismääräykset ja ohjeet

- Rakennusten lämpökuvaus RATU 1213 S-kortti
- Rakennuksen lämpökuvaus RT 14- 10850- ohjetiedosto
- Rakennuksen sisäilmasto. RT 07-10564 Sisäilman lämpöolot ja lämpökuormat
- Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 (2010) Rakennuksen lämmöneristys, määräykset.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 (2012) Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet.
- Sisäilmayhdistyksen julkaisu 5: Sisäilmastoluokitus 2000.

3.20 RAPORTOITAVAT POIKKEAMAT JA KORJAUSLUOKITUS

Lämpökuvauksessa havaitut selkeät poikkeamat, jotka vaikuttavat oleellisesti lämpöviivyyteen, rakennuksen tai rakenteiden toimivuuteen, pitkäaikaiskestävyyteen tai rakenteiden toimivuuteen, pitkäaikaiskestävyyteen tai rakenteiden vaurioitumiseen, on aina raportoitava. Lisäksi on esitettävä niiden korjaamista tai lisätutkimuksia.

Raportoitavia poikkeumia ovat muun muassa:

- eristeiden puuttuminen, eristevirheet, ilmansulun vuodot, suuret pintalämpötilojen poikkeamat
- ilmavuodot sisätiloista rakenteisiin
- sisätiloihin tulevat ilmavuodot, joista sisäilmaan epäillään tulevan epäpuhtauksia, kuten radonia ja mikrobeja
- laajat kylmät sisäpinnat, jotka voivat aiheuttaa vetoa
- epäilyt kosteusvaurioista
- muut talotekniikan viat ja puutteet

Rakennuksessa ilmenee yleensä myös muita paikallisia poikkeamia, jotka analysoidaan tapauskohtaisesti. Tällaisia ovat muun muassa ilmavuodot, jotka jäädyttävät rakenteita ja aiheuttavat vetoa. Tulosten tulkinnan helpottamiseksi lasketaan lämpötilaindeksi silloin, kun kyseessä on normaali sisäpuolelta tehty lämpökuvauk. Poikkeamista (lämpötilaindeksi alle 70 %) tehdään johtopäätöksiä korjausluokitusarvio, mikäli siitä on tilaajaosapuolen kanssa toimeksiannon yhteydessä sovittu.

Korjausluokan arvioinnissa on pyrittävä ottamaan huomioon tilan käyttötarkoitus sekä poikkeaman laajuus ja sijainti tilassa. Korjausluokituksen vaikuttavat oleellisesti tilan käyttötarkoitus ja rakennuksen rakentamiseen tai käyttöön liittyvät sopimusperustaiset kriteerit, kuten esimerkiksi sisäilmaluokituksen mukaiset vaatimukset. Asuin- ja oleskelutiloihin soveltuu seuraava korjausluokitus:

1. Korjattava

- Pinnan lämpötila ei täytä sosiaali- ja terveysministeriön laatiman Asumisterveysohjeen välttävää tasoa (esimerkiksi ilmavuoto, eristevika). Heikentää oleellisesti rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa (esimerkiksi kosteusvaurio)

- TI < 61 %

2. Korjaustarve selvitettävä

- Korjaustarve erikseen harkittava. Täyttää Asumisterveysohjeen välttävän tason, mutta ei täytä hyvää tasoa.

- TI 61- 65 %

3. Lisätutkimuksia

- Täyttää asumisterveydelle asetetut hyvän tason vaatimukset, mutta piilee tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen kosteus- ja lämpöteknisen toiminnan riski. On tarkastettava rakenteen kosteustekninen toiminta tai tehtävä muita lisätutkimuksia, kuten esimerkiksi kosteusmittaus tai tiiveysmittaus.

- TI > 65 %

4. Hyvä

- Täyttää hyvän tason vaatimukset. Ei korjaustoimenpiteitä.

- TI > 70 % (RT 14- 10850).

Taulukko 2. Esimerkkilaskelma, mitä paine-ero vaikuttaa indeksiin ja sitä kautta korjausluokkaan. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011)

Ulkolämpötila	Sisälämpötila	Rajalämpötila	Lämpötilaindeksi
5	21	16,2	70
0	21	14,7	70
-5	21	13,2	70
-10	21	11,7	70
-15	21	10,2	70
-20	21	8,7	70
-25	21	7,2	70
-30	21	5,7	70

3.21 MÄÄRÄYSTEN JA OHJEIDEN SOVELTAMINEN JA TULKINTA

Viranomaismääräykset ja ohjeet, kuten Suomen rakentamismääräyskokoelma, eivät anna selkeitä raja-arvoja tai lukuarvoja sallituille pintalämpötiloille. Niissä annetaan ainoastaan toiminnallisia ohjeita, määräyksiä tai suunnitteluarvoja, kuten että rakenteiden tulee toimia kosteus- ja lämpötekniisesti siinä käyttötarkoituksessa, johon se on suunniteltu.

Tulosten tulkintaan ja korjausluokituksen minimitason määrittämiseen käytetään terveydellisiä ohjeita. Terveydelliset ohjeet antavat rakennukselle niin sanotun vähimmäistason. Vähimmäistaso koskee kaikkia asuinhuoneita riippumatta rakennuksen iästä. Varsinainen terveyshaitta koskee ainoastaan oleskeluvyöhykettä. Jäljempänä esitettyä lämpötilaindeksiä sovelletaan rakenteen toimivuuden arviointiin oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella.

Raja-arvoiksi soveltuvat sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen antamat pintalämpötilojen ohjeet. Lähtökohtana on, että sisäilman kosteus ei tiivisty sisäpinnoille. Rakenteiden pintalämpötila ei siten saisi laskea kastepistelämpötilaan tai sen alapuolelle. Riittävä turvamarginaali on silloin, kun mitatussa pintalämpötilassa sisäilman suhteellinen kosteus jää alle 80 %:n (RH).

Asumisterveysohjeen mukaisesti asuintiloissa alin sallittu pintalämpötila tyydyttävällä tasolla on + 11 °C, joka vastaa lämpötilaindeksiä 61 %. Tämä vastaa kastepistelämpötilaa, kun sisäilma on + 21 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Ohjeen pintalämpötila-arvoja voidaan käyttää sellaisenaan, kun sisäilman lämpötila on normaali + 21 °C, ulkoilman lämpötila on -5 °C ja tuulen nopeus on 5-10 m/s, ei kuitenkaan poikkeuksellisen kylmissä tai tuulisissa olosuhteissa. Poikkeaman riskialttiutta kuvataan Asumisterveysohjeessa lämpötilaindeksillä, joka lasketaan sisälämpötilan ja ulkolämpötilan sekä pinnan lämpötilan mitatuista arvoista.

Kuvaolosuhteet eivät kuitenkaan ole aina vakiot, joten kun ulkolämpötila, sisälämpötila ja vaipan yli oleva paine-ero muuttuvat, on sallittujen sisäpintojen lämpötilojakin sovellettava olosuhteita vastaavaksi. Tässä käytetään apuna lämpötilaindeksiä. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.21.1 Lämpötilaindeksin käyttö

Asumisterveysohjeessa vian tai puutteen vakavuutta kuvaamaan on käytetty lämpötilaindeksiä, joka lasketaan sisälämpötilan ja ulkolämpötilan sekä vikalämpötilan mitatuista arvoista. Lämpötilaindeksi antaa peruskäsityksen viasta. Se on laskennallinen luku, ja Asumisterveysohjeen antamia hyvän tason ja tyydyttävän tason raja-arvoja voidaan soveltaa asuintilojen tuloksia tulkittaessa. Muiden tilojen osalta on käytettävä muuta perustelua.

Asumisterveysohje rajoittuu kuitenkin vain niin sanotulle oleskeluvyöhykkeelle. Ikkunarakenteisiin, kuten tiivisteisiin, sitä ei voida soveltaa. Muut oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella olevat pistemäiset lämpötilat, kuten ikkunan karmin ja ulkoseinärakenteen liitokset, nurkkalämpötilat ym., voidaan tulkita Asumisterveysohjeen pistemäistä matalinta pintalämpötilaa käyttäen. Tällöin on otettava huomioon, että poikkeamat eivät sisälly oleskeluvyöhykkeeseen, joten niiltä osin selkeät ohjeet puuttuvat. Niiden lämpöteknistä kuntoa arvioidessa voidaan käyttää 61 %:n, 65 %:n ja 70 %:n pintalämpötilaindeksejä.

Lämpötilaindeksiä voidaan käyttää rakennusmääräyskokoelman määräysten tukena. Rakennusmääräysten toiminnallisissa vaatimuksissa todetaan, että rakenteiden tulee toimia kosteus- ja lämpötekniisesti siinä käyttötarkoituksessa, johon se on suunniteltu.

Muut kuin asuin- ja työtilat on käsiteltävä eri lähtökohdista. Tulosten tulkinta ja korjaustarve määrittyvät ensi sijassa tilan käyttötarkoituksesta ja rakennuksen toiminnan vaatimista olosuhteista.

Asumisterveysohjeen pintalämpötilojen ohjearvot on asetettu mahdollisten terveyshaittojen kannalta. Ohje ei sinänsä ota kantaa rakennusvirheisiin. Yleisesti hyväksytyt rakenteelliset ratkaisut, kuten esimerkiksi nurkkaikkunat, yksinkertainen parvekeovi, ovien ja ikkunoiden tiivisteet jne., voivat johtaa siihen, että välttävä taso ei täyty. Mikäli valitun ja hyväksytyyn rakenneratkaisun pintalämpötilat todennäköisemmin tulevat alittamaan kriteerit, voidaan näillä kohdin kriteeriä tarvittaessa väljentää, mikäli lämpöviihtyvyyden aleneminen voidaan korvata muulla tavoin eikä siitä aiheudu haittaa käyttäjille tai rakennukselle. Pääsääntöisesti käytetty minimikriteeri (TI = 61 %) tulisi kuitenkin saavuttaa.

Vanhoissa rakennuksissa on mahdollista, että liitoskohtien pintalämpötilat jäävät lämpötilaindeksillä mitattuina edellä esitettyjen kriteerien alapuolelle.

Tarkemmat poikkeamat voidaan analysoida pintalämpötilaindeksiä ja laskennallisia menetelmiä käyttäen. Ikkunapintojen pintalämpötilojen määrittäminen lämpökameralla sisältää heijastuksista johtuvan virhemahdollisuuden. Mikäli ikkunan pintalämpötila halutaan tarkemmin määrittää, on käytettävä vertailumittausta esimerkiksi suhteessa ikkunaan kiinnitettävään teippiin.

Käytännössä poikkeamat rakennuksissa ovat pääsääntöisesti oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella, rakenteiden liittymissä ja läpivienneissä. Asumisterveysohjeen mukaan oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella olevia poikkeamia tarkastellaan pistemäisinä poikkeamina. (Asumisterveysopas 2009).

3.21.2 Pistemäisen lämpötilan arviointi

Jos sisäilman kosteus on poikkeuksellisen korkea ja pintalämpötilat laskevat vallitsevissa olosuhteissa kastepisteeseen tai sen alapuolelle, on käytettävä kriteeriä $T_p = RH$ 80 % vastaava pintalämpötila. Tämä tarkoittaa sitä pintalämpötilaa vastaavaa sisäilmanlämpötilaa, jossa sisäilman suhteellinen kosteus nousee 80 %:iin.

Johtopäätöksiä ja korjausluokituksia määritettäessä täytyy ottaa huomioon,

- kuinka laaja pintalämpötilapoikkeama on
- aiheutuuko siitä mahdollisesti joitain muita ilmiöitä, joita lämpökameralla ei suoraan nähdä, kuten esimerkiksi liian voimakasta vetoa.

Jos pintalämpötila on sinänsä riittävän korkea, mutta ilmavirtaus on suuri ja/tai vika on koko seinän ja lattian matkalla, on luonnollista, että poikkeama on syytä luokitella tiukemman kriteerin kautta ja käyttää apuna muita mittauksia, kuten vetomittausta, savukokeita tai tiiviysmittausta.

Kosteus- ja homevaurioiden sekä talotekniikan vikojen paikantaminen lämpökuvauksella jää aina kuvaajan asiantuntemuksen ja kokemuksen varaan. Tulkinta on tapauskohtainen. Kokemuksen myötä opitaan katsomaan eri ilmiöitä ja asioita ja tekemään niistä johtopäätöksiä.

Määritettäessä tilojen, kuten esimerkiksi asuntojen, ja niiden ulkovaipan lämpötekniistä laatua on ongelma usein se, että tilaaja ja toteuttaja eivät ole sopineet erikseen tavoiteltavasta laadusta. Jos tilaaja ei ole vaatinut esimerkiksi sisäilmaluokituksen S1 tai S2 vaatimuksia tai muita erityisvaatimuksia, niin tiloille sovelletaan yleisiä lämpötekniisiä minimivaatimuksia.

Pintalämpötilavaatimuksissa annetaan lattialle ja seinälle niiden keskimääräiset lämpötilavaatimukset. Mittaus tapahtuu pinnan yhdeksästä eri pisteestä, jolloin 60 cm:ä lähempänä seinän tai lattian reunaa ei mittauksia tehdä ollenkaan. Käytännössä viat ja puutteet rakennuksissa ovat kuitenkin pääsääntöisesti tällä reunavyöhykkeellä. Ne ovat niin sanottuja pistemäisiä vikoja, jolloin on todella harvinaista, että pintojen keskimääräiset pintalämpötilat alittuvat.

Normaaleissa lämpökuvauksissa havaitut viat ja puutteet ovat pistemäisiä poikkeamia, jolloin raja-arvona käytetään pistemäisen vian raja-arvoa. Asumisterveysohjeen alin hyväksyttävä laskennallinen lämpötilaindeksi on pistemäiselle vialle 61 %. Kuitenkin $TI = 70\%$ alittavat pintalämpötilaindeksit tulee raportoida ja tarve korjata viat tulee arvioida. Pintalämpötilat eivät missään tapauksessa saa laskea kastepisteeseen. Toinen kriteeri on pintalämpötila, joka vastaa suhteellisen kosteuden arvoa 80 % (kasvuston raja), eli sitä pintalämpötilaa, jossa huoneilmaa jäähdytettäessä ilman sisältämän vesihöyryn suhteellinen kosteus on noussut arvoon 80 %. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.22 TULOSTEN VIRHEARVIOINTI

Lämpötilaindeksiä laskettaessa ja pintalämpötiloja esitettäessä on otettava huomioon myös virhemahdollisuudet ja – lähteet. Lämpökameran mittaustarkkuus on käytännössä $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kaikki mittaukset sisältävät epävarmuustekijöitä. Tämän vuoksi pintalämpötilat sekä muut lämpötilat tulee ilmoittaa $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n tarkkuudella ja indeksi kokonaislukuna. Rajalämpötilat tulee pyöristää lähimpään kokonaislukuun.

Lämpötilaindeksin virhe voi pahimmillaan olla ± 6 yksikköä silloin, jos kaikissa mittauksissa – pintalämpötila, ulkolämpötila, sisälämpötila- on tehty yhden asteen virhe ja virhe kertaantuu samaan suuntaan. Tämä on hyvä muistaa varsinkin niin sanotuissa rajatapauksissa, jotta ei lähdetä riitelemään mittausvirheistä johtuvista poikkeamista. Yleensä kuitenkin rakenteessa oleva poikkeama voidaan luokitella muilla perusteilla kuin lämpötilaindeksiä tarkastelemalla. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

3.23 PAINE-ERON VAIKUTUS MITTAUSTULOKSIIN

Paine-eron vaikutuksesta ilmapuotojen ympärillä olevien pintojen lämpötiloihin ei ole vielä tehty tarkempaa tutkimusta Suomessa eikä muissakaan Pohjoismaissa. Paine-erolla toki on suora yhteys ilman liikkeeseen ja siten ilmapuotopaikan lämpötilaan.

Lämpökuvauksia tehtäessä tärkeää on se, että tilassa vallitsee normaali vallitseva painesuhde, jolloin tilan pitäisi olla lievästi alipaineinen. Jos ennen varsinaisen lämpökuvauksen aloittamista tehtävässä paine-eromittauksessa todetaan, että tila on liian alipaineinen (yli -15 Pa) tai ylipaineinen (alle -1 Pa), on syytä tarkastella ja ehdottaa mahdollista ilmanvaihdon tasapainotusta.

HAMK:ssa tehtyjen tutkimusten mukaan alipaineen suuruudella on yleensä melko suoraviivainen vaikutus vikakohdan pintojen lämpötilaan silloin, kun alipaine on vielä kohtuullinen (0:n ja -30 Pa:n välillä). Alipaineen kasvaessa yli -30 Pa:n ei vuodon aiheuttamaa pintalämpötilan muutosta voida hallita. Silloin toki ilmanvaihdon tasapainotuksessa on vikaa, joka tulee korjata. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaukset.2011).

3.24 LÄMPÖKUVAUKSEN RAPORTOINTI

Lämpökuvauksen tulosten esittämisessä on kysymys tutkittavan rakennuksen tai rakennuksen osan ulkovaipan tai muun rakennusosan lämpöteknisen toimivuuden arvioinnista. Tämä arviointi perustuu lämpökuvauksen avulla saatuihin pintalämpötilajakaumiin ja pintalämpötilatietoihin. Raportissa esitetään ulkovaipan rakennusosat ja kohdat, joissa esiintyy puutteita. Raportoinnissa voidaan tarvittaessa ottaa huomioon mahdollisten muiden tekijöiden vaikutus, kuten lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmä sekä sisäiset kuormat.

Oleellista on, että asianmukaisten tehtyjen mittausten perusteella saadut tulokset tulkitaan ja raportoidaan asiakkaalle oikein ja selvästi. Lämpökuvauksen tuloksen täytyy vastata asiakkaan esittämiin ongelmiin sekä etsiä syyt ja ratkaisut niiltä osin

kuin se on lämpökuvauksen avulla mahdollista. Mikäli lämpökuvaaja katsoo, että asiakkaan ongelmaan täytyy etsiä ratkaisua lisätutkimuksilla, on se syytä myös tutkimusraportissa ilmoittaa.

Raportissa kuvaaja raportoi ja ottaa kantaa havaitsemiinsa puutteisiin. Raportissa voidaan esittää myös lämpötekniisesti hyvin toimivia rakenteita.

3.24.1 Lämpökuvausraportti

Lämpökuvaustuloksista laaditaan lämpökuvausraportti, joka sisältää mittausraportin. Lämpökuvausraportti on laajuudeltaan ja sisällöltään rakenteiden lämpötekni-
kunnan tutkimusraportti, tutkimusselostus, jonka yhtenä osana – yleensä liitteenä – on mittausraportti. Lämpökuvausraportti sisältää mittausraportin lisäksi tarkasteluja kohteen lämpötekniisestä kokonaisuudesta. Siinä esitetään myös korjausluokitus ja korjausehdotuksia sekä mahdollisia muita jatkotoimenpiteitä.

3.24.2 Mittausraportti

Mittausraportti on dokumentti tehdyistä mittauksista ja niiden tuloksista. Siinä tulee olla tarvittavat tiedot niin, että kolmas osapuoli voi tarvittaessa tulkita tuloksia myöhemmin.

Usein tilaajakin haluaa rakennuksesta katsottavan vain jonkin osan tai asian, kuten putken tai kaapelin paikannuksen, jonkin rakenteen tai rakenneosan pintalämpötilan tai tilanteen jne., josta hän haluaa varmuuden. Silloin tilaaja katsoo, ettei hän tarvitse laajaa raporttia kirjallisine lausuntoineen eikä yhteenvedoineen.

Mittausraportti sisältää seuraavat tiedot:

- tekijä ja yhteystiedot
- kohde ja kohteen tiedot: nimi, sijainti ja valmistumisvuosi sekä tarvittaessa tiedot kuvatusta kohteesta
- kuvauspaikka ja – aika
- lämpökuvat, valokuvat ja lämpötilamittaustiedot
- käytetty mittauskalusto, tyyppi, malli, sarjanumero

- kuvausasetukset: pinnan emissiokerroin, kuvausetäisyys, ilman lämpötila ja taustanlämpötila

- lyhyt kirjallinen yhteenveto

Jos kyseessä on ulkovaipan sisäpuolisista mittauksista, niin mittausraporttiin lisätään vähintään:

- kuvausten aikana vallinneet olosuhteet: ulkolämpö, sisälämpötilat, tuulen nopeus, pilvisuus ja auringon säteily sekä sisätilojen painesuhteet ulkoilmaan verrattuna

- lasketut lämpötilaindeksit

- korjausluokitus, mikäli siitä on sovittu tilauksen yhteydessä

Mittausraportin lämpökuvien lämpötilaskaala rajataan jokaisessa samasta kohteesta otetusta kuvassa mahdollisuuksien mukaan yhdenmukaiseksi (esimerkiksi 10- 20 °C). Sisäpuolisten kuvien skaalan alarajana käytetään pintalämpötilaindeksiä $TI = 61 - 70$ % vastaavaa lämpötilaa tai sen yläpuolella lähinnä olevaa pintalämpötilaa porrastettuna 5 °C välein (20 °C, 25 °C jne.).

Lämpökameran ohjelmistosta riippuen pintalämpötilat ovat mittausraportissa 0,1 °C:n tarkkuudella, mutta johtopäätöksiä tehtäessä tulee käyttää korkeintaan 0,5 °C:n tarkkuutta. Lämpötilaindeksiä laskettaessa käytetään lähtöarvona 0,1 °C:n tarkkuutta pinnan lämpötilassa, mutta lämpötilaindeksi pyöristetään aina lähimpään prosenttiin. On huomioitava, että lämpötilaindeksin tarkkuus on parhaimmissakin tapauksissa menetelmästä johtuen ± 3 yksikköä. (Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus.2011).

Lähdeluettelo

1. Asumisterveysopas 2009: (ISBN 978-952-9637-38-6).
2. Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus 2011 (ISBN 978-952-5472-44-8).
3. Ratu1213-S Rakennuksen lämpökuvaus (kesäkuu 2005).
4. RT- kortti 14- 10850 Rakennuksen lämpökuvaus (elokuu 2005).
5. Rakennusten lämpökuvaus RATU 1213 S-kortti.(2005)
6. Rakennuksen sisäilmasto. RT 07-10564 Sisäilman lämpöolot ja lämpökuormat
7. Sisäilmayhdistyksen julkaisu 5: Sisäilmastoluokitus 2000
8. Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 (2010) Rakennuksen lämmöneristys, määräykset.
9. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 (2012) Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.
10. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet.

4. Kosteusmittausmenetelmät ja mittarit

4.1 BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUSMITTAUS

4.1.1 Tausta

Betonirakenteiden kosteusmittauksia tehdään sekä rakennusaikana että valmiista rakennuksista. Rakennustyömaalla kosteusmittauksia tehdään lähinnä niistä betonirakenteista, jotka päällystetään tai pinnoitetaan. Ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä alustana olevan betonin on alitettava päällystysmateriaalin, kiinnitysmassan tai pinnoitteen edellyttämä kosteusarvo. Koska betonirakenteiden kuivumisnopeudet riippuvat monesta tekijästä, riittävästä kuivumisesta ei voida varmistua muuten kuin mittaamalla. Betonin kosteuden mittaus vaatii erityistä huolellisuutta, sillä virheellinen mittaus voi helposti johtaa turhaan odotteluun tai myöhemmin syntyvään kosteusvaurioon. Nykyisin kuitenkin aikataulut ovat niin tiukkoja, että pinnoitustöihin halutaan päästä usein liian aikaisin. Uusissa rakennushankkeissa ei valitettavasti vieläkään osata ottaa betonin kosteudenhallintaa tosissaan. Rakennuttaja laatii aikatauluista yleensä liian kireitä, rakennus kyllä pysyy aikataulussa, mutta betoni ei kuivu riittävän nopeasti ilman tehostettuja kuivaustoimenpiteitä. Ei ymmärretä kosteudenhallinnan kustannusvaikutuksia. Kosteusmittaus ja betonin kuivumisen arviointi ovat kosteudenhallinnan työkalut. Mutta tulee myös muistuttaa, että ei se betoni mittaamalla kuivu, vaan riittävän aikaisella kastumisen lopettamisella ja sen jälkeisellä riittävän pitkällä hyvällä kuivumisolosuhteella. Useissa mittauskohteissamme olemme havainneet, että rakennusliike on noutanut vuokraamosta tilakuivaimia ja erilaisia lämmittimiä, mutta ne eivät syystä tai toisesta ole koskaan päällä. Työmaalle kannattaisi nimetä henkilö, joka vastaa siitä, että kuivaimet olisivat ainakin työajan jälkeen päällä, näin betonin kuivuminen etenisi suunnitelman mukaan. Koska betonirakenteiden kuivuminen tahdistaa työmaan sisävalmistumisvaihetta merkittävästi, kosteusmittauksiin tulee ryhtyä hyvissä ajoin ennen päällystys-

tai pinnoitustyöhön ryhtymistä. Mittauksilla voidaan seurata, kuivuuko rakenne suunnitellun aikataulun mukaisesti vai tarvitaanko lisäkuivatustoimenpiteitä.

Valmiissa rakennuksissa betonirakenteen kosteusmittauksia tehdään lähinnä kuntoarvioiden ja kuntotutkimusten sekä kosteusvauriotutkimusten ja korjausten yhteydessä. Rakennusten kuntoarvioiden ja erilaisten kosteuskartoitusten yhteydessä tehtävät kosteusmittaukset rajoittuvat yleensä pintakosteudenosoittimilla tehtäviin ainetta rikkomattomiin mittauksiin. Jos kuntoarvion yhteydessä löydetään normaalista poikkeavia kosteita kohtia, tutkimuksia joudutaan usein jatkamaan mahdollisen vaurion syyn ja laajuuden kartoittamiseksi. Jatkotutkimukset vaativat yleensä porareikämittauksia. Kosteusvauriotutkimuksen lähtökohtana voi olla myös näkyvä vaurio tai epäilty terveyshaitta. Pitää mitata onko rakenteessa ylimääräistä kosteutta, onko rakennekosteutta liikaa, onko kosteus liian korkea kosteusherkälle päällysteelle, mikä on kosteusjakauma ja mistä suunnasta kosteus tulee.

Myös kiinteistöissä sattuneiden vesivahinkojen laajuus ja betonirakenteen kuivatus-tarve selvitetään kosteusmittauksin. Jos rakenteita joudutaan vesivahingon jälkeen kuivattamaan, kuivumisen etenemistä seurataan ja lopuksi riittävästä kuivumisesta varmistutaan rakennekosteusmittauksin. Kuivatustyössä usein käytettävä korkea lämpö vaikeuttaa betonin kosteusmittausta huomattavasti. Ennen kuin luotettavia mittauksia voidaan suorittaa, pitää betonin lämpötila olla lähellä +20 °C. Kuivatustyössä kannattaa käyttää lämmityksen syklitystä. Syklityksen tärkein tavoite on kosteuden ”pumppaaminen” ulos rakenteesta. Nykyisissä pikakuivauslaitteissa (esim. Dry-100) on mahdollista ajastaa kuivaus siten, että kosteuden pumppausefekti saadaan aikaan. Betonin RH- mittauksen RT- kortissa 14- 10984 vuodelta 2010 esitetään suurten lämpötilaerojen ja tehokuivausten yhteyteen näytepalamittausta, joka on usein toimivin työmaallakin - mikäli siis tarvitaan em. kortin mukaisia tarkkoja mittauksia – muutenhan jäähdään ns. suuntaa-antaviin mittauksiin. (RT- 14- 10984).

4.2 YLEISIMMÄT KOSTEUSMITTAUSMENETELMÄT JA NIIDEN SOVELTUVUUS BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUSMITTAUKSIIN

4.2.1 Pintakosteudenosoittimet

Rakenteiden kosteustilaa voidaan selvittää ainetta rikkomattomilla pintakosteusmittauksilla. Pintakosteusosoittimien eli pintakosteusmittareiden toiminta perustuu mitattavan materiaalin sähköisten ominaisuuksien (sähkönjohtavuus, kapasitanssi, dielektrisyys) muutoksiin. Pintakosteusosoittimia on useita eri merkkisiä. Mittalaitteisiin on yleensä mittalaitteen valmistajan toimesta asetettu valmiiksi joidenkin materiaalien tiettyjä sähköisiä ominaisuuksia vastaava kosteuspitoisuus panoprosentteina. Eri laitteiden välillä voi olla suuriakin eroja. Toimintaperiaatteeltaan samanlaiset mittalaitteet voivat antaa samasta kohteesta mitattaessa eri lukuarvoja. Mittalaitteiden toimintaperiaatteista sekä rakennusmateriaalien ominaisuuksien vaihteluista johtuen mittaustuloksia voidaan pitää vain suuntaa-antavina.

Erot eri betonilaatujen koostumuksissa voivat vaikuttaa merkittävästi mittaustulokseen. Betonin sementtimäärästä ja lisäaineista johtuen toiset betonit johtavat sähköä paremmin kuin toiset, mikä vaikuttaa mittalaitteen antamaan kosteuslukemaan. Yleensä mitä suurempi betonin sementtimäärä tai mitä alhaisempi vesisementtisuhte on, sitä paremmin betoni johtaa sähköä ja sitä korkeampia lukemia pintakosteudenosoittimella saadaan. Esimerkiksi mitattaessa nopeasti kuivuvia betoneja, joissa kuivuminen perustuu normaalia suurempaan sementtimäärään, pintakosteudenosoitin voi antaa hyvinkin korkeita lukemia, vaikka todellisuudessa betoni olisikin kuivaa. Myös betonirakenteiden pinnan läheisyydessä oleta raudoitteet, vesiputket, sähköjohdot, yms. voivat lisääntyneen sähkönjohtavuuden vuoksi kasvattaa mittalaitteen antamaa kosteuslukemaa huomattavasti. Pintakosteudenosoittimet soveltuvat parhaiten tilanteeseen, jossa rakenteista haetaan mahdollisia rakennekosteusmittauskohtia. Niillä voidaan paikallistaa kylpyhuoneiden muovimaton tai tapetin alla oleva normaalia korkeampi kosteus tai määrittää miten korkealle seinärakenteessa vesi on noussut kapilaarisesti. Nimensä mukaisesti laitteet määrittävät vain rakenteiden pintaosien ominaisuuksia. Ne eivät pysty havainnoimaan syvemmällä raken-

teissa olevaa kosteutta eivätkä ilmoita, missä rakennekerroksissa kosteutta on. Esimerkiksi laatoitetuissa ja vesieristetyissä rakenteissa pintakosteudenosoittimella ei voida todeta, onko kosteus vesieristeiden päällä vai alla. Märkätilassa roiskevesialueella toimivan vedeneristeen päällä oleva kosteus antaa yleensä korkeita arvoja, koska kiinnityslaasti on märkää. Kuivumisnopeus riippuu monista tekijöistä ja voi kestää viikkoja. Päätelmät siitä, onko kosteutta haitallisesti myös vedeneristeen alla, tehdään korkeampien kosteusarvojen esiintymisalueiden perusteella. Toisaalta pintakosteusilmaisimien alhaiset näyttämät roiskevesialueelta yleensä viittaavat vedeneristeen hyvään toimintaan. Raportoinnissa ei pidä puhua kosteuksista, vaan pintakosteusilmaisimen näyttämistä, eikä kannata esittää tarkkoja lukuarvoja, vaan lukevat esim. kolmessa kategoriassa: normaalit, hieman koholla olevat ja selvästi koholla olevat.

Rakenteissa olevat ilmaraoitukset heikentävät useiden mittalaitteiden kosteuden havaitsemiskykyä. Betonipintoja mitattaessa pinnan karheus ja epätasaisuus voivat suurentaa mittaustulosten hajontaa, joten tarkkaa mittaussyvyyttä ei voida määrittää.

Pintakosteusmittausten perusteella ei tule tehdä betonirakenteiden päällystettävyysepäätöksiä. Myöskään rakenteiden purkupäätöstä tai betonirakenteiden kuivatustarvetta ei voi tehdä pelkästään pintakosteusmittausten perusteella. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.2.2 Kalsiumkarbidimittari

Kalsiumkarbidimittausta ei enää käytetä Suomessa rakennusten terveellisyttä arvioidessa tai terveellisyttä varmistettaessa. Tässä menetelmässä betonin kosteutta mitataan painoprosentteina, joten niitä verrataan muutostaulukoihin. Suomessa mitataan RH: ta, koska se kuvaa rakenteessa liikkumiskykyistä kosteutta ja sen avulla voidaan arvioida kosteuden tasaantumista eri materiaalien välillä.

4.2.3 Vastusmittaus

Suomessa vähemmän käytetty, ei sovellu terveellisuuden arviointiin liittyviin mittauksiin. On esimerkiksi Keski-Euroopassa yleinen menetelmä betonirakenteen kosteuden mittaamiseen

4.2.4 Kosteuden määrittäminen kuivatus- punnitus- menetelmällä

Useimmat materiaalin sähköisiä ominaisuuksia mittaavat kosteusmittarit (pintakosteudenosoittimet, vastusmittarit) antavat tulokseksi materiaalin kosteuspitoisuuden painoprosentteina. Tulos on kuitenkin välillinen ja se perustuu yleensä mittalaitteen valmistajan muutamille materiaaleille tekemiin tutkimuksiin. Materiaalin todellinen kosteuspitoisuus painoprosentteina saadaan ns. kuivatus-punnitus-menetelmällä, missä materiaalinäyte punnitaan kosteana, kuivataan (betoni 105 °C:n lämpötilassa) ja punnitaan kuivana. Kosteuspitoisuus saadaan kostean ja kuivan näytteen painojen erotuksen ja kuivan näytteen painon suhteina. Menetelmän käyttöön liittyy virhemahdollisuuksia lähinnä näytteenotossa, näytteiden säilytyksessä ja punnituksessa. Betonin kosteuspitoisuuden määrittäminen painoprosentteina: Tarvitaan, jos esim. ulkomainen päällystevalmistaja on määritellyt päällystysraja-arvon painoprosentteina, eli tulee mitata sitä suuretta, jona raja-arvot on annettu. Voidaan myös tarvita hyvin märkien tiili- ja puumateriaalien kosteusmittauksessa, jotta esim. saadaan selkoa miten paljon vettä onkaan hygroskooppisen maksimikosteuden lisäksi arvioitaessa esim. kuivatusaikoja tai kuivumisen hidasta etenemistä. Pelkkää RH: ta mittaamallahan saataisiin n. 100 %:n tuloksia vaikka miten kauan, vaikka rakenteesta koko ajan poistuu suuria määriä kosteutta.

- Betonirakenteesta irrotetaan piikkaamalla (kuivamenetelmällä) halutulta syvyydeltä näytepaloja.
- Näytteet laitetaan kuljetuksen ja säilytyksen ajaksi haihtumisen estävään astiaan tai pussiin.
- Näytteet punnitaan mahdollisimman pian kosteana painoltaan (p) tunnetussa astiassa.

- Näytettä astioineen (a) kuivataan +105 °C lämpötilassa ilmastoidussa uunissa, kunnes painonvähennys vuorokaudessa on enintään 0,1 % näytteen alkuperäisestä painosta. Näin saadaan kuivan näytteen bruttopaino (b), jolloin kosteuspitoisuus prosentteina kuivan näytteen nettopainosta (b- p) saadaan laskettua alla olevalla kaavalla.

- Kosteuspitoisuus paino- % = $100 (a-b) \div b - p$. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi).

4.2.5 Suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät

Betonin suhteellista kosteutta mitataan pääsääntöisesti sähköisillä mittalaitteilla, jotka koostuvat mittapäästä ja näyttölaitteesta. Mittapää ja näyttölaite voivat olla kiinteästi kiinni toisissaan tai näyttölaite yhdistetään mittapäähän mittauksen ajaksi esimerkiksi kaapelin avulla. Mittapääät voivat olla kytkettynä myös tiedonkeruulaitteeseen (loggeriin), jolloin mittausjakso voi olla hyvinkin pitkä.

Mittapään sisällä on kosteusanturi ja lämpötila-anturi. Kosteusanturityyppejä ovat mm. kapasitiiviset mittausanturit, elektrolyytin sähkönjohtavuuteen perustuvat anturit sekä kastepisteanturit. Kapasitiiviset kosteusanturit ovat yleisimpiä betonin kosteusmittauksissa käytettävissä mittalaitteissa. Kapasitiivinen kosteusanturi koostuu kahdesta elektrodista ja niiden väliin sijoitetusta vesimolekyyleille herkästä materiaalista (muovi, polymeeri). Tämä materiaali vastaanottaa ja luovuttaa ympäristön vesimolekyylejä, mikä aiheuttaa kapasitanssin muutoksen. Kosteuden mukana tapahtuvat kapasitanssin muutokset johdetaan elektroniikalla laitteen näytölle numeroarvoiksi.

Mittalaitteiden on suositeltavaa olla mitoiltaan pieniä ja painoltaan kevyitä, jotta lämpötilamuutosten vaikutukset mittaustuloksiin pysyvät mahdollisimman pieninä. Mittapään varren kautta ei saa tapahtua kosteuden virtaamista mittauskohdasta huonetilaan, josta mitta-anturi on asennettu rakenteeseen. Mittapään mahdollisimman pieni kosteuskapasiteetti nopeuttaa tasapainokosteuden löytymistä mitattavan materiaalin ja mittapään kosteusanturin välille. Jopa mittapään likaantuminen voi

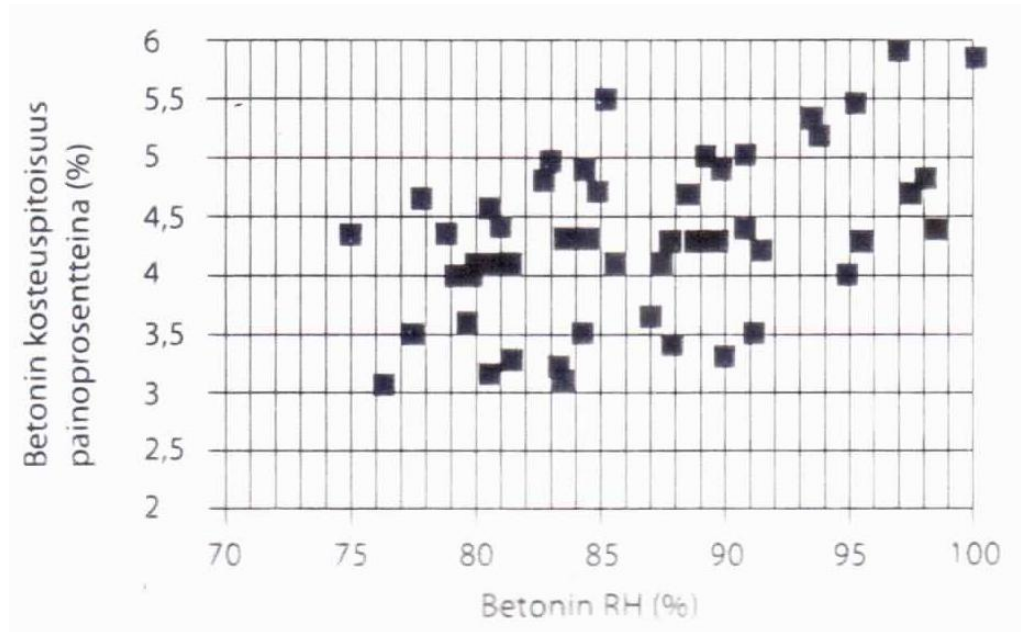
vaikuttaa kosteuskapasiteettiin ja sitä kautta tasaantumisnopeuteen. Betonipölyinen sintterikärki saattaa sitoa itseensä huomattavan ajan betonista tulevaa kosteutta ennen kuin kosteus tavoittaa kosteussensorin. Betonirakenteen suhteellinen kosteus voidaan mitata joko rakenteeseen poratusta reiästä tai rakenteesta otetusta näytepalasta. (RT 14- 10984).

4.3 BETONIN KOSTEUSPITOISUUDEN JA SUHTEELLISEN KOSTEUSPITOISUUDEN VÄLINEN YHTEYS

Huokoisena materiaalina betoni pyrkii hygroskooppiseen tasapainokosteuteen ympäristön kanssa eli se joko luovuttaa ympäristöön (kuivuu) tai vastaanottaa ympäristöstä kosteutta (kostuu), kunnes betonin suhteellinen kosteus on sama kuin ympäristön. Betonissa kosteus siirtyy hitaasti. Tasapainotilan saavuttamiseen voi rakenteen paksuudesta ja ympäristön olosuhteista riippuen kulua aikaa useita vuosia.

Betonin suhteellisella kosteudella (RH %) tarkoitetaan betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Huokosen ilmatilassa olevan kosteuden lisäksi huokosen pintaan on fysikaalisesti kiinnittynyt materiaalin kosteustilasta riippuen eri määrä vesimolekyylejä. Koska eri betonilaaduilla on erilainen huokosrakenne, niillä on myös erilainen kyky sitoa kosteutta. Kahdella eri betonilla voi saman suhteellisen kosteuden arvolla hyvinkin erilainen kosteuspitoisuus painoprosentteina. Betonissa tietyssä tasapainotilassa (ilman RH %) oleva kosteus (kg/m^3 , paino- %) saadaan selville kuivatus-punnitus- menetelmällä. Joillekin betonilaaduille on laadittu hygroskooppiset tasapainokäyrät, joista voidaan arvioida, paljonko betonissa on vapaata haihtumiskykyistä vettä (kg/m^3 paino- %) tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla ja päinvastoin. Hygroskooppisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa tai luovuttaa kosteutta ilmasta. Hygroskooppiset tasapainokosteuskäyrät eivät ota huomioon materiaaliin kapillaarisesti imeytynyttä vettä. Tästä johtuen betonin todellista kosteuspitoisuutta (kg / m^3) on lähes mahdotonta määrittää mittaamalla betonin suhteellinen kosteus ja muuttamalla tasapainokäyrää käyttäen lukema kosteuspitoisuudeksi. Myös kosteus-

pitoisuuslukeman (paino- %, kg/m^3) muuttaminen tasapainokäyrien kautta suhteelliseksi kosteudeksi johtaa helposti virheelliseen lukemaan.



Kuva 4. Laboratoriotutkimustuloksia erilaatuisten ja eri-ikäisten betonien RH: n ja p %- kosteudenvälisestä riippuvuudesta. Esimerkiksi kahden saman painoprosenttikosteuden (4,3%) omaavan betonilaadun suhteelliset kosteuspitoisuudet voivat olla 75% tai 98%. Sementtityypin, silikan ja huokoistamisen vaikutus betonin kuivumiseen (RT- 14- 10984).

Jos kosteusmittaustulokseksi halutaan betonin suhteellinen kosteus, tulee se mitata suoraan esimerkiksi betoniin poratusta reiästä tai näytepalasta koeputkessa. Jos taas halutaan kosteuspitoisuus painoprosentteina, tulee mittausta tehdä kuivatus-punnitus – menetelmää käyttäen. Hygroskooppisia tasapainokosteuskäyriä voidaan käyttää vain antamaan suuruusluokkatietoa betonin sisältämistä vesimääristä sekä arvioitaessa esimerkiksi materiaalien tai rakenteen kosteuskäyttäytymistä, varsinkin, kun tasapainokosteuskäyrät ovat ikivanhoja ja betonireseptejä on nykyään joka toimittajalla kymmeniä ja monilla jopa satoja. (RT 14- 10984).

4.4 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS

Betonirakenteista tehtävillä suhteellisen kosteuden mittauksilla (RH- mitta) saadaan selvitettyä rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä sekä rakenteen kosteusjakaumaa, josta voidaan mm. arvioida, mihin suuntaan kosteus rakenteessa liikkuu. Mittaustulosten perusteella voidaan arvioida kuinka paljon rakenteessa on ympäristöön nähden ylimääräistä kosteutta ja voidaanko rakenne päällystää tai pinnoittaa ilman kosteusvaurioriskiä. Mittausten perusteella voidaan myös arvioida kosteusvaurion syytä ja laajuutta sekä mahdollista kuivatustarvetta.

Mittaukset tehdään joko rakenteeseen poratuista reiästä tai rakenteesta otetuista materiaalinäytepaloista. Koska mittaukset ovat ainetta rikkovia sekä aikaa vaativia, mittauspisteiden lukumäärä on aina rajallinen. Vauriotutkimuksissa mittauskohdan valinnassa voidaan käyttää apuna esimerkiksi pintakosteusmittauksia, rakennepiirustusten pohjalta tehtyjä riskiarvioita, aistihavaintoja ja mikrobitutkimuksia.

Päällystettävyyssmittauksissa mittauskohdan valintaan vaikuttavat mm, valujan- kohdat, kastuminen, betonilaatu, tuleva päällystemateriaali, rakenneratkaisuja mittauspisteiden olosuhteet.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen on vaativa tehtävä. Betonin ominaisuudet sekä olosuhteet mittauskohdassa muodostavat yhdessä monia tekijöitä, jotka voivat johtaa virheelliseen mittaustulokseen. Luotettavan tuloksen saaminen on tärkeää, sillä betonin hitaasta kuivumisesta johtuen jo muutaman % -yksikön virhe voi vaikuttaa merkittävästi mittausten perusteella tehtyihin johtopäätöksiin. Virhe voi aiheuttaa päällystystöiden viivästymisen useilla viikoilla tai toisaalta liian aikaiseen päällystämiseen, jolloin seurauksena voi olla myöhemmin esiintyvä kosteusvaurio. Virheellinen mittaaminen voi johtaa myös rakenteen turhaan tai väärin toteutettuun kuivattamiseen ja siten ylimääräisiin kustannuksiin.

Koska mittaustulosten perusteella tehdään usein hyvinkin suuria taloudellisia päätöksiä, mittaustyö tulee suorittaa riittävällä tarkkuudella ja tuloksia tulee tulkita oi-

kein. Kosteudenmittaajalla tulee olla hyvät tiedot mittalaitteestaan, mittaustyön suorittamisesta sekä mittaustuloksen tulkintaan vaikuttavista tekijöistä.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen vaikuttavia tekijöitä:

- Mittapäätyyppi
- Mittapään käytön määrä ja mittaushohteet
- Mittapäiden kalibrointi
- Mittausreiän puhdistus, tiivistys ja tasaantuminen
- Mittausreiän putkitus
- Oikea mittaussyvyys
- Odotusaika porauksesta
- Ympäristön ja betonin lämpötila
- Betonin ominaisuudet (vesisementtisuhde, tiiviys)
- Rakenteen ja yläpuolisen ilman välillä lämpötilaero

Mittauksia tehtäessä kannattaa myös miettiä tarkoituksenmukaista tarkkuutta: Joskus riittää epätarkempikin (suuntaa antava mittaus) ja joskus tarvitaan tarkimmat mahdolliset mittaukset. (RT 14- 10984).

4.4.1 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä

Betonin suhteellisen kosteuden (RH) mittaus tehdään yleensä betoniin poratusta reiästä, jossa kosteus tietyn ajan kuluessa porauksesta asettuu tasapainoon ympäröivän materiaalin kanssa. Mittausreikä porataan sille syvyydelle, jolta mittaustulos halutaan. Kosteusvauriotutkimuksissa mittaussyvyyydet ovat tapauskohtaisia. Suositeltavaa on, että mittauksia tehdään useammalta eri syvyydeltä. Päälystettävyyssmittauksissa mittaussyvyyteen vaikuttaa rakenneratkaisu (rakenteen paksuus ja kerroksellisuus).

Reiät porataan kuivamenetelmällä. Reiän halkaisijan tulee olla vähintään muutaman millimetrin mittapään halkaisijaa suurempi. Useimmat mittapäättyypit (esim. Vaisala HMP44, HMP36, HMP46, Testo 615) edellyttävät Ø16 mm reikää. Markkinoilla on myös mittapäitä, jotka mahtuvat huomattavasti pienempään reikään. Nämä ohuet (Ø

4-6 mm) mittapääät soveltuvat pääosin kosteusvauriomittauksiin, esimerkiksi kaakeli-laattojen saumoista tehtäviin mittauksiin. Betonimittauksissa pienellä mittausrei'illä ($\text{Ø} < 10 \text{ mm}$) ei päästä yhtä hyvään mittaustarkkuuteen kuin suuremmilla, koska pienen reiän sivuja ei voida luotettavasti putkituksella tiivistää. Lisäksi pienen vaippapinnan kautta tapahtuva kosteuden tasaantuminen on hyvin hidasta. Ohuilla mittapäillä voidaan mitata esimerkiksi $\text{Ø} 16 \text{ mm}$:n reiästä.

Mittausreikää tehtäessä tulee varoa, ettei poraa sähkö- tai vesiputkiin. Lämpökamera on oiva väline lattialämmityskaapeleiden ja – putkien etsimiseen. Mittausreikä ei myöskään saa rikkoa rakennetta niin, että rakenne myöhemmin vaurioituu. Jos kosteusmittauksia tehdään vesieristeen läpi, voi vedeneristeen alle porattuun reikään joutua vettä kiinnityslaastikerroksesta jo ennen mittausputken asennusta. Vesieriste on syytä ottaa esiin (poistaa esim. 1 laatta) ja sitten vasta porataan vesieristeen alle. Tällöin voidaan arvioida kerrosten paksuutta ja eri kerrosten kiinnittymistä toisiinsa. Jos mittaus suoritetaan tällä tavalla, tehdään varmasti oikeita mittauksia. Esimerkiksi vedeneristeen tai höyrysulun läpi tehty mittaus voi aiheuttaa suuriakin vahinkoja, jos mittausreikää ei mittauksen jälkeen paikata huolellisesti. Porauksen jälkeen reikä on puhdistettava huolellisesti porauspölystä joko imurilla tai paineilmalla. Puhdistamaton reikä antaa yleensä liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja, ainakin pian poraamisen jälkeen ja lisäksi aiheuttaa mittapään pölyyntymisen ja siten vähintään tasaantumisaajan hidastumisen ja joskus myös vaurioitumisen.

Aikaisemmissa mittauksissa asennettujen mittausputkien käyttö saattaa johtaa mittaustarkkuuden merkittävään huonontumiseen. Putkien tiivistys voi pettää mittaus-ten välillä, putken ja betonin rajapinnasta voi tapahtua todellista nopeampaa betonin kuivumista tai mittauskohtaan voi imeytyä lattiapinnalle pääsevää vettä. Olosuhdevaihteluiden vuoksi putkeen ajoittain tiivistyvä kosteus voi valua putken pohjalle kostuttaen betonin putken pohjalla.

Jos samasta putkesta mitataan useamman kerran, tulee jokaisella kerralla pidentää mittapään tasaantumisaikaa rakenteessa. Tällöin mittausputken ympäristön betonin

muuta betonia nopeampi kuivuminen ei huononna mittaustarkkuutta liikaa. Luotettavimmat mittaukset saadaan aina uusista rei'istä. (RT 14- 10984).

4.4.2 Mittaaminen jatkuvasti betonin sisällä olevalla anturilla

Markkinoilla on hyvinkin pieniä mittalaitteita, joiden tarkoituksena on olla koko ajan betonirakenteessa. Useimmat niistä asennetaan kovettuneeseen betoniin porattuun reikään. Tällaiset mittalaitteet saattavat olla riittävän hyviä, jos ne voidaan kalibroida ennen asennusta ja niiden näyttämätaso ei muutu merkittävästi betonissa olevien ainesosien vaikutuksesta. Tulosten luotettavuuden varmistamiseksi mittapäät tulee pystyä kalibroimaan mittausten jälkeenkin, jolloin mittalaitteella on mahdollista tehdä tarkkoja suhteellisen kosteuspuiteisuuden mittauksia.

Mittalaitteiden etuna on, että lämpötilavaihtelujen vaikutus mittaustarkkuuteen saadaan minimoitua esimerkiksi asentamalla lämpöeristettä mittauspäätteen yläosaan. Jos betonin lämpötila on hyvän porareikämittauksen suosituslämpötila-alueen ulkopuolella, tulee hyvään tarkkuuteen pyrittäessä käyttää näytepalamenetelmää siitäkin huolimatta, että mittapää on jo valmiiksi rakenteessa.

Betonivaluun pysyvästi asennettavien mittalaitteiden ongelmana on, että niiden antamia kosteusarvoja ei voida todentaa kalibroimalla mittalaitte mittausten jälkeen. Toisaalta edullisten langattomasti luettavien rakenteessa olevien anturien avulla voidaan saada suuntaa antavan kuivumismittauksen lisäksi tietoa esimerkiksi vedeneristeen toiminnasta rakennuksen käytön aikana. (RT 14- 10984).

4.4.3 Kosteusmittauspiste

Betonirakenteen kosteusilanteen selvittäminen edellyttää yleensä, että yhdessä mittauspisteessä on useampia mittausröikiä. Eri syvyydelle poratuista rei'istä voidaan määrittää rakenteen kosteusjakauma, mikä on erityisen tärkeää esim. kosteusvauriotutkimuksissa. Vauriotutkimuksissa mittausröikien syvyyksille ei ole tarkkoja ohjeita. Suositeltavaa on, että kosteus ja lämpötila mitataan vähintään 3:lta eri syvyydeltä rakennuksen poikkileikkauksen osalta.

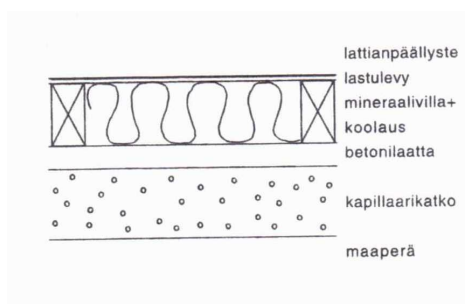
Myös rakennustyömaalla tehtävissä päällystettävyyssmittauksissa yksi mittapiste koostuu useammasta reiästä. Jokaisessa mittauspisteessä pitää olla vähintään kaksi saman syvyistä rinnakkaista reikää, joiden keskinäinen etäisyys on 100-300 mm. Arviointisyvyys on se kohta rakenteessa, jossa kosteusraja-arvon on alituttava, ennen kuin päällystystyöhön voidaan ryhtyä. Arvostelusyvyys määräytyy pääosin rakenteen paksuuden mukaan. Nämä arvostelusyvydet perustuvat olettamukseen, että päällystämisen jälkeen kosteus nousee tiiviin päällysteen alla enimmillään siihen arvoon, mikä ennen päällystämistä vallitsi kyseisellä arvostelusyvydellä.

Arvostelusyvyden lisäksi kosteus tulee mitata rakenteen pintaosista 20...30 mm. syvyydeltä sekä arvostelusyvyttä syvemmältä. Myös pinnan (0..10 mm) kosteus suositellaan mitattavaksi. Tämä mittaus voidaan tehdä näytepalamenetelmällä. Nämä tulokset helpottavat huomattavasti tulosten tulkintaa. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.4.4 Kosteuslähteen määrittäminen maanvaraisessa laatassa

Lämpötila ja suhteellinen kosteus mitataan sisäilmasta, alapohjasta mineraalivillan alta ja maasta betonilaatan alta. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla määritetään sisäilman a_s , alapohjan a_a ja maan absoluuttinen kosteus.

Kosteuslähteen sijainnin määrittäminen maanvaraisessa laatassa: Esimerkissä kosteuden siirtyminen oletetaan yksiulotteiseksi.



Kuva 5. Tutkittavan maanvaraisen laatan rakenne. (Ympäristöministeriö: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus)

Kyseeeseen voivat tulla seuraavat kolme tapausta:

1. $a_m > a_a > a_s$

Kosteus siirtyy maasta ylöspäin. Kapillaarikerroksen rakeisuus ja salaojituksen toiminta tulee selvittää.

2. $a_m < a_a < a_s$

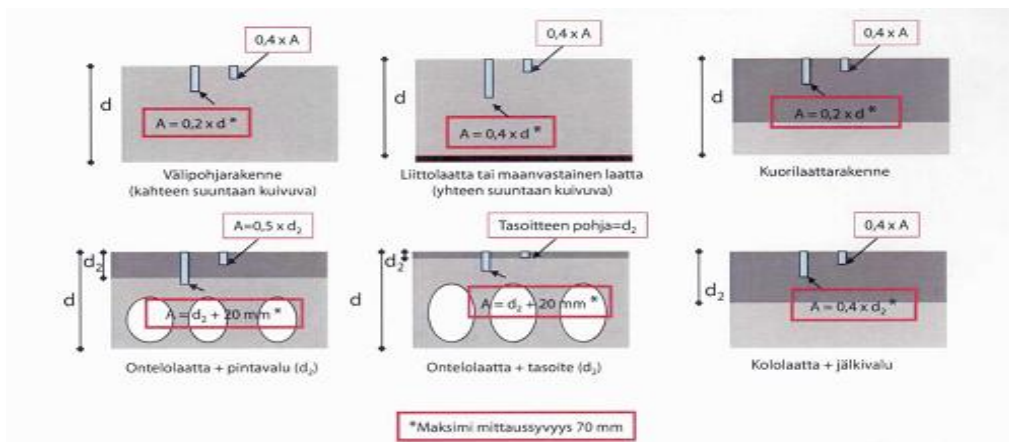
Kosteus siirtyy huoneesta alaspäin. Huoneessa on korkea kosteuspitoisuus, jonka syy tulee selvittää.

3. $a_a > a_s$ ja $a_a > a_m$

Kosteus siirtyy lattiasta alas- että ylöspäin. Syynä voivat olla rakennuskosteus, putkivuoto ja muiden rakennusosien vuodot.

4.4.5 Mittaussyvyys ja -tarkkuus

Betonirakenteen suhteellinen kosteus (RH) määritetään rakenteen paksuuden mukaan määräytyvällä arviointisyvyydeltä A, kuva 5. Tiiviillä pintamateriaaleilla tällä syvyydellä vallitseva kosteuspitoisuus on lähellä päällysteen alle tasapainottuvaa kosteuspitoisuutta, jos betoni ei ole kosteampaa lähempänä pintaakaan. Tämä varmistetaan mittaamalla sekä rakenteen pinnan (0...5mm) että pintaosien kosteussyvyydeltä $0,4 \times A$. Matalammalla mittaussyvyydellä varmistetaan, että betonin pintaosassa kosteuden siirtyminen on tarpeeksi hidasta ja että betonin pintaosat pystyvät vastaanottamaan tasoitteista ja liimoista tulevan kosteuden. Vesihöyryä hyvin läpäisevien päällysteiden alapuolelle tasapainottuvaan kosteuspitoisuuteen vaikuttaa eniten matalampien mittaussyvyyksien kosteuspitoisuus. Tyypillisempien rakenteiden päällystettävyyden määrittelysyvyudet on esitetty kuvassa 5. Tarkassa päällystettävyyden arvioinnissa tulee käyttää tarkan mittauksen periaatteita. Usein on tarpeellista tehdä samasta kohdasta kaksi rinnakkaista mittausta päällystettävyyden arvioinnin kannalta tärkeimmältä mittaussyvyydeltä. (RT 14- 10984).



Kuva 6. Mittaussyvydet eri rakenneratkaisuilla betonin rakennepaksuuksista riippuen. Jos päällysteen vesihöyrynläpäisevyys ei ole tarkasti tiedossa, verrataan syvyyden A mittaustulosta päällysteen/ pinnan kriittiseen kosteusarvoon. Jos ontelolaatan päälle valetun pinta-betonilaatan paksuus on 60 mm tai suurempi, tulee kosteuspitoisuus mitata lisäksi arviointisyvyyden A yläpuolella syvyydellä $0,4 \times A$, jossa RH: n tulee yleensä olla alle 75 %. (RT 14- 10984).

4.4.6 Mittausreiän tiivistys

Porauksen ja puhdistamisen jälkeen reikä tulee tiivistää. Kun mittaustulos halutaan tietyltä syvyydeltä (erityisesti päällystettävyyssmittauksissa), reikä tulee tiivistää sekä sivuilta että päältä käyttämällä reiässä putkea. Tällöin tulokseksi saadaan se kosteus, mikä vallitsee reiän pohjalla (eli halutulla syvyydellä). Mikäli reiän sivut jäävät tiivistämättä ja rakenteen pintaosat ovat kuivat, osa syvemmällä olevasta kosteudesta imeytyy kuivempiin pintaosiin ja tulokseksi saadaan todellista alhaisempi lukema. Jos taas pintaosat ovat esimerkiksi vesivahingossa kastuneet ja syvemmällä on kuivempaa, tulokseksi voidaan saada todellista korkeampi lukema. Putkittamattomasta reiästä saadaan siis keskimääräinen kosteus reiän koko pituudella, jos vain betonin pinta on märkä, voidaan luulla kosteuden imeytyneen koko poraussyvyydelle. Putkittamattomasta reiästä saadaan siis keskimääräinen kosteus reiän koko pituudella, ja se on vielä epämääräinen keskiarvo.

Tiivistämiseen voidaan käyttää laitevalmistajien tätä tarkoitusta varten valmistamia asennusputkia (esim. Vaisalan 19266HM asennusputki) tai esimerkiksi sähköputkea. Laittamalla Ø 16 mm sähköputki Ø 16 mm reikään, saadaan sivuiltaan riittävän tiivis mittausreikä. Yleisesti vielä käytössä oleva Vaisala Oyj:n valmistama punainen holkki ei ole sivuiltaan umpinainen. Myös mittausputken ja betonin rajapinta on hyvä tiivistää esimerkiksi kitillä. Mittausputken yläpää tulee aina tiivistää huolellisesti joustavalla massalla (esim. Mal-kitillä), kumi- tai muovitulpalla. Ilmastointiteippi ei ole riittävän tiivistä. Viime aikoina Mal-kitin saannissa ja laadussa on ollut ongelmia, koska yksi valmistaja on lopettanut tuotteen valmistuksen, ja korvaavat tuotteet eivät ole ainakaan vielä ole vakuuttaneet laadullaan.

4.4.7 Mittausreiän tasaantuminen

Porauksen, puhdistamisen ja tiivistämisen jälkeen mittausreiän tulee antaa tasaantua 3-7 vrk, jotta tasapainokosteus reiässä saavutetaan. Jos mittaus tehdään liian aikaisin porauksen jälkeen, tulokseksi yleensä saadaan liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Porauksen vaikutuksesta betoni kuumenee ja kosteustasapaino betonin huokosissa häiriintyy. Porauksen vaikutus on yleensä sitä suurempi, mitä kuivempi ja lujempi betoni on. Betonin ollessa hyvin kostea, suhteellinen kosteus ei voi porauksen vaikutuksesta juurikaan nousta, mutta kun kyseessä on kuiva betoni (esim. 70 % RH), porauksen vaikutus voi olla jopa 15- 20 % -yksikköä. Porauksen kosteusarvoja nostavaan ilmiöön vaikuttaa mm. betonin kosteus, betonin laatu, poraussyvyys ja putkituksen tiiviys.

4.4.8 Mittapäiden asennus

Ennen mittapäiden asentamista tulee varmistaa, että mittapää on toimintakunnossa ja kalibroitu. Mittapäät kannattaa numeroida, jos mittauksissa havaitaan poikkeavia tuloksia, ne helppo kohdistaa numeroituun mittapähän, ja mittaus voidaan tarvittaessa uusua toisella mittapäällä. Lisäksi mittapään tulee tasaantua mitattavaa rakennetta ympäröiviin olosuhteisiin (lämpötila ja RH). Jos kylmä mittapää laitetaan mit-

tausreikään, kosteus voi tiivistyä anturiin, jolloin mittaus epäonnistuu. Mitattaessa samalla mittapäällä useita reikiä, mittapään on annettava tasaantua (RH ja T) mittauksen välillä ympäröivän ilman olosuhteisiin vähintään muutamia minuutteja.

Mittapää voidaan asentaa mittausreikään heti porauksen, puhdistamisen ja tiivistämisen jälkeen, jolloin mittapää tasaantuu reiässä vaaditun porareian tasaantumisajan (vähintään 3 vuorokautta). Mittapää on kuitenkin niin kalliita, että niitä ei käytännössä uskalla jättää kolmeksi päiväksi rakennustyömaalle potkittavaksi. Monesti käy niin, että mittaputketkaan eivät pysy paikoillaan, vaan ne potkittu pois paikoiltaan. Tämä kuvastaa sitä, työmaalla ei tunneta kosteusmittauksia tarpeeksi hyvin. Yleisimmin mittapää kuitenkin asennetaan reikään vasta mittauspäivänä. Mittapää on laitettava mittareikään välittömästi reiän avaamisen jälkeen. Mittausreiän (tai mittausputken) ja mittapään väli tiivistetään huolellisesti. Mittapään tulee olla reiässä niin pitkän ajan, että kosteustasapainoanturin ja betonin välillä saavutetaan riittävällä tarkkuudella. Tasaantumisaika on 1- 24 tuntia riippuen anturityypistä, mittapään kosteuskapasiteetista, betonilaadusta, betonin kosteudesta sekä halutusta mittauksen tarkkuudesta. Käytännössä suositeltavat minimitasautumisajat ovat esimerkiksi Vaisalan HM44 anturia käytettäessä 1 h ja Vaisala HMP46 anturia käytettäessä 4 h. Tasaantuminen on yleensä sitä hitaampaa, mitä kuivempaa tai mitä tiiviimpää mitattava betoni on. Hyvällä mittapäällä vaadittava tasaantumisaika ei riipu niinkään mittapään ominaisuuksista, vaan betonin kosteudenluovutusnopeudesta mittausreiän avaamisen ja mittapään asennuksen jälkeen. (RT 14- 10984).

4.4.9 Mittaustulosten lukeminen

Tasaantumisajan jälkeen mittapää liitetään näyttölaitteeseen, jolta mittaustulokset luetaan. Näyttölaite ilmoittaa sekä suhteellisen kosteuden arvon (RH) että lämpötilan (T). Molemmat lukemat (RH JA T) sekä anturin numero (koodi, jotta mittaustulos voidaan tarvittaessa jäljittää ennen tai jälkeen tehtyjen kalibrointien perusteella) kirjataan mittauspöytäkirjaan. Mikäli mittapää on kalibroinnissa säädetty näyttämään oikein tai mittapään kalibrointikertoimet on tallennettu näyttölaitteeseen (esim. Vai-

sala HMP44), näyttölaite ilmoittaa suoraan todellisen RH arvon. Vaihtoehtoisesti mittapään lukemat korjataan kalibroitukorkorjauskertoimilla laskennallisesti. Mikäli mittapään kalibroitukertoimet on tallennettu näyttölaitteeseen, kosteusarvoja luettassa näyttölaitteeseen tulee olla valittu oikean mittapään kertoimet. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.4.10 Lämpötilan vaikutus mittaukseen

Lämpötila voi aiheuttaa merkittäviä mittausrvirheitä betonin suhteellista kosteutta mitattaessa. Virhe voi syntyä, jos betonin lämpötila mittaushetkellä on eri kuin rakennuksen lopullinen käyttölämpötila, jos betonin lämpötila on mittaushetkellä eri kuin mitta-anturin lämpötila tai lämpötila muuttuu mittauksen aikana.

Porareikämittausta tehtäessä betonirakenteen lämpötilan tulee olla lähellä rakennuksen käyttölämpötilaa eli yleensä noin +20 °C. Jos betonin lämpötila poikkeaa +20 °C asteesta korkeintaan ±5 °C astetta, lämpötilan aiheuttama virhe suhteellisen kosteuden arvoon on yleensä ±0-5 % - yksikköä siten, että lämpötilan ollessa alle +20 °C astetta kosteusarvot ovat yleensä todellista alhaisempia ja lämpötilan ollessa yli 20 °C astetta kosteusarvot ovat yleensä todellista korkeampia. Jos lämpötila mittaushetkellä poikkeaa edellä mainitusta (+ 15 + 25 °C), mittausrvirhe voi olla hyvinkin suuri ja täysin hallitsematon. Tästä syystä porareikämittausta tehtäessä betonin lämpötila tulisi olla välillä + 15 +25 °C.

Betonin lämpötilan noustessa, betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus eli betonin suhteellinen kosteus nousee. Ilmiö on päinvastainen kuin pelkällä ilmalla, jossa lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus laskee vesipitoisuuden (g/m³) pysyessä samana. Betonissa lämpötilan nousu saa aikaan sen, että huokosten pintaan fyysikaalisesti syntyneitä vettä höyrystyy huokosen ilmatilaan. Tällöin ilmatilan vesihöyrypitoisuus kasvaa ja sen seurauksena myös suhteellinen kosteuspitoisuus kasvaa. Jossain vaiheessa saavutetaan raja, jonka jälkeen lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus lähtee laskemaan (rakenne kuivuu). Ilmiö on riippuvainen mm. betonin

huokosrakenteesta, hydrataatioasteesta, vesisementtisuhteesta, iästä ja kosteudesta. Tästä johtuen ei ole pystytty laatimaan riittävän tarkkoja korjauskertoimia, joiden avulla betonin RH voitaisiin muuttaa jotain tiettyä lämpötilaa vastaavaksi.

Jos betonia on lämmitetty esimerkiksi kuivatuksen takia, betonin tulee antaa jäähtyä rakennuksen käyttölämpötilaan ennen mittausreikien porausta. Mikäli reiät porataan lämmitettyyn betoniin, voi mittausreikään rakenteen jäähtyessä kondensoitua kosteutta.

Lämpötilaero mitta-anturin ja betonin välillä aiheuttaa mittausvirheen. Jo 1 °C asteen lämpötilaero anturin ja betonin välillä voi aiheuttaa 5 % - yksikön muutoksen kosteuden lukemassa. Tällainen lämpötilaero voi käytännössä syntyä esimerkiksi, jos ulkovi avataan talvella mittauksen aikana, anturiin paistaa aurinko tai mittaus tehdään lämmöneristeen läpi. Jos anturi on kylmempi kuin mitattava betoni, tulokseksi saadaan todellista korkeampia arvoja. Jos anturi on taas lämpimämpi kuin mitattava betoni, tulokseksi saadaan todellista alhaisempia arvoja. Taulukossa 3 on esitetty anturin ja betonin välisen lämpötilaeron aiheuttaman systemaattisen virheen suuruus, kun betonin RH on 90 % ja lämpötila +20 °C[1]. Lämpötilamuutokset voivat aiheuttaa myös mittausreiässä kosteuden tiivistymistä jo ennen mittapään asennusta. Mittauksen aikaisten lämpötilan muutosten rajoittamiseksi mitattavan tilan ovet ja ikkunat tulee pitää suljettuna ja mittapiste tulee tarvittaessa lämpöeristää. Mikäli lämpötila ei ole hallittavissa, mittaus tulee tehdä näytepalamenetelmällä.

Mittauksen aikana ympäristön lämpötila tulee olla vakaa, jotta betonin ja anturin välille ei synny lämpötilaeroa! (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

Taulukko 3. Betonin ja anturin lämpötilaeron vaikutus RH arvoon [1]. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi).

Lämpötila- ero, °C	0,1	0,2	0,4	1,0
RH- virhe, % RH	0,5	1,0	2,0	5,0

4.5 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS NÄYTEPALA-MENETELMÄLLÄ

Näytepalamenetelmä on porareikämenetelmää nopeampi ja luotettavampi menetelmä betonirakenteen suhteellisen kosteuden (RH) määrittämiseksi. Menetelmää käytetään lähinnä niissä tilanteissa, kun mittaustulos halutaan nopeasti, olosuhteet mittaukskohdassa ovat epävakait tai kun betonin lämpötila on porareikämittaukselle selvästi liian alhainen tai liian korkea.

4.5.1 Näytepalojen otto

Mittauspisteessä betonirakenteeseen porataan 10...16 mm poranterällä halkaisijaltaan noin 100...150 mm piiri. Reiät porataan mittaussyvyyteen asti. Piiriin sisään jäänyt betoni piikataan tai hakataan (moskalla ja taltalla) irti, jolloin irronneen betonikappaleen alta paljastuu ns. näytteenottopinta. Betonipala voidaan irrottaa myös kuivaporakruunun avulla. Näytteenottopinnan syvyys tarkistetaan. Tavoitteena on noin 5 mm mittaussyvyyttä ylempänä oleva pinta. Syvyyden ollessa oikea, pinnasta piikataan esimerkiksi lyöntimeisselillä betonimurusia (ei pölyä). Murusia ei tule ottaa aivan porauspinnan läheisyydestä. Muruset laitetaan välittömästi koeputkeen yhdessä kosteusmittapään kanssa, siten että murusten määrä on noin 1 / 3 koeputken tilavuudesta. Lämmitettyä betonia mitattaessa murusten tulee olla mahdollisimman suuria. Putkenpää tiivistetään vesihöyrytiiviksi huolellisesti materiaalilla, jonka kosteuskapasiteetti on alhainen. Mittauksessa käytettävän mittapään kosteuskapasiteetin tulee olla alhainen eli mittapää ei saa sitoa merkittäviä määriä kosteutta. Mitta-

pään tulee olla lisäksi tiivis, ettei kosteus pääse kulkeutumaan mittapään vartta ulos koeputkesta.

4.5.2 Näytepalojen siirto ja tasaantuminen

Näytteenoton jälkeen koeputket, joissa ovat sekä betoninäytepalat että mittapää, siirretään +20 °C asteen vakioämpötilaan. Siirron ajaksi koeputket tulee laittaa lämpöeristettyyn kuljetusastiaan suurten lämpötilavaihtelujen minimoimiseksi. Esimerkiksi talvella tulee estää koeputken jäätyminen kosteuden tiivistymisriskinvuoksi.

Näytepalojen annetaan tasaantua vakioämpötilassa (+20 °C) halutusta mittauksen tarkkuudesta riippuen 2- 12 tuntia. Tarkkuutta vaativissa päällystettävyyssmittauksissa tasaantumisaika on vähintään 6 tuntia. Erittäin tiivistä betonia ($v/s < 0,5$) mitattaessa tasaantumisaika tulee olla pidempi.

Tasaantumisajan jälkeen luetaan sekä kosteusarvo (RH) että lämpötila (T) ja tulokset kirjataan. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.6 MITTAUSAJANKOHTA JA MITTAUSPISTEIDEN VALINTA

4.6.1 Vesivahinkoihin liittyvät betonirakenteen kosteusmittaukset

Vesivahinkokohteissa kosteusmittauksilla pyritään lähinnä selvittämään vesivahingon laajuutta sekä määrittämään kuivatustarvetta. Tarvittaviin mittauksiin tulee ryhtyä mahdollisimman pian vahingon havaitsemisen jälkeen, jotta vuotokohta saadaan paikallistettua ja tarvittaviin kuivatustoimenpiteisiin voidaan ryhtyä välittömästi. Mittauksen tarkkuusvaatimukset eivät yleensä ole yhtä suuret kuin uudisrakennusten päällystettävyyssmittauksissa. Valitettavasti eräät vakuutusyhtiöt ja isännöitsijät ovat ottaneet käyttöön käytännön, jossa koko vesivahingon kustannusarvio on tiedettävä ennen kuin kuivatustöitä voidaan aloittaa. Tämä vie aikaa yleensä 1-3 viikkoa, joten rakenteet ehtivät homehtua ja korjauslasku vain kasvaa. Järkevämpää olisi

aloittaa purku- ja kuivaustyöt heti ja kuivaustöiden aikana pyytää tarjouksia eri urakoitsijoilta. Purkutöiden jälkeen vaurion laajuus on myös selvillä, joten tarjouslaskentakin on helpompi suorittaa.

Mittaukset aloitetaan yleensä ainetta rikkomattomilla pintakosteusmittauksilla. Rakennusratkaisusta ja vesivahingon suuruudesta riippuen rakenteista joudutaan useimmiten tekemään myös betonin suhteellisen kosteuden (RH) mittauksia porareistä. Betonirakenteen kuivattamistarpeen määrittäminen ja kuivumisen seuranta edellyttää lähes poikkeuksitta RH- mittauksia. Mittauspisteiden määrä ja sijainti ovat aina tapauskohtaisia. Mittauspisteiden määrän tulee olla sellainen, että kastunut alue kyetään luotettavasti rajaamaan. Oleellista on tehdä kastuneiden alueiden lisäksi vertailumittaus kuivasta kohdasta.

Jos betonirakenteen kuivattamista seurataan porareikämittauksin, lämpötilan vaikutus mittaustulokseen tulee huomioida. Luotettavan mittaustuloksen saaminen edellyttää, että rakenne on ensin jäähtynyt normaaliin käyttölämpötilaansa. Tämän jälkeen porataan mittausreiät ja vasta 3 vuorokauden tasaantumisaikaa kuluttua tehdään mittaus. Jokaista mittauskertaa varten tulee porata uudet reiät. Käyttökelpoisempi ja nopeampi tapa on tehdä mittaus näytepalamenetelmällä. (RT 14- 10984).

4.6.2 Kuntotutkimukseen liittyvät betonirakenteen kosteusmittaukset

Kosteusmittaukset kuuluvat oleellisena osana rakennusten kuntotutkimuksiin. Mittauksilla saadaan selvitettyä rakenteen kosteusjakaumaa, josta voidaan mm. arvioida, mihin suuntaan kosteus liikkuu. Mittaustulosten perusteella voidaan myös arvioida onko rakenteessa ylimääräistä kosteutta, ovatko kosteuslukemat rakenteen toiminnan kannalta kriittisen korkeita sekä arvioida kosteusvaurion syytä, laajuutta ja mahdollista kuivatustarvetta.

Kosteusvauriotutkimukset edellyttävät lähes poikkeuksetta suhteellisen kosteuspitoisuuden (RH) mittauksia. Jos rakenne on hyvin märkä (RH) > 97 %, kosteustilan selvittäminen edellyttää kosteuspitoisuuden määrittämistä kuivatuspunnitusmenetelmällä.

Koska betonirakenteen RH- muutokset ovat ainetta rikkovia sekä yleensä aikaa vaativia, mittauspisteiden lukumäärä on rajallinen. Mittauskohdan valinnassa käytetään apuna pintakosteusmittauksia, rakennepiirustuksia, aistihavaintoja ja mikrobi tutkimuksia. Mittauspisteiden valinnassa tulee ottaa huomioon mittausreikien mahdollisimman siisti paikkausmahdollisuus. Lisäksi esimerkiksi mikrobivaurioituneessa kohteessa on huolehdittava, ettei mittausreiästä pääse mittauksen missään vaiheessa epäpuhtauksia huoneilmaan.

Mittauspisteen valinnassa pitää muistaa, että kaikki kohteet ovat erilaisia. Kaikki vaikuttaa kaikkeen. Mittauspisteen valinta riippuu siitä, mitä tutkitaan. Halutaanko tietää nouseeko kosteus kapillaarisesti maasta, vai onko kysymyksessä vesivuoto? Nämä asiat vaikuttavat siihen miltä syvyydeltä ja mistä kosteuksia mitataan. Joissakin tapauksissa voidaan mittauksarkkuudesta hallitusti tinkiä, jos mittauskohtia on paljon. Tähän aihepiiriin on valmistumassa uusi RT- kortti, jossa on tähän asiaan liittyviä vinkkejä sivukaupalla.

Kosteusvaurion syyn selvittäminen vaatii usein mittauksia rakenteesta eri syvyyksiltä, jolloin tulosten perusteella voidaan arvioida kosteuden kulkusuuntaa. Rakenteen suhteellista kosteutta mitattaessa on mitattava myös lämpötila. Tulosten analysointia varten tulee mitata myös sisä- ja ulkoilman kosteus ja lämpötila. (RT 14- 10984).

4.6.3 Betonirakenteen päällystettävyyden arviointiin liittyvät kosteusmittaukset

Ennen kuin betonirakenne voidaan päällystää tai pinnoittaa, tulee mittaamalla varmistaa, että rakenteen kosteuspitoisuus on päällystemateriaalin edellyttämän suurimman sallitun arvon alapuolella. Kosteusraja-arvot annetaan pääsääntöisesti suhteellisena kosteuspitoisuutena (RH %). Yleisimpien päällystemateriaalien raja-arvot ovat välillä 80- 90 %. Eri päällystemateriaalien kosteusraja-arvoja on annettu mm. Sisä RYL: ssä sekä Betonilattiyhdistyksen ja Betoni yhdistyksen julkaisuissa (BLY7/by45). Ensisijaisesti tulee aina noudattaa päällystemateriaalin valmistajan antamia ohjeita.

Betonirakenteiden päällystettävyyssmittaus tehdään ennen päällystetyöhön ryhtymistä. Rakenteiden kuivumista on kuitenkin syytä seurata ennen varsinaista päällystettävyyssmittausta. Seurantamittausten avulla voidaan todeta, onko kuivumista tapahtunut suunnitellussa aikataulussa ja tarvittaessa voidaan riittävänvarhaisessa vaiheessa ryhtyä lisäkuivatustoimenpiteisiin ilman aikatauluviivytyksiä. Kokemuksemme mukaan ainakin Pirkanmaan alueella jotkut rakennusliikkeet ottavat kuivumisen seurannan hyvin huomioon, joskin aikataulut ovat tiukkoja mutta mahdollisiin lisäkuivatuksiin ei ole budjetoitu euroakaan. Toisaalta tämä on käsittämätöntä, koska betonin kuivuminen vaikuttaa koko kohteen toteutumisaikatauluun ja myöhästymissakot ovat erittäin suuria.

Rakennustyömaalle täytyy ennakkoon laatia kosteusmittaussuunnitelma, josta käy ilmi mm. mittausmenetelmä, mittausten aikataulu, laajuus ja mittapisteiden sijainti. Ensimmäinen mittaus tulisi tehdä pian sen jälkeen, kun kuivumisen oletetaan alkavan (rakenne ei enää kastu ja kohteessa on riittävästi lämpöä). Tällöin saadaan käsitys rakenteiden kosteustilasta ja kuivatustarpeesta. Seurantamittauksia tehdään 2-4 viikon välein (riippuen kuivausajasta) ja viimeinen (yleensä kattavampi ja tarkempi) mittaus vähän ennen päällystystyötä.

Mittauspisteiden sijaintia valittaessa tulee ottaa huomioon mm. rakenteen tyyppi, valuajankohta sekä betonin ominaisuudet. Betonilattioiden mittaukset suositellaan tehtäväksi kerroksittain vähintään kahdesta huoneistosta ja erikseen kahdesta kylpyhuoneesta. Pitkissä lamellitaloissa mittaus suositellaan tehtäväksi kolmessa huoneistossa - rakennuksen päissä ja keskellä. Mittausten laajuutta määritettäessä on otettava huomioon erilaisten päällystemateriaalien lukumäärä kohteessa ja päällystemateriaalien asettamat erilaiset vaatimukset alustan kosteuspitoisuudelle. Mikäli rungossa on käytetty useita erilaisia, etenkin kerroksellisia rakenteita, mittauspisteiden lukumäärää on vastaavasti lisättävä.

Mikäli rungon eri osissa tiedetään olevan huomattavia olosuhde-eroja tai jotkut rakenteet ovat huomattavasti kastuneet, näillä alueilla tehdään tarkistusmittauksia

mahdollisten poikkeamien toteamiseksi. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.6.4 Betonirakenteiden pitkäaikainen kosteus seuranta

Kosteusteknisesti kriittisiin betonirakenteisiin voidaan jo rakennusaikana tehdä valmiiksi mittauspisteet, joista rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä (kuivumista, kastumista) voidaan seurata rakenteita rikkomatta rakennuksen valmistumisenkin jälkeen.

Mittauspisteet voidaan tehdä asentamalla mittausputket paikoilleen jo ennen betonin valua tai asentamalla putket jo kovettuneeseen betonirakenteeseen tehtyihin railoihin tai porareikiin. Mittausputkena käytetään yleensä normaalia sähköputkea. Putken valuuun jäävä pää tiivistetään vesihöyrynläpäisevällä materiaalilla kuten esim. teflonpaperilla. Betonivaluuun jäävien mittausputkien korkeusasema toteutetaan valuuun jäävien telineiden avulla. Putken toinen pää, josta mittapää asennetaan mittausputkeen, johdetaan sitä vasten järjestettyyn varaukseen tai muuhun esteettisesti ja käytännöllisesti sopivaan paikkaan (esimerkiksi jalkalistan taakse, seinässä olevan tarkistusluukun taakse, lattiaan tehdyn luukun alle tai tekniseen tilaan). Putki voidaan asentaa myös esimerkiksi kelluvan lattian eristetilaan ennen pintabetonivalua. Mittausputken varaukseen tuotu pää pidetään aina tiiviisti suljettuna. Mittaukset voidaan toteuttaa joko jatkuvatoimisena, jolloin mittausputkissa olevat mittapääät ovat kytkettyinä tiedonkeruulaitteeseen tai vaihtoehtoisesti kosteusarvot voidaan käydä lukemassa määräajoin. Kosteuden seuranta onnistuu myös päältäpäin ilman valuuun tehtyjä vurityksiä. Esimerkiksi viiltomittaus toimii mainiosti, eikä muutama siististi paikattu mittauskohta vaikuta mitenkään pintojen ulkoasuun. Viiltomittauksia käsitellään luvussa 4.9. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.7 BETONIRAKENTEEN PÄÄLLYSTETTÄVYYDEN KOSTEUSMITTAUS- SYVYYDET

Betoni itse kestää hyvin kosteutta, mutta betonin sisältämä kosteus (mikä on usein hyvin alkaalista eli ph on korkea) voi aiheuttaa päällyste- ja pinnoitemateriaaleissa ja päällysteen kiinnitysaineissa vaurioita. Betonirakenteen sisällä saa olla hyvinkin korkea kosteuspitoisuus, kunhan kosteus välittömästi päällysteen alla ei nouse liian korkeaksi.

Betonirakenteen kuivuessa rakenteeseen muodostuu yleensä kosteusjakauma, jossa rakenteen pintaosat ovat kuivat ja syvemmälle mentäessä kosteuspitoisuus kasvaa. Kosteusjakauma voi olla hyvinkin jyrkkä. Esimerkiksi pinnan (0-10 mm) kosteus voi olla 30 % RH, 20 mm syvyydellä RH voi olla 75 %, 50 mm syvyydellä 90 % ja 70 mm syvyydellä jo yli 95 %. Syvemmällä oleva kosteus siirtyy ajan kuluessa kohti pintaa haihtuen edelleen ympäröivään ilmaan. Kun rakenne päällystetään, kosteuden poistuminen rakenteesta hidastuu. Kosteuden poistumiseen vaikuttaa merkittävästi päällystemateriaalin vesihöyrynläpäisevyys. Jos rakenteen pintaosat ovat kuivat ennen päällystämistä (alle 75 %), kosteuden siirtyminen syvemmältä betonista on niin hidasta, että kosteus ehtii haihtua vesihöyryä läpäisevän päällysteen läpi eikä kerääny päällysteen alle aiheuttaen vaurioita. Jos kosteusvirta syvemmältä rakenteesta kohti rakenteen pintaa on suuri ja /tai päällystemateriaalin vesihöyrynläpäisevyys on pieni, kosteus päällysteen alla voi nousta kriittisen korkeaksi. Päällyste / pinnoitevaurion syntyyn vaikuttaa siis eniten betonirakenteesta päällystemateriaaliin kohdistuva kosteusvirta sekä päällystemateriaalin vesihöyrynläpäisevyys.

Ennen päällystämistä tehtävillä kosteusmittauksilla pyritään varmistumaan betonin riittävän alhaisesta kosteussisällöstä, ettei suhteellinen kosteus nouse yli kriittisen arvon RH kr. Kosteusmittausyvytydet perustuvat kokeelliseen tutkimukseen, jonka mukaan tiiviin päällysteen alla kosteus nousee enimmillään siihen arvoon, mikä kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa vallitsi ennen päällystämistä syvyydellä 0,2 x rakenteen paksuus. Yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa vastaava syvyys on 0,4

x rakenteen paksuus. Edellä mainituilla syvyyksillä vallitsevan kosteuden lisäksi rakenteen päällystettävyyteen vaikuttaa merkittävästi rakenteen pintaosien kosteus. Pintaosien kosteus vaikuttaa mm. siihen, miten rakenne pystyy ottamaan vastaan tasoitteiden ja liimojen sisältämän kosteuden. Jos pintaosat ovat liian kosteat, jo pelkäästään liiman kosteuden vaikutuksesta suhteellinen kosteus välittömästi päällysteen alla voi nousta yli kriittisen arvon, jolloin vaurioituminen voi alkaa hyvinkin nopeasti. Pintaosien kosteus vaikuttaa myös siihen, miten nopeasti syvemmällä olevaa kosteutta virtaa kohti pintaa. Mitä kuivemmat rakenteen pintaosat ovat sitä hitaampaa kosteuden siirtyminen on. Betonirakenteen pintaosia voidaan pitää riittävän kuivana, kun betonin suhteellinen kosteus 20- 30 mm syvyydellä on alle 75 %.

Betonirakenteen suhteellinen kosteus ennen päällystämistä tulee mitata rakenteen pintaosista (0- 10mm ja 20- 30 mm), sekä tulosten tulkinnan helpottamiseksi, myös syvemmältä rakenteesta. Kerroksellisissa rakenteissa mittaus tulee tehdä jokaisesta kerroksesta. Mittaussyvytydet vaihtelevat rakenneratkaisun ja rakenteen paksuuden mukaan. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.8 SUHTEELLISEN KOSTEUDEN (RH) MITTAUS KEVYESTÄ RAKENTEESTA

4.8.1 Rakenteiden sisältä tehtävät RH- mittaukset

Rakenteiden sisältä tehtävien mittausten paikat valitaan yleensä rakenteiden riskiarvion ja pintamittausten tulosten analyysin perusteella. Rakenteiden sisältä tehtävät mittaukset ovat mahdollisia, jos rakenteisiin voidaan tehdä aukkoja, joista anturit sijoitetaan rakenteisiin ja joista otetaan materiaalinäytteitä kosteus- ja mikrobitutkimuksia varten. Mittausajankohdat valitaan siten, että vältetään oleskelutilojen ja näkyvien pintojen rikkomista, jos rakennus on normaalissa käytössä ja korjaus ajoittuu myöhempään ajankohtaan tai jos ei ole varmaa, korjataanko kyseessä olevat rakenteet muun korjaustyön yhteydessä. Esimerkiksi mittausreiän tekemistä näkyvälle

paikalle olohuoneen parkettilattiaan tulee harkita tarkkaan, ellei kyseessä olevassa kohdassa ole selvä vaurio. Reikä voidaan tehdä esimerkiksi kynnyksen alle.

Käytettävät mittausmenetelmät eivät saa rikkoa rakenteita siten, että myöhemmin vaurioituvat mittauksen seurauksena. Esimerkiksi vedeneristystä ja höyrynsulkua ei saa rikkoa, jos niitä ei voida luotettavasti korjata mittauksen jälkeen. Näiden luotettava korjaus edellyttää yleensä mm. rakenteen avaamista.

Kosteuksien ja ilmavirtojen tarkastelu ryömintätiloissa on erittäin tärkeää. Niiden perusteella voidaan usein välttyä kokonaan mikrobien tutkimiselta. Yksityisten kiinteistöissä näytteiden otto on yleensä priorisoitava, koska ylimääräisiin kuluihin ei ole varaa.

Rakenteiden sisällä tehdyillä mittauksilla voidaan arvioida rakenteen kosteus- ja virtausteknistä käyttäytymistä. Kosteustekniseltä kannalta voidaan tehdä johtopäätöksiä rakenteiden kosteusjakaumasta mittauskohdittain ja siitä, esiintyykö poikkeamia riskiarvion mukaisista kosteusjakaumista. Kosteusjakaumien perusteella voidaan arvioida, mistä suunnasta kosteus siirtyy rakenteisiin. Tukoksista voidaan myös arvioida, ovatko rakenteiden kosteuspitoisuudet homekasvun kannalta kriittisen korkeita.

Materiaalinäytteiden mikrobipitoisuuksien perusteella voidaan arvioida rakenteen homehtumisaste. Virtaustekniseltä kannalta voidaan tehdä johtopäätöksiä rakenteiden sisä- ja ulkopinnan ilmanpitävyydestä mittaustulosten muutosnopeuksien sekä lämpötila- ja kosteuspitoisuustasojen perusteella.

Mittaamalla rakennuksen painesuhteita ja paine-eroja tutkittavien rakenteiden yli voidaan arvioida rakenteiden virtausteknistä käyttäytymistä, päätellä kosteuskonvektion esiintymistä rakenteissa ja mahdollisten homeitiöiden sekä homeen aineenvaihduntatuotteiden kulkeutumista eri huonetiloihin. Lisäksi voidaan varmistaa, että koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä ei ylipaineista rakennusta.

Painesuhteen mittausmenetelmät perustuvat yleensä rakenteen yli vallitsevan ilmanpaine-eron mittaamiseen. Mittauskohtien lukumäärää rajoittaa se, mitä kautta

mittausmenetelmän edellyttämä paineletku voidaan viedä rakenteen toiselle puolelle.

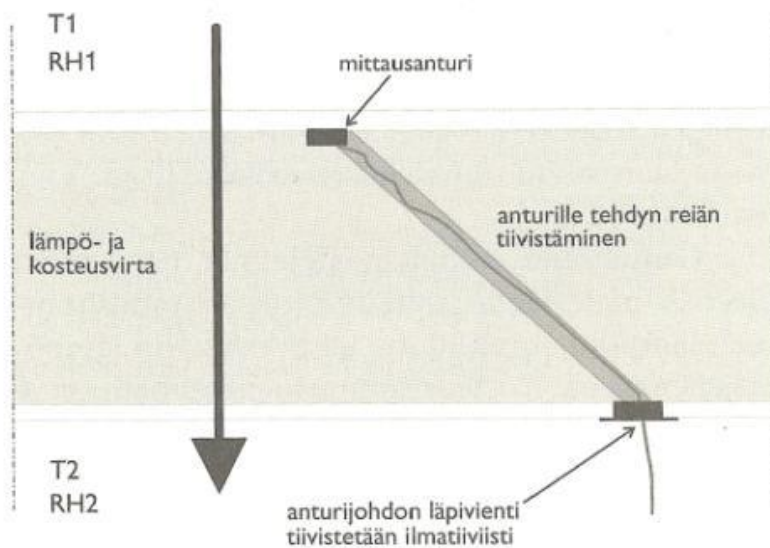
Rakennuksen painesuhdemittaukset ovat pitkäaikaisia, ja kestävät vähintään yhden vuorokauden. Mittaustuloksista tehtävät johtopäätökset ovat luotettavampia, jos ilmanvaihtoa käytetään mittausjakson aikana eri säätöasenoilla ja tuulennopeus mitataan.

Tuuletetuissa rakennusosissa tehtävillä ilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja virtausteknisillä mittauksilla voidaan arvioida rakennusosan kosteus- ja virtausteknistä käyttäytymistä. Tuuletetun rakennusosan ilmatilan ja ulkoilman kosteuspitoisuuksia vertaamalla voidaan päätellä, onko tilassa ylimääräistä, muualta kuin ulkoilmasta peräisin olevaa kosteutta. Tuuletettujen rakenteiden lämpöteknisen hitauden vaikutus tuuletustilan kosteuspitoisuuksiin on osattava erottaa. Virtaustekniikan kannalta tuuletetun tilan riittävää tuulettumista voidaan arvioida mitatun kosteustason ja kosteuspitoisuuden muutosnopeuksien perusteella.

Tuuletetuissa rakennusosissa olosuhdemittaukset tehdään mahdollisimman kattavasti koko rakennusosassa, koska niille on tyypillistä suuret kosteuspitoisuuserot eri osien välillä. Mittauksia tehdään vähintään jokaisessa rakennusfysikaalisesti eri lailla toimivassa ilmatilan osassa, esimerkiksi ryömintätilan katvekohdat, perusmuurin lähialueet ja keskiosat. Tuuletetuissa rakennusosissa, kuten ryömintätiloissa ja yläpohjan tuuletustiloissa voidaan tehdä mittauksia, jos tilaan pääsee ja siellä mahtuu liikkumaan.

Tuuletetun rakennusosan rakennusfysikaalinen toiminta riippuu voimakkaasti tuulen suunnasta ja nopeudesta, rakennusta ympäröivistä virtausesteistä ja mikroilmastosta, joiden vaikutus mittaustuloksiin otetaan huomioon tuloksia analysoitaessa. Esimerkiksi yksistään mikroilmaston vaikutuksesta taloryhmän ryömintätilojen ilmanvaihtuvuuksien ero voi olla 10-kertainen samalla tuulen suunnalla ja nopeudella. Kevyestä, esim. puurunkoisesta rakennuslevyillä verhotusta, rakenteesta tehtävä kosteusmittaus poikkeaa merkittävästi massiivisen rakenteen kosteusmittauksesta. Tyypillisesti rakenteeseen tehtävän reiän poraus ei itsessään aiheuta kosteuspitoi-

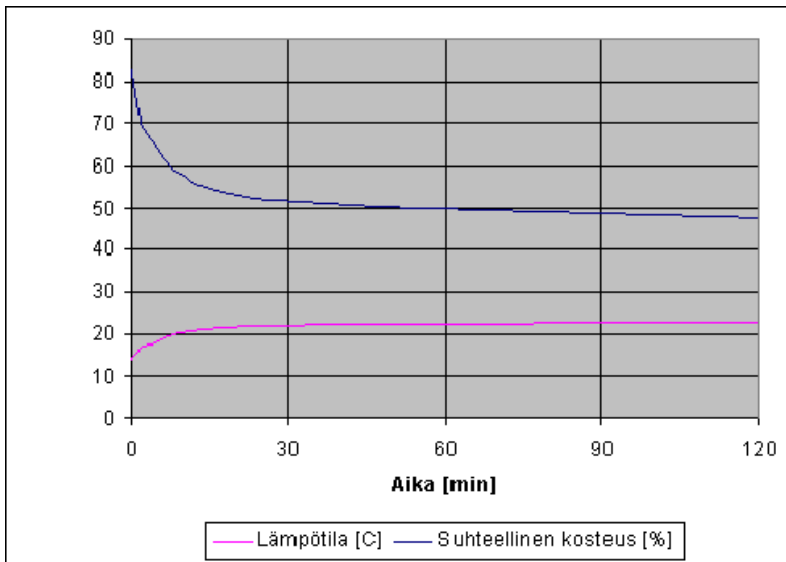
suuden muuttumista, vaan reiän porauksen seurauksena rakenteen tiiveys muuttuu, ja ilmavirtaukset voivat merkittävästi vääristää mittaustulosta. Lisäksi mittausanturin varsi voi vaikuttaa mittaustulokseen johtamalla lämpöenergiaa mittauskohtaan tai mittauskohdasta pois. Esimerkiksi talvella ei voi luotettavasti mitata ulkoapäin ulkoseinärakenteen sisäosia, tai sisältäpäin ulkoseinärakenteen ulko-osia. Mittausanturin sijoittaminen kuvan 7 mukaisesti mahdollisimman kohtisuoraan lämpövirran suuntaan nähdessä vähentää anturin varren aiheuttamaa mittausrvirhettä. Kuvassa 7 on esitetty mittausanturin asentaminen kevyeen rakenteeseen.



Kuva 7. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittausanturin sijoittaminen kevyeen rakenteeseen

(http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/kosteusmittaukset/)

Mittausanturin tasaantuminen lämmöneristemateriaalissa vie myös aikaa koska lämmöneristemateriaalissa lämmön siirtyminen on hidasta, kuten kuva 8. osoittaa.



Kuva 8. Tavanomaisen ohuen metallivartisen mittausanturin tasaantumisaika 100 mm syvyydellä 22.8 °C lämpötilassa olevassa polystyreenilämmöneristeessä. Anturin lämpötila asennettaessa oli 14 °C.

(http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/kosteusmittaukset/).

4.9 VIILTOMITTAUS

Päällystämisen onnistuminen voidaan, ja on usein syytä, todentaa 0,2- 2 vuotta päällystämisen jälkeen tehtävillä päällysteen alapuolisen suhteellisen kosteuspitoisuuden mittauksilla. Joskus hyvinkin pienellä mittausotannalla voidaan osoittaa päällysteiden moitteeton toiminta. Käyttöiän alkuvaiheessa tehtävillä varmistusmittauksilla voidaan joskus välttää hyvinkin pahat pitkän ajan kuluessa syntyvät kosteusvauriot. Yksikin mittaus oikeaan aikaan tehtynä voi antaa täyden varmuuden esimerkiksi päällystämisen onnistumisesta, kunhan mittaus tehdään oikein, oikeasta paikasta ja rakenteen ikä osataan huomioida oikein.

Suhteellisen kosteuden mittaus lattiapinnoitteen alta voidaan tehdä ns. viiltomittauksella seuraavasti:

1. Lattiapinnoitteeseen tehdään viilto halutulle kohdalle.
2. Lattiapinnoite irrotetaan mittapään vaatimalta matkalta alustastaan.

3. Lattiapinnoitetta kohotetaan asentamalla viiltoon korkeudeltaan 5 -15 mm korotuspalat (esimerkiksi kumitulpat tai metallitangon palat).
4. Viiltoon asennetaan esim. Vaisala Oy:n valmistama halkaisijaltaan 4 mm HMP42 tai 12 mm HMP44 kosteus- ja lämpötilamittapää.
5. Tehty viilto sekä viillon ja mittapään rajapinta tiivistetään kitillä siten, että tehty viilto on täysin vesihöyryntiivis.
6. Mittapään annetaan tasaantua päällysteen alla vallitseviin olosuhteisiin vähintään 15 minuuttia.
7. RH ja lämpötila (T) luetaan näyttölaitteella ja arvot kirjataan ylös mittapäännumeroineen. (Lumme P, Merikallio T, Betonin kosteuden hallinta. Betonitieto 1997).

4.10 PUUN KOSTEUDEN MITTAAMINEN

Puun kosteuden mittaaminen sähköisellä menetelmällä on hyvin tavallista sen nopeudesta, helpokäyttöisyydestä ja halpuudesta johtuen ja koska mittaus voidaan tehdä kappaletta rikkomatta. Periaatteessa on kaksi laitetyyppiä, toinen mittaa puun sähköistä vastusta ja toinen mittaa kapasiteettiä.

4.10.1 Puun vastusmittari

Alle puun kyllästämispisteen puun sähköinen vastus vaihtelee merkittävästi kosteuden muutoksesta. Puun vastus kasvaa logaritmisesti puun kosteuden laskiessa. Tämä antaa mahdollisuuden määrittää puun kosteus sähköisellä vastuskosteusmittarilla. Puun sähkövastus ei riipu pelkästään kosteudesta; myös puulajit ja sahatavaran lämpötila on otettava huomioon. Puun vastus kasvaa kun puun lämpötila laskee. Sen lisäksi on otettava huomioon eri puulajien eroavaisuuksia. Kosteusalueella 8-25 % ja lämpötilan ollessa 20 °C: en paikkeilla, tulee hyvien kosteusmittareiden pystyä osoittamaan todellista kosteutta likimain 1 % tarkkuudella, niin että mittaus on tarkempi pienillä arvoilla ja vähemmän tarkkaa alueen määrässä päässä.

4.10.2 Kapasiteettimittari

Puun kapasiteetti vaihtelee suoraan kosteuden mukaan koko alueella tuoreesta kuivaan tilaan. Sen takia voidaan puun kosteus määrittää mittaamalla kapasiteettia. Puun lämpötilan vaikutus on pieni. Normaalitytapauksessa voidaan lämpötila jättää huomioonottamatta. Kapasiteettimenetelmä on periaatteessa hyvä tapa määrittää vesimäärä puusta. Ei ole kuitenkaan mahdollista muuttaa tätä vesimäärää kosteusprosentiksi tietämättä puun ominaispainoa. Yleensä käytetään puun keskimääräistä ominaispainoa määritettäessä puun kosteutta kapasiteettimenetelmällä eikä puun yksittäistä ominaisarvoa. Jokaisessa mittauksessa saadaan kalibroidulle kapasiteettimittarille tietty virhe, joka on verrannollinen todelliseen virheeseen oletetusta puun ominaispainosta. (Käsikosteusmittareiden vertailu ja luotettavuus Holger Forssen.1997).

4.11 MITTAUSTULOSTEN TULKINTA JA RAPORTOINTI

4.11.1 Tulosten tulkinta

Betonirakenteiden kosteusmittaustulosten perusteella tehdään taloudellisesti hyvin merkittäviä päätöksiä. Tulosten perusteella päätetään mm. päällystysajankohdasta, kuivatustarpeesta sekä purku- korjaustoimenpiteiden laajuudesta. Jotta päätökset olisivat oikeita ja taloudellisesti järkeviä, mittaajalta edellytetään paitsi mittauslaitteiden ja – menetelmän hyvää tuntemusta myös betonin materiaaliominaisuuksien ja mitattavan rakenteen rakennusfysikaalisen toiminnan tuntemusta.

Mittaustuloksia tulkittaessa tulee huomioida mm.

- mikä on rakenteen normaali kosteus rakenneratkaisu ja rakenteen ikä huomioiden
- esiintyykö rakenteissa poikkeuksellisen korkeita kosteuspitoisuuksia
- miltä syvyydeltä kosteus on mitattu
- olosuhteiden, erityisesti lämpötilan, vaikutus mittaukseen

Betonirakenteen sallittu kosteus riippuu merkittävästi siitä, mikä rakenne on kyseessä. Sisätiloihin rajoittuva betonirakenne kestää hyvinkin korkeaa kosteutta, sillä be-

tonin lujuusominaisuudet eivät kosteuden vaikutuksesta heikkene toisin kuin esimerkiksi puun. Oleellisinta on, ettei betonissa oleva kosteus pääse kosketuksiin betonissa kiinni olevaan kosteusherkkään materiaaliin esim. puuhun, muovimattoon, liimaan tms.

Betonirakenteen normaali kosteus voi hyvinkin vaihdella 30- 97 % RH: n välillä. Esimerkiksi muutaman vuoden ikäisen rakennuksen betonivälipohjan poikkileikkauksen keskiosassa voidaan pitää sallittuna jopa yli 90 % RH, kunhan rakenteen pintaosissa, välittömästi päällysteen alla, kosteus on huomattavasti alhaisempi. Maanvaraisessa laatasta, erityisesti laatan alaosassa, kosteus voi olla koko rakennuksen käyttöiän olla yli 90 %, eikä se välttämättä tarkoita, että olisi kosteusvaurioitunut. Tuloksia tulkittaessa tulee ottaa huomioon mm, millä syvyydellä mikäkin kosteustila vallitsee, miten nopeasti kosteus siirtyy betonissa ja mikä on päällysteen vesihöyrynläpäisevyys.

Betonirakenteen suhteellista kosteutta mitattaessa tulee aina mitata myös rakenteen ja ympäristön lämpötila, jotta lämpötilan vaikutusta mittaustulokseen voidaan arvioida. Mittauspisteen lämpötilan ja RH: n perusteella voidaan myös arvioida, mihin suuntaan kosteus on liikkumassa määrittelemällä mittauspisteen vesihöyrypitoisuus (g/m^3) tai vesihöyrynosapaine. Lämpötilan ja RH: n perusteella ei kuitenkaan voida määrittää betonin todellista vesimäärää, sillä menetelmä soveltuu vain ilmalle. Menetelmä ottaa huomioon vain tietyllä hetkellä betonin huokosten ilmatilassa vallitsevan vesihöyrypitoisuuden eli se ei ota huomioon betonin huokosen pintaan fysikaalisesti kiinnittynyttä vettä. Ilmakuutiosta vesipitoisuus on hyvin pieni suhteessa betonikuutiioon. Esimerkiksi kun lämpötila on $+20\text{ }^\circ\text{C}$ ja RH 80 % ilmakuutiosta on vettä noin 14 g ja vastaavasti betonikuutiosta noin 100 kg. (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.11.2 Raportointi

Mittaustulokset tulee esittää siten, että raportin lukija ymmärtää, millä menetelmällä, millaisesta rakenteesta, mistä materiaalista, miltä syvyydeltä ja milloin mittaus on suoritettu. Ulkoilman ja sisäilman olosuhdemittaustulokset on liitettävä mukaan, koska ne muodostavat reunaehdot rakenteiden toiminnan analysoimiselle. Mittaus on aina vain apuväline, jonka avulla saatuja tuloksia analysoimalla pyritään tekemään lopulliset johtopäätökset.

Mittausraportin tulee sisältää:

- Mittauskohdetiedot (osoite, yhteyshenkilö yhteystietoineen)
 - Mittaajan yhteystiedot
 - Kohteen kuvaus (huoneisto/ tila, rakenneratkaisu, betonilaatu, valupäivä jne.)
 - Piiros mittauskohdasta (mittauspisteiden sijainti pohjakuviin)
 - Mittausajankohta
 - Käytetyt mittalaitteet (mittalaitetyyppi, mittapään numero, kalibrointiajankohta).
 - Mittausmenetelmä kuvaus (porauspäivä, mittapäiden asennushetki, tasaantumisasjat, lukemien ottohetki)
 - Sisä- ja ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
 - Mittaussyvytydet
 - Mittaustulokset
 - Tulosten tulkinta
 - Johtopäätökset
 - Valokuvia (mittauspisteestä, mahdollisesta vauriosta, vaurion syystä, jne.).
- (Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

4.11.3 Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä

Betonin suhteellisen kosteuden (RH) mittaus tehdään yleensä betoniin poratusta reiästä, jossa kosteus tietyn ajan kuluessa porauksesta asettuu tasapainoon ympäröivän materiaalin kanssa.

Menetelmäohje:

- Valitse mittauspiste ottaen huomioon rakenneratkaisu, betonilaatu, päällystämateriaali, olosuhteet.
- Tarkista betoninlämpötila. Porareikämittauksessa betonin lämpötila tulisi olla lähellä rakenteen käyttölämpötilaa (yleensä noin + 20 °C). Jos lämpötila poikkeaa edellä mainitusta, tee mittaus näytepalamenetelmällä.
- Varmista, että olosuhteet mittauspisteen ympärillä pysyy mittauksen ajan vakiona.
- Varmista, ettei mittauspisteen kohdalla ole sähkö- tai vesiputkia. (esim. lattialämmityskaapeleita, lämpökamera on tässä hyvä apuväline).
- Selvitä rakenneratkaisu (paksuus, kerroksellisuus) ja määritä mittaussyvyudet.
- Pora reiät kuivamenetelmällä. Vähintään kaksi rinnakkaista reikää arvostelussyvyydelle, lisäksi pintaan ja syvemmälle.
- Puhdista reiät huolellisesti porauspölystä.
- Tiivistä reiät sekä sivuilta (putkella) että päältä (korkki, kitti, ei pelkkä ilmastointiteippi).
- Suojaa mittauspiste lämpötilavaihteluilta ja muilta häiriöiltä.
- Anna reikien tasaantua vähintään 3 vuorokautta.
- Käytä kalibroituja mittapäitä.
- Anna mittapäiden tasaantua mittauspistettä ympäröiviin olosuhteisiin ennen reikään asennusta.
- Asenna mittapäät reikiin nopeasti ja tiivistä mittapään ja putken väli huolellisesti.
- Anna mittapään tasaantua mittausräissä riittävän pitkä aika. Tasaantumisaika riippuu mm. mittapäättyypistä ja betonilaadusta. Esim. Vaisala HMP44 vaatii noin tunnin tasaantumisaajan ja Vaisala HMP36, HMP46 noin 4 tunnin tasaantumisaajan. Betonimittauksessa 15 minuutin tasaantumisaika ei ole riittävä millään mittapäällä.
- Kiinnitä mittapää näyttölaitteeseen, lue RH ja T sekä kirjaa arvot, mittapäännumero, mittauspisteen sijainti ja mittaussyvyys.
- Tee mittauksesta kunnollinen raportti. (Tarja Merikallio: Betoninkosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003).

Lähdeluettelo

1. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus 1997. Helsinki Ympäristöministeriö.
2. Käsikosteusmittareiden vertailu ja luotettavuus Holger Forsen.1997.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/jurelinkit/forsen.pdf>
3. RT 14- 10984 Ohjetiedosto. Helmikuu2010: Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Rakennustietosäätiö. Rakennustieto Oy.
4. Sisäilmayhdistys: Nettisivut 4.3.2012
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/kosteusmittaukset/#_Tehninen_tie
5. Tarja Merikallio: Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi 2003 (ISBN 952-5075-45-1).

5. Melu

5.1 MITÄ MELU ON?

Melu (arkikielessä meteli) on ääntä, joka koetaan epämiellyttäväksi tai häiritseväksi tai joka on muulla tavoin terveydelle vahingollista tai hyvinvoinnille haitallista. Melun voimakkuus ilmoitetaan desibeleinä. Suomen lainsäädännössä melu määritellään ääneksi, joka on terveydelle haitallista tai joka merkityksellisesti vähentää ympäristön viihtyisyyttä taikka merkityksellisesti haittaa työntekoa, Toisen määritelmän mukaan melu on ääntä, jonka ihminen kokee epämiellyttäväksi tai häiritseväksi. Melua voidaan pitää myös ”ei toivottuna” äänenä. Eri määritelmät katsovat melua eri näkökulmasta. Lainsäädännön määritelmä korostaa yhteiskunnalle aiheutuvaa haittaa, kun taas jälkimmäisessä korostuu melun kokemisen subjektiivisuus. Sama ääni voi olla toisen korvissa nautittavaa kuunneltavaa, kun taas toinen aistii sen meluna. Altistumisympäristön ja – tilanteen mukaan melu voidaan jaotella asumismeluksi, työpaikkameluksi, vapaa-ajan meluksi ja ympäristömeluksi. (Meluntorjuntalaki 1 luku 2 §§).

5.2 MELUKÄSITTEITÄ

A-äänitaso (LA tai Lp A) on A-suodin käyttäen mitattu taajuuspainotettu äänenpainetaso. A-äänitasosta käytetään usein myös merkintää dB (A).

Impulssimelu on nopeita äkillisiä iskuääniä sisältävää melua, esim. takomisesta, ampumisesta tai sähköpurkauksista syntyviä painehuippuja. Puhutaan myös iskumelusta.

Infraääni on alle 20 Hz; n taajuudella esiintyvää aaltoliikettä. Ihmiskorva ei kykene havaitsemaan taajuudeltaan näin matalia ääniä.

Ultraääni on yli 20 000 Hz: n taajuista värähtelyä, jota ihmiskorva ei kykene kuulemaan. Ultraääni vaimenee nopeasti ilmassa, mutta etenee väliaineessa.

Äänenpaine on suure, jolla mitataan äänen voimakkuutta. Äänenpaineen yksikkö on pascal (Pa). Ilmanpaine on noin 100 000 Pa ja sen nopea muutos 1 Pa vastaa meluna 94 dB.

Äänenpainetaso (L_p) on logaritminen äänenpaineen yksikkö, jota mitataan suoraan melumittarilla. Äänenpainetason yksikkö on desibeli (dB). Äänenpainetaso on äänenpaineen ja vertailupaineen suhteen neliön kymmenkertainen logaritmi kymmenellä kerrottuna ($L_p = 10 \cdot \log(p/p_0)$ (dB), missä $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, on referenssipaineysyksikkö)

Ääni on väliaineessa etenevää aaltoliikettä. Väliaine voi olla missä tahansa olomuodossa, kuten nesteinä, kaasuna, kiinteänä tai plasmana. Ääni ei etene tyhjiössä (avaruudessa). Tieteellistä äänen tutkimusta kutsutaan akustiikaksi.

Ääniteho (LW) (dB) on äänilähteen lähettämä äänienergia. Ääniteho kuvaa melupäästön suuruutta ja on riippumaton ympäristöstä. Äänenpainetaso saadaan äänitehosta huomioimalla etäisyys ja ympäristötekijät.

Ääniteho kuvaa laitteen tai koneen kokonaismelupäästöä. Meluteho ilmoitetaan usein wateissa (tai desibeleissä).

Äänitehon avulla yksilöidään tarkasti koneen melupäästö, toisin kuin äänenpainetasomittauksilla. Äänitehon avulla voidaan laskea laitteen synnyttämä äänenpainetaso jossakin pisteessä, kun huomioidaan mittausetäisyys, ympäristön ympäristön kaikuisuus ja taustamelut. Äänitehon käyttö on hyvin perusteltua ilmoitettaessa koneen melupäästöjä CE-merkintöihin (VNA 400/2008) koneasetus ja koneiden meluisuutta vertailtaessa. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.3 MELUNTORJUNTA

Melutorjunnasta säädetään terveydensuojelulaissa, ympäristönsuojelulaissa, ja meluntorjunnasta työpaikoilla määrätään työturvallisuuslaissa. (VNA 85/2006) 12 §:ssa. Meluntorjunnan yleinen ohjaaminen kuuluu ympäristöministeriölle ja kunnan tehtä-

vänä on valvoa, ohjata ja edistää meluntorjuntaa alueellaan. Meluntorjunnan asiantuntuja viranomaisina ja – laitoksina toimivat Sosiaali- ja terveysministeriö, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Työterveyslaitos ja Teknologian tutkimuskeskus VTT.

5.3.1 Työmelun raja- ja toiminta-arvot

Meludirektiivin (2003/10/EY) määräykset on julkaistu Valtioneuvoston asetuksessa 85/2006 (Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta). Asetuksessa määrätään työntantajalle selvillä olovelvoite. Työnantajan on selvitettävä työntekijöiden mahdollinen melulle altistuminen sekä tunnistettava melua aiheuttavat tekijät. Työnantajan on arvioitava ja tarvittaessa mitattava työntekijän melulle altistuminen. Mittaustuloksissa on otettava huomioon mittauksen epätarkkuudet. Lainsäädännössä on säädetty melulle kolmiportainen toimenpideluokitus. Valtioneuvoston asetuksen 85/2006 mukaan melun raja-arvot ovat 8 tunnin altistuksena sekä impulssimelun huippuarvoina seuraavat:

Alempi toiminta-arvo 80 dB (A) 135 dB (C) Huom. (kuulosuojainten päällä).

Ylempi toiminta-arvo 85 dB (A) 137 dB (C) Huom. (kuulosuojainten päällä).

Altistuksen raja-arvoa määritettäessä otetaan huomioon myös kuulosuojainten vaikutus eli käytännössä arvioidaan kuulosuojaimen sisällä, korvakäytävässä vallitsevaa äänitasoa (Raja-arvot 87dB(A)/140dB(C)). Toiminta-arvot määritetään työntekijän kuulonsuojaimen ulkopuolelta.

Asetuksen mukaan kuulovaurion vaara alkaa A-painotetun melutason ylittäessä 80 dB. Jos työntekijän melu-altistus ylittää alemmat toiminta-arvot, työntekijällä on oikeus saada työnantajalta henkilökohtaiset kuulonsuojaimet. Alempien toiminta-arvojen ylittyessä työntekijällä on myös oltava mahdollisuus käydä ennaltaehkäisevässä audiometrisessä kuulotestissä, mikäli melutilanteen mittaukset ja arviointi osoittavat terveydelle aiheutuvaa riskiä.

Melu-altistuksen ylittäessä ylemmät toiminta-arvot (tai ollessa niiden tasalla), työntekijälle tulee velvollisuus kuulonsuojaimien käyttöön. Työntekijällä on myös oikeus lääkärin (tai muun riittävän pätevän henkilön valvonnassa) suorittamaan säännölli-

sen kuulontarkastukseen. Ylemmän toiminta-arvon ylittyessä työnantajan tulee laatia ja toteuttaa meluntorjuntaohjelma, jolla pyritään alentamaan melu alle 85 dB (A) -tasoon. Meluntorjuntaohjelma on yksinkertainen toimintasuunnitelma, jossa todetaan vallitseva melutaso ja toiminta-arvon ylityksen syyt. Meluntorjuntaohjelmassa kerrotaan mitä aiotaan tehdä, kuka tekee, milloin asiaan palataan ja kenelle tulokset raportoidaan. Meluntorjuntaohjelma on jatkuvaa toimintaa ja se loppuu vasta, kun altistumiset on saatu alle ylemmän toiminta-arvon. Jos työntekijän altistuminen melulle ylittää raja-arvon, on työntekijän ryhdyttävä viipymättä toimenpiteisiin altistuksen vähentämiseksi alle raja-arvon. Työnantajan on selvitettävä raja-arvon ylittymisen *syyt* ja tarpeelliset muutokset suojaus- ja ennaltaehkäisytoimenpiteissä, jotta ylitys ei toistu. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.3.2 Meluntorjuntaohjelma

Jos työntekijän melualtistus ylittää ylemmän toiminta-arvon (85 dB (A)), on työnantajan laadittava ja toimeenpantava riskinarviointiin perustuva meluntorjuntaohjelma. Meluntorjuntaohjelman tarkoituksena on vähentää työntekijän melualtistusta. Meluntorjuntaohjelma kattaa kaikki ne työpisteet, joissa ylempi toiminta-arvo ylittyy. Meluntorjuntaohjelmia varten tulee selvittää altistusrajan ylittämisen syyt. On etsittävä keinot melualtistuksen vähentämiseksi tai huippuarvon alentamiseksi. On etsittävä kullekin meluongelmalle ratkaisuehdotus ja arvioida sen vaikutusta melualtistukseen tai huippuarvoon. Meluntorjuntaohjelmassa on esitettävä torjuntatoimien toteuttamisen järjestys, aikataulu ja päätettävä ohjelman toteuttamisvastuut, seuranta ja uusiminen. Ongelmien määrittelyssä ja ratkaisuvaihtoehtojen etsinnässä työnantajan kannattaa useimmiten käyttää asiantuntija-apua. Meluntorjuntaohjelma sekä siihen liittyvät mittaukset ja arviointi on tehtävä yhteistoiminnassa henkilöstön edustajan kanssa. Dokumentoidusta ohjelmasta tulee eri toimijoiden saada tieto. Työsuojeluvalltuutetulla ja työsuojelutarkastajilla on oikeus saada ohjelma nähtäväkseen ja tarvittaessa saada siitä jäljennös. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.4 MELUNTORJUNNAN PERUSTANA LAINSÄÄDÄNTÖ

Meluntorjunnan yleinen päämäärä on terveellinen ja viihtyisä elinympäristö, jossa ei ole meluhaittoja. Eri alueille ja ajankohdille on annettu ohjeet, ja esimerkiksi asuntojen piholla, terasseilla tai parvekkeilla melutaso ei saisi päivällä ylittää 55 desibelin keskiäänitasa eikä asuinhuoneistojen sisällä 35 desibelin keskiäänitasa, mutta todellisuudessa ulkoilman raja-arvot ylittyvät suurella osalla asuinalueista. Melun ja sille altistuvien ihmisten määrään pyritään vaikuttamaan kaavoituksella, jossa etenkin liikenteen ja asumisen sijoittelulla voidaan tehokkaasti vaikuttaa melun määrään. Uudisrakennusten meluntorjuntavaatimukset ovat viime vuosina tiukentuneet huomattavasti.

Uusien rakennusten äänieristysvaatimuksista määrätään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 (Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa: määräykset ja ohjeet) vuodelta 1998. Lisäksi asuntojen ym. Tilojen melurajoista määrätään sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen Asumisterveysohjeessa vuodelta 2003.

Mikäli melulle altistumista ei voida välttää, kuulo on suojattava kuulonsuojaimilla. Yleisimpiä kuulonsuojaimia ovat korvakäytävään työnnettävät tulpat sekä kuppisuojaimet. (Valtioneuvoston päätös melutason ohjeista 993/1992)

5.4.1 Melun syntymisen estäminen

Meluntorjunnan tehokkain keino on estää melun syntyminen. Tähän päästään esimerkiksi muuttamalla prosessia sellaiseksi, että meluinen työvaihe korvataan toisella tai se jätetään kokonaan pois. Esimerkkejä onnistuneista meluntorjuntaratkaisuksista on olemassa useita. Melu saadaan lähes kokonaan poistettua, kun hakkaamalla tehty metallin muodonmuutos tehdäänkin hydraulisesti puristamalla. Valitsemalla vähämeluisempi kone työhön on saatu 3 – 10 dB (A) vaimennuksia. Melutaso alenee jopa 10 – 15 dB (A), kun käytetään paineilmapuhallukseen muotoiltuja suuttimia suoran purkausputken sijaan. Paineilmalaitteiden sintratut purkaussuuttimet ovat myös tehokkaita purkaussuuttimia, siksi niitä ei pidä poistaa.

5.4.2 Meluntorjunta

Meluntorjunta on tarpeettoman äänen haittojen vähentämistä tai poistamista. Valtioneuvoston asetus 85/2006 velvoittaa työnantajan laatimaan ja toimeenpanemaan meluntorjuntaohjelman, jos meluallistustaso ylittää ylemmän toiminta-arvon. Meluntorjuntakeinojen tärkeysjärjestys on melun syntymisen estäminen, melun etenemisen estäminen, melun vaimentaminen akustoinnilla, henkilökohtaiset kuulonsuojaimet ja melussa oloajan rajoittaminen. Edellä ensin mainitut keinot ovat yleensä tehokkaimpia, ts. saavutettava hyöty on kustannuksiin suhteutettuna suurempi kuin esim. akustoinnilla saavutettava hyöty. Meluntorjuntakeinojen järjestys ja keinot on yksilöity nykyisessä meluasetuksen (VNA 85/2006) 12§:ssä. Meluntorjunnassa kuulonsuojaimet ovat välttämätön välitön, mutta ei riittävä torjuntakeino vähentää meluallistusta. Työntekijöille annettavat ja heidän käyttämänsä kuulonsuojaimet, eivät poista työnantajan velvollisuutta meluntorjuntaan. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.4.3 Meluntorjuntakeinot

Työnantajan on poistettava melulle altistumisesta työntekijän terveydelle tai turvallisuudelle aiheutuvat vaarat ja haitat tai ellei tämä ole mahdollista, vähennettävä ne mahdollisimman alhaiselle tasolle ottaen huomioon tekninen kehitys ja vaaran tai haitan ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi käytettävissä olevat toimenpiteet.

Työnantajan on otettava huomioon useita asioita meluallistuksen ennaltaehkäisyssä tai vähentämisessä. On otettava käyttöön vähemmän melua aiheuttavat menetelmät. Tärkeätä on myös käyttää sellaisia työvälineitä, jotka aiheuttavat työn luonne huomioon ottaen mahdollisimman vähän melua. Työpaikkojen ja työpisteiden suunnittelu ja huolto- ja kunnossapito-ohjelmat on tehtävä mahdollisimman vähän melua tuottavaksi. Työntekijöiden opastaminen vähämeluiseen työskentelyyn on myös erittäin tärkeätä. Melua voidaan myös vähentää teknisesti esim. vaimennusta, eristystä, melusuoja, kapselointia tai absorboivaa kattamista käyttäen. Tarvittaessa voidaan

käyttää meluallistuksen keston ja voimakkuuden rajoittamista. Työ täytyy suunnitella siten, että riittävät lepoajat huomioon ottaen meluallistuminen mahdollisuuksien mukaan aika ajoin vähenee tai keskeytyy. Mikäli työntekijällä on työn luonteesta johtuen käytettävissä työnantajan vastuulla oleva lepotila, työnantajan on huolehdittava melun vähentämisestä tässä tilassa sen käyttötarkoituksen ja olosuhteiden edellyttämälle tasolle. (VNA 85/2006, 12 §).

5.4.4 Melun etenemisen estäminen

Koneiden synnyttämän melun etenemistä voidaan rajoittaa kotelolla, seinillä, seinämällä tai eristämällä työntekijät valvomoihin. Kotelon ääneneristävyyteen vaikuttavat monet tekijät, kuten kotelon seinämateriaali, sen paino ja rakenne, äänilähteen muoto ja sijainti kotelossa.

Matalilla taajuuksilla seinän äänieristykseen vaikuttavat seinän resonanssit. Melun taajuuden kasvaessa alkaa seinän eristävyys kasvaa massan vaikutuksesta. Korkeammilla taajuuksilla seinän taivutusaallon nopeuden ja ääniaallon nopeuden ollessa samoja seinän ääneneristävyys heikkenee. Kaksinkertainen seinä lisää kotelon eristävyyttä enemmän kuin seinän massan kasvu edellyttäisi. Poikkeuksena on matalilla taajuuksilla esiintyvä seinien välinen resonanssi. Vaimennusta pienentää myös seinien kytkeminen.

Kotelon ääneneristävyyteen vaikuttaa kotelon aukkojen suuruus. Mikäli aukkojen pinta-ala on 10 % koko kotelon seinien pinta-alasta, kotelon meluvaimennus on 10 dB, vaikka seinien vaimennus olisi 30 dB. Yhden prosentin aukkopinta-alalla voidaan saavuttaa 20 dB vaimennus. Tiivisteiden puuttuminen, näkyy ensin vähäisempänä korkeiden taajuuksien vaimenemisena kuin mitä teoreettinen seinän eristävyys edellyttäisi.

Monilla teollisuuden aloilla prosessin ohjaus ja seuranta tapahtuu valvomoista. Valvomoiden maksimaaliseksi taustameluksi suositellaan 55 dB (A). Valvomoiden taustameluun vaikuttaa ulkopuolisen melun voimakkuus ja spektri, sekä valvomoiden seinien, ikkunoiden, ovien ja eristysten taso. Suoritetuissa mittauksissa puolessa teolli-

suuden valvomoista on saavutettu taustamelun tavoitetaso. Vaikka tavoitetasoa ei saavutettaisikaan, valvomot auttavat pienentämään melualtistusta.

Meluseinäkkeillä voidaan rajoittaa melun etenemistä yksittäisistä melulähteistä ja suojata toisia työpisteitä. Seinäkkeen taakse jää alue, jossa melun voimakkuus voi olla 10 dB (A) alhaisempi kuin ilman seinäkettä. Meluseinäke koostuu melun suoran kulun katkaisevasta levystä, joka on sisäpuolelta verhoiltu akustiikkalevyillä. Seinämän korkeuden tulee olla huomattavasti korkeampi kuin melunlähde, mieluummin yli puolet tilan korkeudesta. Läheisten seinien ja yläpuolisen katon verhoilu akustointilevyillä tehostaa seinämän äänenvaimennusta. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.4.5 Äänen etenemisen estäminen

Kaiun vähentämiseksi käytetään seinä- ja kattopinnoilla huokoisia aineita tai levy- ja muita resonaattoreita. Yleisimmin käytetty materiaali on mineraalivilla, joka liimataan tai asennetaan erityisten asennuskiskojen varaan. Teollisuustiloissa pyritään vähentämään äänen heijastumista mahdollisimman paljon. Absorptioalan kasvaessa kaksinkertaiseksi alenee yleismelu hallissa noin 3 dB. Erittäin kovaseinäisissä halleissa absorptioala voidaan moninkertaistaa.

Akustointilevyjä käytetään teollisuuden lisäksi myös toimistoissa ja muissa rakennuksissa kaikumisen vähentämiseksi. Luentosaleissa ja luokkahuoneissa akustointimateriaalin määrää optimoidaan siten, että puheen erotettavuus olisi paras mahdollinen. Sen sijaan (avo-) toimistoissa pyritään tilanteeseen, jossa puheen erotettavuus on mahdollisimman alhainen viereiseen työpisteisiin nähden. Se edellyttää huolellista työpisteiden sijoittelua ja huoneabsorption, toimistoseinäkkeiden ja taustamelun mitoitusta. SFS 5907 sisältää suosituksia ja ohjeita erilaisissa rakennustyypeissä tavoiteltavasta ääneneristyksestä, äänitasoista ja huoneakustiikasta. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.4.6 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika on merkittävä suure arvioitaessa hallien melua ja meluntorjuntaa. Jälkikaiunta-ajaksi määritellään se aika jona ääni-impulssin äänenpainetaso alenee 60 dB. Jälkikaiunta-aikaan vaikuttaa oleellisesti tilan koko ja sen pintojen keskimääräinen absorptiokyky. Kattoon tai seiniin asennettavalla akustointilevyillä (useimmiten päällystettyä 50 mm paksua vuorivillalevyä) saadaan keskimääräinen absorptiokerroin kasvamaan ja jälkikaiunta-aika alenemaan.

Jälkikaiunta-ajan puolittuminen alentaa hallin melutasoa 3 dB. Samalla halli muuttuu akustisesti miellyttävämmäksi ja kommunikointi hallissa paranee. Hallien akustoinnilla saavutetaan n. 2 – 5 dB meluvaimennus. Jälkikaiunta-aika mitataan esim. ampumalla starttipistoolilla laukauksia hallissa ja mittaamalla (tai rekisteröimällä ja jälkianalyysillä) meluanalyssaattorilla äänenpaineen alenema taajuuskaistoittain. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.4.7 Liikennemelu

Henkilöauton vauhdin hiljentäminen 60:stä 50:een vähentää melua 2 dB. Äänen kymmenkertaistuminen vastaa 10 dB: n muutosta ja satakertaistuminen 20 dB: n muutosta. Liikenne on yleisin meluaja. Liikenteen melu on 70 - 90 dB. Melu aiheuttaa 3 % sepelvaltimokuolemista Euroopassa. Maanpinta ja kasvillisuus vaikuttavat äänen etenemiseen. Melu voimistuu, jos este heijastaa ääntä.

Meluongelmien syntyä on tärkeää ehkäistä ennalta. Ongelmien korjaaminen jälkepäin on teknisesti vaikeaa ja kallista. Valtioneuvoston päätöksellä Suomi vähentää melua 20 % vuosina 2003 – 2020. Melupäästöjen pienentäminen on yleensä paras ratkaisu. Autoilua on rajoitettava keskustoissa. Ajoneuvojen melupäästöille asetetaan desibelirajat EU: n direktiivissä.

Liikennemeluun vaikuttavat myös tienkäyttäjien asenteet. Kun Liikkuva poliisi ja Liikenteen turvallisuusvirasto tarkistivat Vantaalla elokuussa 2011 moottoripyörien ja mopojen melupäästöjä, ilmeni, että yli puoleen moottoripyöristä oli vaihdettu pakoputki äänenvaimennuksen heikentämiseksi: joka kolmannen moottoripyörän me-

lupäastöt ylittivät sallitun rajan ja näistä joka kolmas ylitti päästörajat törkeästi. Samanlaisia mittaustuloksia saatiin mopoista. (Var tredje motorcykel för bullrik. Huvudstadsbladet, 8.9.2011, s. 3. Viitattu 8. 9. 2011. (ruotsiksi)



Kuva 8. Melumuuri Vuosaaren satamassa

5.5 MELUN HAITTOJA

Sisäkorvan simpukassa on n. 20 000 uusiutumaton, ääniaaltoja vastaanottavaa aistinkarvasolua. Jatkuva liiallinen melutaso saa aistinsolun väsymään ja viimein kuolemaan. Äkillinen kova äänenpaine voi tuhota kerralla suuren määrän aistinsoluja. Äkillisiä kuulovammoja syntyy esim. ammunnoissa tai konserteissa.

Melu voi aiheuttaa kuulon heikentymistä. Voimakkaalle melulle altistuminen voi aiheuttaa tilapäisen kuulon aleneman, joka levon jälkeen palautuu normaalitasolle. Varusmiehillä laukauksien aiheuttama kuulon alenema palautuu keskimäärin 40 tunnissa. Tilapäisen kuulon alenemisen arvellaan johtuvan kuulohermosta eikä aistinsoluista kuten pysyvässä kuulon alenemassa. Ääni tai melu voi olla vahingollista, kun sen voimakkuus ylittää 80 dB (A). Meluvammariski on verrannollinen melualtistuksen suuruuteen ja sen keston. Meluvamma syntyy yleensä pitkäaikaisessa, 20 - 30 vuotta kestäneessä altistuksessa. Pitkäaikainen melulle altistuminen voi heikentää kuuloa pysyvästi ja jatkuvalla yli 90 desibelin melulle altistuminen aiheuttaa lähes

aina pysyvän kuulovaurion. Melun aiheuttaman kuulovamman voi saada myös äkillisesti räjähdysten, laukauksen tai musiikin seurauksena. Paineaalto voi saada aikaan repeämiä korvan kalvoissa ja aiheuttaa sisäkorvassa verenvuotoja. Impulssimelun kuulovauriota lisäävä riski on kiistaton. Kuulon heikkenemisen lisäksi melulle altistumisesta voi seurata tinnitus eli korvassa tai päässä kuuluva vinkuva, humiseva, suhiseva tai naputtava ääni. Korvien soiminen eli tinnitus on yleinen oire. Sen esiintyminen ei välttämättä liity melulle altistumiseen.

Tinnitus on ääniaistimus, joka syntyy ihmisen kuuloaistijärjestelmässä. Tinnitus kuulostaa todelliselta ääneltä, vaikka mitään ääntä ei esiinny. Noin 15 %:lla ihmisistä korvat soivat säännöllisesti. Tilapäinen altistuminen voimakkaalle melulle voi aiheuttaa lyhytaikaisen korvien soimisen. Tinnitus liittyy usein krooniseen kuulovammaan, varsinkin impulssimelulle altistumiseen. Muusikoilla esiintyy tavallista useammin tinnitusta, noin 50 % muusikoista kärsii tinnituksesta.

Meluvammariskille on luonteenomaista suuret yksilölliset erot kuulon aleneman ilmaantuvuudessa. Noin 10 % väestöstä on herkkiä saamaan meluvamman ja n. 7 % väestöstä on erityisen vastustuskykyisiä melun aiheuttamalle kuulovammalle. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

Taulukko 4. Aikarajat, jonka jälkeen kuulovaurion riski on toistuvassa meluallistuksessa todennäköinen:

Melutaso	Aika	Melutaso	Aika
85 dB	8 h	103 dB	8 min
88 dB	4 h	106 dB	4 min
91 dB	2 h	109 dB	2 min
94 dB	1 h	112 dB	1 min
97 dB	30 min	115 dB	Ei lainkaan
100 dB	15 min		

HUOM! Kuulovaurion voi siis saada myös aikaisemmin, kuin yllä olevassa taulukossa on mainittu, mutta kuulovaurion riski on paljon todennäköisempi vasta yllä mainittujen aikarajojen jälkeen.

5.5.1 Muut terveyshaitat

Kuulovaurioiden lisäksi melu aiheuttaa muita terveyteen ja toimintakykyyn kohdistuvia haittoja. Näihin kuuluvat mm. stressi, verenpaineen nousu, henkinen kuormittuminen, väsyminen, ärtyvyys, unihäiriöt sekä suorituskyvyn heikkeneminen. Äänen ei voimakkuudeltaan tarvitse olla kuuloa vaurioittava ollakseen melua. Esimerkiksi lieväkin liikenteen melu öiseen aikaan voi (muutoin hiljaisessa ympäristössä) häiritä unta ja aiheuttaa siten terveyshaittoja. Yksilöistä johtuvat sekä ympäristöön ja elintapoihin liittyvät riskitekijät lisäävät melun haitallisuutta, ja samanaikaisesti vaikuttaessaan tuottavat suuremman kuulon aleneman kuin eri tekijät yksinään.

Työmelun haitallisuuteen vaikuttavat melutaso, kesto, kuulosuojainten käyttö ja melun impulssimaisuus. Melulle altistutaan merkittävästi myös vapaa-ajalla, etenkin musiikin kuuntelukuulokeilla, varusmiespalvelu ja ampuminen ovat vapaa-ajalla melulle altistavia tekijöitä. Kuulovamman kehittymiseen vaikuttavat myös liuottinainealtistuminen, särkylääkkeet, tupakointi ja värinäaltistus. Yksilölliseen herkkyyteen vaikuttavat verenpaine, kolesteroli, sokeritauti ja valkosormisuusoireiden esiintyminen.

Eri tekijöiden yhteisvaikutus voi olla additiivinen (summavaikutus) tai potensoiva (voimistava vaikutus). Altistuminen orgaanisille liuottimille yhdessä melun kanssa

lisää kuulovaurioita. Etenkin styreenillä on voimakas potensoiva vaikutus. Tupakointi yksinään ei vaikuta meluvamman syntyyn. Sen sijaan tupakoinnilla on kohonneen verenpaineen ja ääreisosien verenkiertohäiriöiden, kuten valkosormisuusoireiden, kanssa selvästi voimistava yhteisvaikutus. Myös kohonnut verenpaine ja kolesteroli voimistavat yhdessä melun aiheuttamaa kuulovammaa.

Kuulovamman kehittymisessä on suuri hajonta. Kuulo heikkenee iän mukana - ilmiötä kutsutaan ikähuonokuuloisuudeksi. Sen syyt tunnetaan toistaiseksi huonosti. Ikääntyessä sisäkorvan aistinsolujen toiminta heikkenee, hermosolujen määrä vähenee ja sisäkorvan verisuonitus rappeutuu. Koe-eläimillä on löydetty meluherkkyyttä lisääviä geenivirheitä. On todennäköistä, että merkittävä osa ikään liittyvästä kuulon alenemasta on melun aiheuttamaa. (Starck Jukka ym.: Työhygienia. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

Melu on yleisimpiä työperäisiä haittoja ja se aiheuttaa vuosittain lähes tuhat ammattitautia. Yli 85 dB:n melulle altistuvia työntekijöitä arvioidaan olevan 100000-300000. Työntekijän suurin sallittu päivittäinen henkilökohtainen melu-altistus on 85 dB. Melu lisää tapaturmavaaraa mm. vaikeuttamalla työohjeiden ja varoitusäänimerkkien kuulemista.

Edellä lueteltujen terveyshaittojen ohella varsinkin liikenneperäinen melu aiheuttaa yhä lisääntyvästi epäviihtyisyyden kokemista asuinympäristöissä sekä luonnon- ja virkistysalueilla vapaa-aikana. Moottorimelu koetaan usein ongelmaksi etenkin taa-jamissa, vilkkaasti liikennöityjen teiden varsilla sekä lentokenttien ympäristöissä. Toisaalta moottorikäyttöiset harrastusvälineet (kuten moottorikelkat ja - veneet) le-vittävät melusaastetta myös harvaan asutuille luonnonalueille. Melusaasteen yhä laajemman levinnän vuoksi on jäljellä olevia hiljaisia alueita alettu järjestelmällisesti kartoittaa Suomessakin. (Ympäristöministeriö: Hiljaiset alueet)

5.6 MELUN MITTAAMINEN

Melun mittauksen lähtökohtana on mittaustuloksen käyttötarkoitus, se määrittää menetelmälle ja mittauslaitteelle asetettavat vaatimukset. Melua mitattaessa on valittava standardin mukainen menetelmä ja laitteet.

Yleis-/ taustamelu mitataan n. 1.5 m korkeudelta, vaihteluväli voi olla esim. 70 -75 dB (A). Melua mitataan noin metrin etäisyydeltä melua aiheuttavasta koneesta/ laitteesta. Ulkoilmaolosuhteissa pitää muistaa käyttää tuulisuojaa.

Työntekijään kohdistuva melu mitataan korvan vierestä, jos melu on vaihtelevaa ja päivän aikana on erilaisia työtehtäviä, kannattaa tehdä meluannosmittaus. Melua voidaan myös mitata kartoitusmenetelmällä, jossa melut mitataan työskentelyalueilta. Työskentelyaikojen perusteella voidaan laskea meluannos esim. melulaskinta käyttämällä.

Melun äänenpaineen mittaamiseen käytettävät melumittarit luokitellaan tarkkuustasojen mukaan kolmeen luokkaan (standardi IEC 61672). Tarkimpaan 0-luokkaan sijoittuvat referenssi- laboratoriomittarit, seurantamittauksiin tarvitaan 1- luokan melumittari ja annosmittareiden tulee täyttää 2- luokan vaatimukset. Melumittarin tarkkuus riippuu oleellisesti mikrofonin ja elektroniikan laadusta.

Melumittareissa on normaalisti kolme erilaista taajuuspainotusta: A- painotus, C- painotus ja lineaarinen painotus. Linearisessa painotuksessa ei ole taajuuskorjausta. A- painotusta käytetään, kun melua mitataan kuulemisen tai kuulovaurion kannalta. C-painotusta käytetään impulssimelun mittauksessa ja lineaarista painotusta käytetään mikrofonien ja äänentoistolaitteiden laadun arvioinnissa. Taajuuspainotuksen lisäksi mittareissa on aikapainotukset, jotka vaikuttavat melulukeman muutosnopeuteen.

Lisäksi melumittareissa on usein peak- ilmaisimien, joka antaa käytetyllä taajuuspainotuksella maksimiäänepaineen. Meluallistuksen arvioinnissa tarvitaan LCpeak- taso, joka on C- painotetun äänenpaineen maksimi tietyssä mittausjaksossa.

5.6.1 Melunmittauksen mahdollisia virhelähteitä

Melumittarin kalibrointi voi olla pielessä tai muu mahdollinen vika. Tarkistetaan melukalibraattorilla, voidaan myös vertailla muihin mittareihin. Vanhat meluanosmittarit saattavat reagoida kännykän säteilyyn, lukemat voivat olla älyttömän suuret. Poikkeavat olosuhteet ja mittareiden käyttövirheet voivat vääristää mittaus tuloksia.

5.6.2 Hyvä mittausraportti

Hyvässä mittausraportissa pitää esittää vallitsevat olosuhteet, mittauksen tekijä ja ajankohta. Raportissa tulee esittää myös mitattu työvaihe, tehtävä ja työntekijä. Raportista tulee myös ilmetä mittalaitteiden tyypit, kalibroinnit, mittauspaikat (esim. pohjapiirros) ja mittaustulokset 1 dB: n tarkkuudella. Raportissa on myös syytä verata saatuja tuloksia raja- arvoihin.

5.6.3 Melumittarin kalibrointi

Melumittarin toimintakunnon varmistamiseksi ja kalibroimiseksi käytetään melukalibraattoria. Se tuottaa normaalisti 1000 Hz: n taajuudella 94 dB äänenpainetason. Melumittarin mikrofoni asetetaan kalibraattoriin tiiviin sovittimen avulla ja kalibraattorin äänenpaine mitataan. Mikäli lukema poikkeaa paljon kalibraattorin lukemasta, melumittaus ei ole luotettava. Pienet poikkeamat voidaan korjata säätämällä melumittaria. Kalibraattori on tarkistettava vuosittain ja myös melumittari on kalibroitava säännöllisesti.

5.6.4 Työpaikkamelun mittaaminen

Työpaikkamelun mittaamisen käytettävän melumittarin laatuvaatimukset ovat: 2-tarkkuusluokan melumittari, jossa on A- ja C- aikapainotus, vähintään hidas ja nopea aikavakio, peak-ilmaisain ja ekvivalenttitason mittaus sekä melukalibraattori. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

5.7 MITTAAMINEN MELUMITTARILLA

Melun voimakkuuden arviointi ja vertaaminen raja – ja toiminta – arvoihin edellyttää aina meluallistuksen määrittämistä sekä myös impulssimelun mittaamista. Meluallistuksen mittaamiseen on kaksi perusmenetelmää, meluallistuksen seuranta annosmittarilla tai meluallistuksen kartoittaminen melumittarin ja haastattelun avulla.

Meluallistuksen voi määrittää myös tavallisella melumittarilla. Tällöin mitataan meluisempien työvaiheiden A- äänitasot käyttäjän korvan vierestä työvaiheen aikana ja työvaiheiden kestot.

Työvaiheiden kesto voidaan määrittää joko havainnoimalla tai haastattelemalla. Haastateltavalta kysytään kestääkö työvaihe puoli tuntia, tunnin, kaksi tuntia jne. Kyseisellä menetelmällä saadun ajan tarkkuus on riittävä. Kaikki meluisimmat työvaiheet käydään läpi samalla tavalla.

Koko työpäivän meluallistuksen saa selville melulaskimen (Excel) avulla. Melulaskimeen syötetään työpäivän aikana mitatut melutasot ja niiden kestot. Tulokseksi saadaan työpäivän meluallistus. Menetelmä on hyvä ja tarkka, mikäli saadaan mitatuksi kaikkein meluisimmat työvaiheet ja niistä hyvät melumittaustulokset.

5.7.1 Mittaaminen annosmittarilla

Edullisin tapa tarkistaa kuulovaurion vaaraa on tehdä meluannosmittauksia annosmittarilla. Annosmittauksessa melumittari on työntekijän mukana 8 tuntia ja mikrofoni on kiinnitettynä 10 cm etäisyydelle työntekijän korvasta. Mittaus on tehtävä tyypillisissä työtehtävissä ja tavanomaisena työpäivänä. Mittauksen varmistuksena on ekvivalenttitason rekisteröinti esim. minuutin välein annosmittariin. Näin tuloksesta nähdään meluisimmat työnjaksot ja mittaustulokset voidaan sovittaa havaintoihin ja työhaastatteluun. Kun annosmittari rekisteröi impulssimelun maksimi – L_{cpeak} – arvon, joka minuutille voidaan todentaa meluallistus VNA 85/2006 (Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta) asettamiin rajoihin nähden. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008.).

Lähdeluettelo

1. Ahonen Ilpo, Pääkkönen Rauno ja Rantanen Salme: Työhygieeniset mittaukset. Työterveyslaitos, Helsinki 2000. ISBN 978-951-802-754-97.
2. Jari Lyytimäki ja Harri Hakala: Ympäristön tila ja suojeleminen Suomessa s. 213- 215, 218-225.
3. Henkilönsuojaimet työssä. Työterveyslaitos, Työturvallisuuskeskus, Sosiaali- ja terveysministeriö, 2007.
4. Meluntorjuntalaki 1 luku 2 §§.
5. Starck Jukka, Kalliokoski Pentti, Kangas Juhani, Pääkkönen Rauno, Rantanen Salme, Riihimäki Vesa, Karhula Anna-Liisa. Työhygieniä. Helsinki 2008. ISBN 978-951-802-604-7
6. Työterveyslaitoksen melusivut : www.ttl.fi/melu
7. Valtioneuvoston päätös melutasojen ohjearvoista (993/1992).
8. Var tredje motorcykel för buulrig. Huvudstadbladet, 8.9.2011, s. 3. Viitattu 8.9.2011.
9. VNA 85/2006, 12 §
10. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuilta vaaroilta (85/2006).
11. Ympäristöministeriö: Hiljaiset alueet
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=317235&lan=FI>

6. Tärinä

6.1 MITÄ TÄRINÄ ON?

Tärinä on kappaleen edestakaista liikettä. Ihmiseen kohdistuva liiallinen tärinä aiheuttaa terveyshaittoja ja tapaturmariskiä. Tärinäaltistukselle on olemassa toiminta- ja raja-arvot, joiden avulla pyritään tärinän haittojen tunnistamiseen ja vähentämiseen. Tärinän voimakkuutta arvioidaan tärinän kiihtyvyydellä (m/s^2) tai desibeleinä (dB), jolloin vertailuarvona on kiihtyvyys $1m/s^2$. Tärinätaajuuden yksikkö on värähdysten lukumäärä sekunnissa eli hertsi (Hz). Tärinän vaikutuskohteen mukaan tärinä jaotellaan käsitärinäksi ja kehotärinäksi: (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008).

6.1.1 Mitä mitataan?

Tärinän määreitä ovat sen voimakkuus ja taajuus. tärinän voimakkuudella voidaan tarkoittaa tärinän siirtymää (metreissä), tärinän nopeutta (metriä sekunnissa) tai tärinän kiihtyvyyttä (metriä sekunnissa sekuntia kohden, m/s^2). Useimmat tärinäilmaisimet tuottavat kiihtyvyyteen liittyvän tuloksen, joten tärinä on perinteisesti kuvattu kiihtyvyyden avulla.

6.1.2 Mitä tarkoittavat taajuus ja taajuuspainotus?

Taajuudella tarkoitetaan sitä, kuinka monta kertaa sekunnissa tärisevä kappale liikkuu edestakaisin. Sen ilmaisema arvo on syklien määrä sekunnissa eli yleisimmin tunnettu hertsi (Hz). Jos työkalu on pyörivä, hallitseva taajuus määräytyy yleensä työkalun pyörimisnopeuden perusteella (ilmaistaan yleensä kierroksina minuutissa, rpm; kun rpm jaetaan 60:lla, saadaan taajuus Hz:nä)

6.2 KÄSITÄRINÄ

Käsitärinällä tarkoitetaan tärinää, joka työntekijän käsiin tai käsivarsiin välittyessään aiheuttaa haittaa tai vaaraa hänen terveydelleen ja turvallisuudelleen. Käsitärinä aiheuttaa erityisesti verenkiertoon, tuki- ja liikuntaelimistöön ja hermostoon liittyviä ongelmia. Käsitärinässä merkittävänä pidetyt taajuudet ovat alueella 8- 1 000 Hz. Koska käden vaurioriski ei kuitenkaan ole sama kaikilla taajuuksilla, käytetään taajuuspainotusta sen ilmaisemiseen, kuinka todennäköinen vaurio on eri taajuuksilla. Painotettukiihtyvyyssarvo laskee, kun taajuus nousee. Käsitärinän yhteydessä käytetään vain yhtä taajuuspainotuskäyrää kaikilla kolmella akselilla.

Tärinän taajuuspainotetulle kiihtyvyydelle on annettu raja-arvot ja toiminta-arvot asetuksessa 48/2005. Arvot on määriteltä 8 tunnin vertailuajkaan suhteutettuna alla olevan taulukon mukaisesti.

Taulukko 5. Ohjearvot tärinälle

(http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/tarina/toiminta_raja_arvot_tarinalle/sivut/default.aspx)

	Käsitärinä	Kehotärinä
Toiminta- arvo	2,5 m/s ²	0,5 m/s ²
Raja-arvo	5,0 m/s ²	1,15m/s ²

Toiminta-arvon ylittyessä työnantajan velvollisuus on laatia riskinarvioinnin perusteella tärinäohjelma, jonka tavoitteena on vähentää altistumista. Toiminta-arvon ylittävälle kehotärinälle altistuvilla työntekijöillä on suoritettava määräajoin terveystarkastuksia. Terveystarkastuksen tehtävänä on löytää tärinälle erityisen herkät työntekijät, joiden kohdalla työnantajan on ryhdyttävä asianmukaisiin toimenpiteisiin näiden työntekijöiden terveyden ja turvallisuuden suojelemiseksi.

Raja-arvon ylittyessä työnantajan on viipymättä ryhdyttävä toimenpiteisiin altistumisen alentamiseksi. Työnantajan on selvitettävä ylityksen syyt ja tehtävä tarpeelliset muutokset suojauksiin ja ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin, jotta ylitys ei toistu (VNA 48/2005).

Valtioneuvoston asetuksessa koneiden turvallisuudesta (VNA 400/2008) annetaan koneiden valmistajille ja maahantuojille mm. seuraavat ohjeet kohdassa 3.6.3.1. Koneen tai laitteen ohjeissa on ilmoitettava seuraavat tiedot käsi- ja kehotärinästä:

- koko kehoon kohdistuvan kiihtyvyydensuurin painotettu tehollisarvo (RMS- arvo), jos se ylittää arvon $0,5 \text{ m/s}^2$. Jos tämä arvo ei ylity, siitä on mainittava.
- käsitärinän kiihtyvyyden suurin painotettu tehollisarvo (RMS- arvo), jos se ylittää arvon $2,5 \text{ m/s}^2$. Jos tämä arvo ei ylity, siitä on mainittava. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008).

6.2.1 Mitä mittauslaitteita on käytettävä?

Käsitärinän mittauslaitteiden on oltava standardissa EN ISO 8041: 2005 asetettujen käsitärinän mittauslaitteiston vaatimusten mukaisia. On tärkeää, että kiihtyvyysmittarit (tärinänilmaisimet) on valittu huolellisesti. Käsikäyttöisen käsin ohjattavan koneen tärinä saattaa olla hyvin voimakasta ja se saattaa helposti ylikuormittaa epäso-pivan mittarin. Jotta mittarin voi asentaa koneen käsikahvoihin, sen rakenteen on oltava kestävä, kevyt ja tiivis. lisätietoja ja ohjeita mittarien valinnasta ja asentamisesta on standardissa EN ISO 5349-2: 2001. (EU direktiivi 2002/44/EY ns. tärinädirektiivi).

6.3 KEHOTÄRINÄ

Kehotärinä on tärinää, joka alustan tai istuimen välityksellä kohdistuu koko vartaloon aiheuttaen haittaa tai vaaraa työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle. Kehotärinä on erityisesti alaselän sairauksia tai selkärangan vammoja aiheuttava riskitekijä.

Kehotärinälle voidaan altistua maanrakennus-, maasto- ja maatalousajoneuvoissa, kaivosporakoneita käytettäessä sekä sotilasajoneuvoissa. Noin 140 000 työntekijää kokee työssään haitallista kehotärinää. Kehotärinälle altistumisen määrään vaikuttavat koneen tärinän kiihtyvyys ja koneella työskentelyyn kulunut aika. Kehotärinälle altistumiseen vaikuttaa myös suuresti ajoalusta eli maasto sekä ajotapa.

Suomessa kehotärinä ei ole mukana ammattitautiluokituksessa, siksi ei rekisteröityjä ammattitauteja esiinny. Ruotsissa korvataan vuosittain kymmeniä kehotärinästä johdettuja ammattitauteja. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008).

6.3.1 Kehotärinän mittaaminen

Mittauksissa pitäisi pystyä tuottamaan sellaisia tärinäarvoja, jotka edustavat koneen käyttäjään kohdistuvaa tärinää työjakson aikana. Tästä syystä on tärkeää, että käyttöolosuhteet ja mittausjaksot valitaan tätä silmällä pitäen.

Suosittelun mukaan mittaukset pitäisi tehdä 20 minuutin jaksoissa. Jos mittausjaksojen on oltava lyhyempiä, niiden on oltava normaalisti vähintään kolmen minuutin pituisia ja niitä pitäisi mielellään toistaa, jotta kokonaismittausaika ylittää 20 minuuttia (ks. lisätietoja EN 14253). Pidemmät mittausjaksot, eli kaksi tuntia tai enemmän, ovat toivottavia (joissakin tapauksissa koko työpäivän tai puolen päivän kestävät mittaukset ovat mahdollisia)

Tärinäaltistuksen määrittäminen tapahtuu standardin **ISO 2631-1 (1997)** mukaisesti. Käytännön ohjeita annetaan standardissa **EN 14253:2003+A1 (2007)**. Näiden mukaan kehotärinäaltistus määritellään mittaamalla koneen aiheuttama tärinäkiikkyvyys ja arvioimalla päivittäinen altistusaika ja laskemalla tulos annetulla kaavalla tehollisarvona.

Päivittäisen altistumisen arviointiin voi käyttää alla olevan kuvan mukaista taulukkoa, silloin kun tärinälle altistuminen ei kestä koko päivää. Päivittäisen altistuksen laskeminen käy helpoiten tärinälaskimen (Excel) avulla. Tärinälaskin mahdollistaa myös useiden altistuslähteiden yhteisvaikutuksen arvioinnin. (Starck Jukka ym.: Työhygieniä. Työterveyslaitos. Helsinki 2008).



Kuva 10. Kehotärinän toiminta-arvo ja raja-arvo eripituisissa altistuksissa (http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/tarina/kehotarina/kehotarinan_mittaaminen/sivut/default.aspx).

Lähdeluettelo

1. EU-direktiivi2002/44/EY (nk. tärinädirektiivi)

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:177:0013:0019:FI:P>
DF

2. Starck Jukka, Kalliokoski Pentti, Kangas Juhani, Pääkkönen Rauno, Rantanen Salmme, Riihimäki Vesa, Karhula Anna-Liisa. Työhygieniä. Helsinki 2008. ISBN 978-951-802-604-7

3. Työterveyslaitos: www.ttl.fi/tarina

7. Valaistus

7.1 MITÄ HYVÄ VALAISTUS ON?

Valaistus riippuu monesta tekijästä. Hyvä valaistus saadaan riittäväällä, tasaisella valaistusvoimakkuudella. Hyvän valaistuksen ominaisuus on myös häikäisemättömyys. Tällöin valon lähde ei osu suoraan näkökenttään, valaisin ei heijastu kuvaruudusta tai työtason pinnasta eikä katseen kohteen ja katselijan välillä ole heijastavia pintoja.

Kohtuulliset luminanssierot eri pintojen välillä auttavat hahmottamaan tilaa. Pintojen valaistusvoimakkuus, väri ja heijastumissuhteet ovatkin tilan hahmotuksen avaintekijöitä. Valolähteen värinvalinto- ominaisuudet vaikuttavat valaistuksen kohteen väriin. Valon väri lisää oleellisesti oikean informaation saatavuutta ympäristöstä. Valo ja väri vaikuttavat myös ihmisen mielentilaan ja sitä kautta työtehoon.

Oikealla valon suuntauksella saadaan varjot pois tärkeimmästä katselukohteesta. Toisaalta valon suuntaus ja varjon muodostus ovat tärkeitä tekijöitä katsekohteen muodon tunnistamisessa. Liian suuria varjoja tulee välttää kulkureiteillä tai tiloissa, joissa käsitellään suuria kappaleita.

Valaistuksen tulee olla muunneltavissa työntekijän mukaan. Ikääntyneet työntekijät tarvitsevat huomattavasti enemmän valoa kuin nuoret. Näöntarkkuus on 60 -vuotiailla keskimäärin puolet 20- vuotiaan näkö tarkkuudesta. 60-vuotias tarvitsee 12-kertaisen valaistusvoimakkuuden saadakseen saman näkövaikutelman kuin 20-vuotias.

Hyvä valaistus merkitsee viihtyvyyttä, terveellisyttä, turvallisuutta ja tuottavuutta. Viihtyvyys merkitsee optimiolosuhteita, joissa vireystila on maksimissaan. Silmien rasitusoireet ja terveyshaitat (esim. silmien kuivuminen) vähenevät hyvässä valaistuksessa.

Standardi **SFS-EN 12464- 1** (Valo ja valaistus: Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus) määrittelee sisätyötilojen valaistusvaatimukset lähtien

näkömukavuuden ja näkötehon tarpeista. Standardissa käsitellään kaikkia yleisimpiä näkötehtäviä mukaan lukien näyttöpäätetyö.

Valaistusvoimakkuuden lisääminen 500 luksista noin 1600 luksiin kasvattaa tuottavuutta useilla prosenteilla. Vaativissa näkötehtävissä on näin saavutettu jopa 8 – 9 % tuottavuuden nousu, myös virheiden lukumäärä on saatu jopa puolittumaan. Valaistusvoimakkuuden lisäämisellä on suurempi vaikutus iäkkäidentyöntekijöiden tuottavuuden parantumiseen kuin nuorten työntekijöiden. Valaistuksen täysremontilla voi säästää energiaa.

Näköhavaintoon vaikuttavat työtilan koko, seinien ja kattopintojen heijastusominaisuudet, värit yms. Tärkeimmät näkemiseen vaikuttavat tekijät ovat tilan valaisimet sekä niiden tuottama valaistus. Myös katseen kohde ja tehtävän työn vaatimukset vaikuttavat. Näkemiseen vaikuttavat myös katselijan yksilölliset ominaisuudet, (kuten ikä, näkökyky, silmälasit ja vireystila). Kokonaisuus vaikuttaa näköhavaintoon. (Starck Jukka ym. (toim.): Työhygieniä.: Työterveyslaitos, Helsinki 2008).

7.2 VALAISTUSSUUREITA

Valovirta ilmaisee valon säteilytehon kyvyn aiheuttaa valoastimus. Valovirran yksikkö on lumen (lm). Valovoima kuvaa valon lähteen intensiteettiä eli voimakkuutta. Valovoiman yksikkö on kandela (cd).

Valovoiman ja valovirran ero on käytännössä siinä, että valovirta kertoo, kuinka voimakas valonlähde on kokonaisuudessaan. Valovoima kertoo valonlähteen voimakkuuden tietylle alalle.

Valaistusvoimakkuus on työtilan pinnoille tulevan valovirran (lm) suhde pinnan alaan. Valaistusvoimakkuuden sen yksikkö on luxi (lx) eli $lx = lm/m^2$.

Heijastumissuhde (%) määritellään pinnasta lähtevän valovirran suhteena pinnalle tulevan valovirran määrään. Heijastussuhteella on suuri merkitys värien ohella siihen, miltä työtilat näyttävät.

Lampun värintoistoindeksillä (Ra - indeksillä, Ra) mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna vertailuvalonlähteeseen. Värintoistoindeksi määritetään siten, että lämmin valkea loistelamppu saa arvon 50 ja hehkulamppu arvon 100. Myös päivänvalon Ra- indeksi on sata. Mitä suurempi Ra- indeksi on, sitä parempi on värintoisto. Loistelamppujen värintoistoindeksi on yleensä noin 80 ja elohopeahöyrylamppujen luokkaa 40- 50.

Sisätilojen valaistusasennuksessa valaisimien aiheuttama kiusahäikäisy (eli häikäisy, joka aiheuttaa epämiellyttävyyden tunteen, mutta ei heikennä näkemistä) tulee määrittää käyttäen CIE: n kehittämää UGR- menetelmää. Valaistussuosituksissa annetaan UGR- arvolle maksimi, jota ei saa ylittää. UGR- arvo riippuu taustasta heijastuvan valon määrästä ja jokaisen valaisimen osan luminanssista sekä osan sijaintikertoimesta (poikkeamasta katseen suunnassa). (Starck Jukka ym. (toim.): Työhygieniä.: Työterveyslaitos, Helsinki 2008).

7.3 LUMINANSSI

Luminanssi eli valotiheys kuvaa pinnasta heijastuvan valon määrää eli pintojen kirkkautta. Käytännössä luminanssi liitetään useimmiten valoa lähettävän kappaleen pintaan, jonka näkyvän "pintakirkkauden" tunnus se on. Luminanssin yksikkö kandela neliömetriä kohden ja $1 \text{ cd/m}^2 = 1 \text{ lm}/(\text{m}^2\text{sr}) = \text{lumen} / (\text{m}^2 \text{ steradiaani})$.

Vierekkäisten pintojen luminanssin suhde kuvaa kohteen kontrastia. Näkeminen vaikeutuu, mikäli katselukohde on paljon kirkkaampi kuin sen välitön ympäristö. Näin käy myös silloin, kun katselukohde on tummempi kuin ympäristö. Huomio ei tällöin keskity varsinaiseen katselukohteeseen, vaan kirkkaaseen ympäristöön. Kohde voi näkyä vain siluettina valoisaa taustaa vasten. Kirkkaampi tausta johtaa siihen, että näöntarkkuus kohteessa laskee huomattavasti.

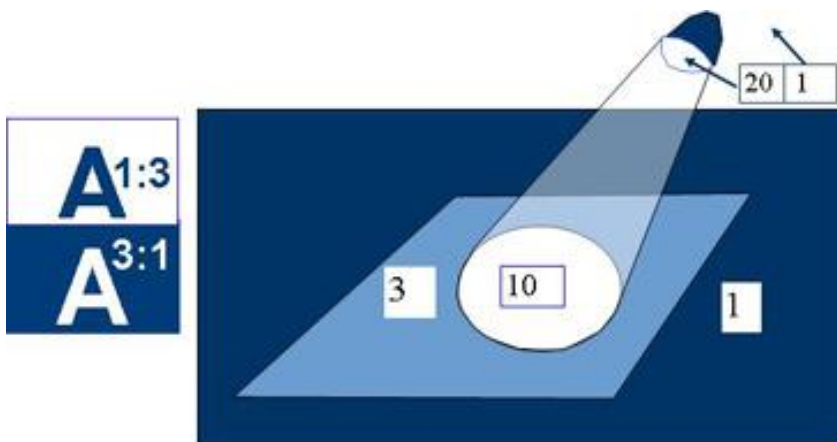
Valaistussuunnittelussa on otettava huomioon myös luminanssi:

- näkökohteen ja sen välittömän ympäristön luminanssi.
- katon, lattian ja seinän luminanssi.

- häikäisyjen välttäminen valaisimista ja ikkunoista.

Toivotut luminanssisuhteet saadaan aikaan sopivilla valaisimilla ja niiden sijoittelulla sekä oikeilla huonepintojen ja sisustusmateriaalien heijastussuhteiden valinnalla.

Alla olevassa kuvassa näkyy vasemmalla tekstien suositeltavat luminanssisuhteet. Oikealla puolella näkyvät suositukset luminanssien enimmäissuhteista (suluissa) katselukohteen (10), sen välittömän ympäristön (3) ja näkökentän kauempien kohteiden (1) välillä sekä valaisimen ja sen taustan välinen maksimiluminanssisuhde (20:1)



Kuva 11. Suositeltavat luminanssisuhteet

(http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/hyva_valaistus/luminassi/sivut/default.aspx)

7.4 VALON VALINTAPERUSTEET

Valoa tuotetaan keinotekoisesti eri periaatteilla toimivilla valolähteillä. Valaisimien valintaperusteina on yleensä haluttu valon väri, värintoisto-ominaisuudet, hankintahinta, käyttöikä ja hyötysuhde.

Perinteinen hehkulamppu on tulossa historiansa päähän sen energiatehottomuuden vuoksi. EU- direktiivissä on jo kielletty yli 60 W:n hehkulamppujen käyttö. Hehkulamppu on perinteinen ja suosittu valaisin käytössä, koska sen valon väri on lämmin ja värintoisto erinomainen. Lisäksi lamppu on edullinen. Hehkulampun polttoaika

on lyhyt n. 100 tuntia ja se käyttää energiastaan valaistukseen 10 -20 % lopun muuttuessa lämmöksi. Tämä voi olla joissakin tapauksista myös hyödyllistä.

Loisteputket ovat olleet käytössä kauan energiatehokkuuden ja pitkän käyttöiän (n. 6 000 tuntia) ansiosta. Loisteputkien tuotekehittelyn tuloksena ovat syntyneet pienisloistelamput, joita käytetään hehkulamppujen sijasta. Niiden käyttämä energiamäärä on vain noin viidennes saman valaistusvoimakkuuden tuottavista hehkulampuista. Tämän vuoksi niitä kutsutaan myös energiansäästölampeiksi. Esimerkiksi 60 W:n (on jo historiaa) hehkulamppu voidaan korvata 11 W:n energiansäästölampulla. Yleistyneen käytön myötä energiansäästölamppujen hinnat ovat laskeneet, jolloin ne voivat jo kilpailla käyttökustannuksissa hehkulamppujen kanssa. Energiansäästölamput eivät toimi pakkasessa hyvin. Niiden syttymisaika täyteen tehoonsa on minuutin luokkaa. Energiansäästölamput sekä loisteputket ovat ongelmajätettä niiden sisältämän elohopean vuoksi. Joidenkin valmistajien energiasäästölamppujen laadussa on ollut erittäin suuria ongelmia. Lisäksi kaikkien valmistajien energiasäästölamppujen laatu ei vastaa sitä mitä yleisesti näille lampeille luvataan.

Halogeenivalaistuksesta on tullut kotien sisustajien suosikki. Halogeenilampuilla on hyvä värintoisto-ominaisuus ja pitkä polttoikä. Ne soveltuvat parhaiten kohdevalaisimiksi. Halogeenilampun energiasta 95 % muuttuu lämmöksi, sen vuoksi ne tarvitsevat paloturvallisuussyistä pysyvän esteettömän suoja-alueen. Valmistajien on ilmoitettava suoja-alueen laajuus halogeenilampun asennus- ja käyttöohjeissa.

Purkauslamput ovat pienikokoisia, pitkäikäisiä ja tehokkaita valonlähteitä, joilla on lukuisia käyttökohteita kotivalaistuksesta teollisuuslaitosten ja ulkoalueiden valaistukseen. Purkauslamput tarvitsevat kullekin tyyppille ominaisen kuristimen. Lisäksi osa purkauslampeista tarvitsee sytyttimen toimiakseen. Purkauslamput saavuttavat lopullisen valovirtansa 2 – 15 minuutin kuluttua sytyttämisestä. Värikorjatut elohopealamput tuottavat paljon lämminsävyistä valoa vaativiin ulko- ja sisäkohteisiin. Sekavalolamppu ei vaadi kuristinta eikä sytytintä, joten sitä voidaan käyttää kuten hehkulamppua. Sillä saadaan huomattavasti enemmän valoa kuin vastaavan tehoi-

sella hehkulampulla. Käyttökohteita ovat esimerkiksi ulkovalaistus, varastot ja kasvivalaistus. Tämän ovat myös hampun kasvattajat huomanneet valitettavasti.

Tulevaisuuden valaisimia ovat LED- lamput, jotka ovat tulossa suuritehoisten ledien (yli 1W) kehittymisen myötä myös valaisinmarkkinoille. Käytössä on jo ollut erilaisia pientehoisilla ledeillä toteutettuja käsivalaisimia, joissa on ollut yksi tai useampi LED- diodi valolähteenä. Nykyisin markkinoilla oleva 10 W: n spot- tyyppinen LED- lamppu tuottaa keilan suuntaan 100 luksia/W, kun energiansäästölamppuilla saadaan korkeintaan 10 lx/W ja hehkulampuilla 2 lx/W. LED- lamput syttyvät nopeasti, mutta niiden säteilykeilan muoto ei ole yhtä laaja kuin muilla. LED- valaisimet ovat vielä kalliita ja kehityskaarensa alkuvaiheessa, mutta tulevaisuus voi olla niiden. Starck Jukka ym. (toim.): Työhygieniä.: Työterveyslaitos, Helsinki 2008.

7.5 VALAISTUSVOIMAKKUUS

Valon terveydellisten ja muiden myönteisten vaikutusten saavuttaminen edellyttää melko voimakasta valaistusta, yli 1500 luksin valaistusvoimakkuutta. Jos ihmiset saisivat vapaasti valita itselleen sopivimman valaistusvoimakkuuden, niin valtaosan valinta olisi 1 000 – 3 000 lx. Sisätiloissa, joissa työskennellään jatkuvasti, valaistusvoimakkuuden on oltava vähintään 200 lx. **(SFS EN12464-1).**

Taulukko 6. Taulukossa on esitetty työkohteen ja sen välittömän ympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde ja tasaisuus, joilla pystytään välttämään liian suurten kontrastien muodostuminen.

(http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/hyva_valaistus/valaistusvoimakkuus/sivut/default.aspx)

Työkohteen valaistus (lx)	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus (lx)
> 750	500
500	300
300	200
< 200	sama kuin kohteessa
tasaisuus > 0,7	tasaisuus > 0,5

Taulukko 7. Erilaisten työtehtävien vaatimat valaistusvoimakkuudet (Suomen Valoteknillinen Seura 9/1986)

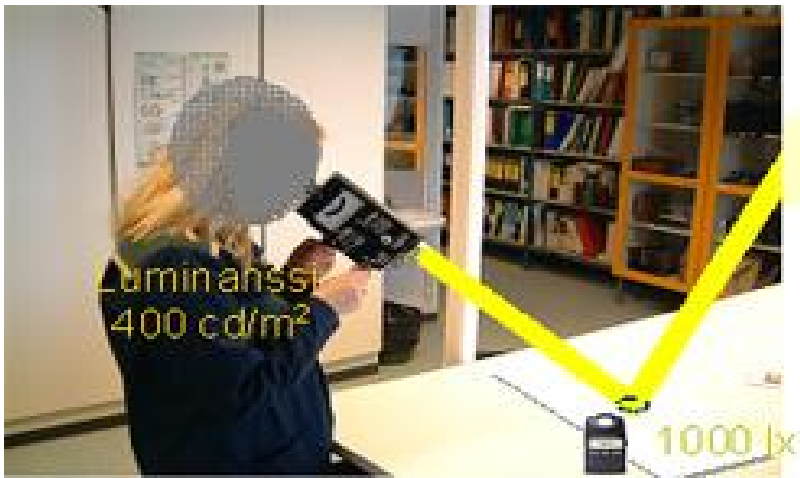
Suosittelava valaistusvoimakkuus (lx)	Tila tai työskentelyolosuhde	Esimerkkejä
20 - 30 - 50	ulkotyöalueiden yleisvalaistusvoimakkuus	
50 - 75 - 200	tilat, joita ei käytetä jatkuvasti työskenneltäessä	eteiset, aulat, käytävät varastot
200 - 300 - 500	yksinkertaiset näkötehtävät	paperikonesalit, maalaamot, karkea penkkityö
300 - 500 - 700	kohtuullista tarkkuutta vaativat näkötehtävät	toimistot, luokkahuoneet, laboratoriot
500 - 750 - 1000	tarkkuutta vaativat näkötehtävät	pankkien asiakaspalvelu, avotoimistot, melko tarkka kone- ja penkkityö, tarkka piirustustyö
750 - 1000 - 2000	erittäin suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät	värintarkastus, värinmäärittely, tarkka kone- ja penkkityö, tarkka piirustustyö
1000 - 2000 - 3000	pitkäaikaiset erittäin vaativat näkötehtävät	mikroelektronikka, käsikaiverrus, mikroskopointi

7.6 VALAISTUKSEN MITTAAMINEN JA ARVIOINTI

Valaistusta mitataan luksimittarilla eli valaistusvoimakkuusmittarilla, joka koostuu valokennosta, värikorjaussuotimesta, kosinikorjaimesta sekä virtamittarista.

Kohdevalaistus mitataan työskentelypisteessä. Valaistusmittari asetetaan työtasolle ja luetaan lukema. Samalla valaistusvoimakkuus mitataan kauempaa työpisteestä, siten arvioidaan valaistuksen tasaisuutta. Valaistusvoimakkuuden mittauskorkeus on istumatyössä 75 cm ja seisomatyössä 90 cm.

Työtilojen valaistusvoimakkuutta mitattaessa tarkastellaan työpisteen kohdevalaistuksen ja yleisvalaistuksen voimakkuutta ja tasaisuutta. Tilan yleisvalaistuksen voimakkuus mitataan tasavälisin mittauspistein joko koko tilasta tai sellaisesta osasta huonetta, jossa valaisimet sijaitsevat symmetrisesti.



Kuva 12. Luksimittari ja luminanssimittari ja niiden mittaustapa:

(http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/hyva_valaistus/valaistuksen_mittaaminen/sivout/default.aspx)

Luminanssimittari on periaatteeltaan samanlainen kuin valaistusvoimakkuusmittari. Oleellisin ero on siinä, että valaistusvoimakkuusmittari mittaa koko puoliavaruudesta tulevan säteilyn, kun taas luminanssimittarin mittausspektori on rajattu hyvin kapeaksi. Luminanssimittauksilla haetaan pintojen kirkkauseroja. Mittaus suoritetaan

työntekijän paikalta ja tarkastellaan näkökentässä olevia luminansseja. Katsotaan näkökohteen, sen välittömän läheisyyden ja ympäristön luminanssit ja katsotaan myös näkökentässä olevien valaisimien luminanssien suhteet valaisimien taustan luminansseihin.

Toimiva ja hyvin suunniteltu valaistus yleensä lisää viihtyvyyttä. Huonosti toimiva valaistus häiritsee keskittymistä ja voi aiheuttaa virheitä ja pahimmillaan vaaratilanteita. Tehokas työskentely on mahdollista, vain jos työpisteen ergonomia on kunnossa. Ergonomiaan liittyvien valaistustekijöiden huomioiminen voi lisätä valaistusasennusten kustannuksia, mutta toisaalta lisätä tuottavuutta parantuneen työtehokkuuden ja vähentyneiden poissaolojen kautta.

Nykytekniikalla yksilöllisten ja säädettävien valaistustilanteiden järjestäminen on hyvinkin mahdollista, eikä se välttämättä aiheuta kohtuuttoman suuria lisäkustannuksia uusia valaisimia hankittaessa. Lisäkustannukset on mahdollista kuolettaa nopeasti yleensä paremman energiatehokkuuden ja älykkään valaistusohjauksen avulla. Elinkaariajattelun kautta sijoitus monipuolisempaan valaistusjärjestelmään maksaa itsensä takaisin.

Sisävalaistuksen ohjearvoja esitetään standardissa SFS-EN 12464-1. Standardissa esitetään myös valaisinten aiheuttaman häikäisyn rajoittamiseen ja valonlähteiden värintoistoon liittyviä ohjearvoja. Valaistusjärjestelmän on täytettävä vaatimukset koko asennuksen elinkaaren ajan. Tyypillisesti työtehtäväalueilla suositellut valaistusvoimakkuudet ovat 300 – 750 lx. Erityistä tarkkuutta vaativissa tehtävissä tarvittava valon määrä on moninkertainen. Tällöin valaistuksen toteuttaminen häikäisemättömänä on huomattavasti vaikeampaa. (SFS-EN 12464-1: 2003 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. osa 1: sisätilojen-työkohteiden valaistus. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2003).

Lähdeluettelo

1. Starck Jukka, Kalliokoski Pentti, Kangas Juhani, Pääkkönen Rauno, Rantanen Salme, Riihimäki Vesa, Karhula Anna-Liisa. Työhygienia. Helsinki 2008. ISBN 978-951-802-604-7

2. SFS-EN 12464-1: 2003 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. osa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2003.

8. Radon

8.1 MITÄ RADON ON?

Radon on hajuton, mauton ja näkymätön radioaktiivinen jalokaasu. Sitä ei pysty mitenkään aistimaan. Se voidaan havaita ainoastaan erikoismittalaitteiden avulla. Radioaktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq), joka tarkoittaa yhden atomin hajoamista sekunnissa. Sisäilman radonpitoisuus ilmoitetaan becquereleinä kuutiometrissä ilmaa.

Suomessa sisäilman radonpitoisuudet ovat Euroopan ja mahdollisesti koko maailman korkeimpia. Syyt korkeisiin radonpitoisuuksiin löytyvät geologiasta (jäkäuden aiheuttamat muodostelmat), rakennustekniikasta ja ilmastosta. Maaperässä olevien hiekka-, sora- ja savirakeiden välissä on ilmaa. Suomen ilmastossa talon ulkopuolella on normaalisti kylmempää ilmaa kuin sisätiloissa. Näiden ilmassojen tiheysero aiheuttaa sen, että sisätiloissa vallitsee alipaine ulkoilmaan nähden. Tämä alipaine vallitsee erityisesti perustusten tasolla, jolloin se pakottaa maaperän radonpitoisen ilman liikkeelle maaperästä asunnon sisätiloihin. Kun maaperän huokosilman radonpitoisuus on erittäin korkea, riittää pieni virtaus nostamaan sisäilman radonpitoisuuden satoihin becquereleihin kuutiometrissä. Maaperän ilman radonpitoisuus

on Suomessa korkea 10.000- 100.000 Bq/m³. Pahimmilla radonalueilla on mitattu pitoisuuksia, jotka ovat jopa yli miljoona becquereliä kuutiossa. Graniittisen kivilajimme uraanipitoisuus on suurempi kuin muiden kivilajien keskimääräinen uraanipitoisuus.

Hyvin ilmaa läpäisevät sora- ja hiekkaharjut ovat radonpitoisen ilman ehtymätön lähde. Harjuille perustetuissa taloissa radonpitoisuudet ovatkin selvästi suurempia kuin lähiympäristön muille maalajeille perustetuissa taloissa. Radonin kannalta pahimpia alueita ovat karkeasoraiset harjut, joita on runsaasti Etelä-Suomessa. Suurimmalla todennäköisyydellä radonia löytyy Etelä-Suomen läänistä, Pirkanmaalta ja Salpausselän alueelta. Näillä alueella sijaitsee lähes 80 prosenttia kaikista enimmäisarvon ylittävistä asunnoista. Enimmäisarvon 400Bq/m³ ylittää koko maassa noin 3 % asunnoista, yhteensä noin 50 000 asuntoa. (Mäkeläinen I, ym. Radon suomalaisissa asunnoissa: Säteilyturvakeskus: 2009).

8.2 MISTÄ RADON SYNTYY

Radonia syntyy jatkuvasti maankamarassa ja kaikessa kiviaineksissa. Se on yksi väliaine, kun uraani hajoaa ja muuttuu lopulta lyijyksi. Radon on kaasu ja sen vuoksi se pääsee helposti liikkumaan maaperän huokosissa ja kallioperän raoissa.

8.3 MIKSI RADON ON VAARALLISTA

Ilmassa leijuvat radonin hajoamistuotteet kulkeutuvat hengityksen mukana keuhkoihin. Itse radonkaasu poistuu pääosin uloshengityksen mukana. Radonin kiinteät hajoamistuotteet tarttuvat keuhkojen sisäpintaan, missä ne lähettävät alfasäteilyä. Keuhkojen saama säteilyannos lisää riskiä saada keuhkosyöpä. Pienikin säteilyannos voi aiheuttaa syövän, joskin todennäköisyys on tällöin pieni. Mitä kauemmin ja mitä suuremmassa radonpitoisuudessa oleskelee, sitä suurempi riski on.

Radonin ja keuhkosyövän välisestä yhteydestä on olemassa paljon eri menetelmin saatua tutkimustietoa. Merkittävin tähänastinen tutkimus on eurooppalainen

yhteistutkimus. (Darby et al.2005. Radon in homes and risk of lung cancer: Collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. British Medical Journal, 330, 23 -227).

Tupakointi on keuhkosityövän suurin riskitekijä. Edellä mainitun eurooppalaisen tutkimuksen mukaan kolmenkymmenen vuoden asuminen noin 700 Bq/m³ radonpitoisuudessa kaksinkertaistaa riskin sairastua keuhkosityöpään 75 vuoden ikään mennessä. Pienessä radonpitoisuudessa elävällä jatkuvasti tupakoivalla henkilöllä on noin 10 prosentin todennäköisyys saada keuhkosityöpä, kun taas tupakoimattomalla tämä riski on vain puoli prosenttia. Tupakoinnin lopettaneen riski on yhden ja kahdenkymmenen prosentin välillä. Riski on sitä pienempi, mitä pitempi aika tupakoinnin lopettamisesta on kulunut. Suomessa todetaan vuosittain noin 2000 keuhkosityöpää, joista radonin arvioidaan aiheuttavan noin 300 tapausta. Tutkimuksissa ei ole havaittu, että radon aiheuttaisi muita terveyshaittoja kuin keuhkosityöpää.

Tämän hetkisten tutkimusten perusteella radon ei aiheuta allergisia reaktioita, hui- mausta, väsymystä eikä muita sen kaltaisia tuntemuksia. Radon ei myöskään vahin- goita esineitä tai elintarvikkeita, joita säilytetään tilassa, joissa on suuri radonpitoi- suus. Kun esine tuodaan pois tilasta, sen pinnalle kertyneet radonin hajoamistuotteet katoavat muutamassa tunnissa. Radonilla ei ole tekemistä niin sanotun maasäteilyn kanssa. (Mäkeläinen I, ym. Radon suomalaisissa asunnoissa: Säteilyturvakes- kus:2009).

8.4 MITEN RADON TULEE SISÄILMAAN

Talon alla oleva maaperä on tärkein sisäilman radonin lähde. Maaperästä sisätiloihin virtaavan ilman määrään vaikuttaa kaikkein merkittävimmin maaperän ilmanlä- päisevyys. Karkeassa sorassa tai kalliomurskeessa ilmanläpäisevyys on yli tuhatker- tainen verrattuna tiiviisiin maalajeihin kuten hieta ja savi. Lattialaatan ja seinän välis- sä oleva rako rajoittaa ilmavirtaa vain vähän. Jo yhden millimetrin suuruisesta raosta vuoto on merkittävää. Raon suureneminen ei enää olennaisesti lisää virtausta. Nor- maalisti betonilaatan kuivuessa syntyy joidenkin millimetrien levyinen rako ja virta-

uksen suuruuteen vaikuttaa eniten täyttömaan ominaisuudet. Myös läpäisevä täyttösorakerros lisää vuotoilman virtausta. Siten tiiviillekin alkuperäismaalle rakennetun talon radonpitoisuus kasvaa kun laatan alle sijoitetaan kosteusteknisistä syistä karkea täyttösora- tai sepelikerros. Avainkysymys radonkorjausten onnistumisessa on maaperästä ilmavirtausten mukana asuntoon kulkeutuvan radonmäärän pienentäminen.

Maanvaraisen laatan, rinneratkaisujen ja kevytsoraharkkojen käyttö on yleistynyt voimakkaasti 1980- ja 1990-luvuilla. Tällaiset perustukset sisältävät runsaasti rakoja ja muita reittejä, joiden kautta radonpitoisen ilman on helppo päästä asuntoon. Merkittävin vuotoreitti on maanvaraisen lattialaatan ja sokkelin välillä oleva kutistumarako. Muita mahdollisia radonin vuotoreittejä ja lähteitä ovat alapohjalaatan ja kantavien väliseinien liitoskohdat ja kantavat väliseinärakenteet, jotka läpäisevät alapohjarakenteet. Lattialaatan halkeamat, kellarin maalattia ja lattialaatan läpivientikohdat esim. pääsähköjohto ja vesijohto ovat myös radonin mahdollisia vuotokoh-
tia.

Ulko- ja sisälämpötilojen ero aiheuttaa alipaineen, joka imee radonpitoista ilmaa maaperästä sisätiloihin. Talvella radonia virtaa sisään enemmän kuin kesällä. Myös huono ilmanvaihto suurentaa radonpitoisuutta. Jos talossa on koneellinen poistoilmanvaihto eikä korvausilmaventtiileitä ole riittävästi, voi talon alipaineisuus ja sen myötä radonpitoisuus kasvaa. Lämpötilan lisäksi myös tuuli vaikuttaa asunnon ja maaperän välisiin painesuhteisiin. Lämpötilan, tuulen suunnan ja nopeuden vaihtelut näkyvät radonpitoisuudessa voimakkaana vaihteluna. Tämän vuoksi radonpitoisuus tulee mitata vähintään kahden kuukauden ajan keskiarvona.

Radonia tulee sisäilmaan jonkin verran myös rakennusmateriaaleista, esim. betonista ja tiilistä. Kerrostalojen ylemmissä kerroksissa radon ei yleensä tule maaperästä vaan yksinomaan rakennusmateriaaleista. Niistä aiheutuva radonpitoisuus on normaalisti pieni.

Radonia voi vapautua huoneilmaan myös vedenkäytön yhteydessä. Erityisesti porakaivoveden radonpitoisuus voi olla niin suuri, että se nostaa sisäilman radonpitoi-

suutta. Radonia vapautuu herkästi etenkin suihkun, pyykinpesun ja astioidenpesun yhteydessä.(H. Arvela. H. Reisbacka Asuntojen radonkorjaaminen 2008).

8.5 MITEN RADONIA MITATAAN?

Huoneilman radonia mitataan radonmittauspurkeilla. Luotettavin arvio altistuksesta saadaan, kun mitataan kahdella erillisellä radonmittauspurkilla asunnon eri huoneissa ja/tai kerroksissa. Pienissä asunnoissa voidaan käyttää myös yhtä purkkia. Mittausajaksi suositellaan kahta kuukautta marraskuun alun ja huhtikuun lopun välisenä aikana, käytännössä silloin, kun lumi on maassa. Kuntien ja taloyhtiöiden radonkaritoituksissa voidaan mitata yhdellä purkilla talon alimmassa asutussa huoneistossa. STUK- näytteenottomenetelmä on helppo ja yksinkertainen käyttää. Ohjeet tulevat näytepurkin mukana. Purkkia ei saa asettaa lähelle avattavaa ulko-ovea, ikkunaa tai raitisilmaventtiiliä. Purkkia ei saa asettaa myöskään uuninreunukselle, betoni- tai kivitasolle. Purkit lähetetään säteilyturvakeskukselle, jossa ne analysoidaan. Analysoinnin hinta n. 43 € /purkki. Radonmittauspurkit sisältävät polykarbonaattikalvoa. Radonkaasu tunkeutuu purkkiin kannessa olevien reikien läpi. Radonin lähettämä alfasäteily saa kalvolle aikaan jälkiä, jotka saadaan näkyviin laboratorioskäsitelyllä.

Säteilyturvakeskuksella on käytössään myös mittareita, joilla radonpitoisuus voidaan mitata jatkuvasti rekisteröivällä radonmittarilla, mutta tällaiset mittarit ovat kalliita, ja niiden käyttö on perusteltua vain erikoistapauksissa. Nykyisin myös yksityiset firmat ovat ostaneet näitä kalliita mittareita, ne ovat käyttökelpoisia silloin esim. kun tehdään radonkaivo ja halutaan saada tietoa kaivon asennuksen onnistumisesta. Radonkaivon säätö on helpompi tehdä, jos tällainen mittari on käytettävissä. Puhaltimessa on yleensä, joko portaaton säätö tai ainakin kaksi eri nopeutta, ja kaivon toimivuus on helpompi varmistaa, jos käytössä on jatkuvasti rekisteröivä radonmittari. Usein on havaittu, että imuria ei kannata asentaa täydelle teholle, vaan puolikas imuteho voi toimia paremmin kuin täysi imuteho. Kaivoasennuksissa on myös havaittu, että radonkaivon vieressä oleviin asuntoihin imu vaikuttaa melko nopeasti, mutta kauempana olevista asunnoissa kaivon vaikutus voi viedä puolikin

vuotta. Jälkiseuranta on siis erittäin tärkeää, näihin seurantamittauksiin jatkuvasti rekisteröivä radonmittari on erittäin käyttökelpoinen.

Radonmittaus ei yleensä ole tarpeen kesämökillä, jos siellä oleskellaan vain kesällä. Tällöin radonpitoisuus on alhainen. Jos vapaa-ajan asuntoa käytetään paljon muina vuodenaikoina, voi radonmittaus olla tarpeen myös vapaa-ajan asunnossa.

Jokainen työnantaja on velvollinen selvittämään työtilojensa radonpitoisuuden, jos on syytä epäillä että enimmäismäärä ylittyy. Työpaikan radonpitoisuus mitataan rakennuksen alimmassa kerroksessa, joissa työskennellään. Toimistoissa riittää yksi mittaus noin 200: aa neliometriä kohti, teollisuushalleissa 1-2 mittausta/ halli. Jokaisesta erillisestä rakennuksesta tehdään vähintään yksi mittaus. (RT- ohjekortti 81-10791 Radonin torjunta 2009).

8.6 ENIMMÄISARVOT

Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (n:o 944/92) mukaan asunnon huoneilman radonpitoisuus ei saisi ylittää arvoa 400 becquereliä kuutiometrissä (Bq/m^3). Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa 200 Bq/m^3 .

Mikäli huoneilman radonpitoisuus ylittää 400 Bq/m^3 , Säteilyturvakeskus suosittelee toimenpiteitä radonpitoisuuden pienentämiseksi. Mikäli radonpitoisuus on 200- 400 Bq/m^3 , Säteilyturvakeskus suosittelee tarkoituksenmukaisia, helposti tehtäviä korjauksia, jotta radonpitoisuutta voitaisiin alentaa. Jos huoneilman radonpitoisuus alittaa 200 Bq/m^3 , huonetilan radonturvallisuus on riittävä.

Työpaikoilla, kouluissa, päiväkodeissa ja julkisissa tiloissa radonpitoisuus ei saa säännöllisessä työssä ylittää 400 Bq/m^3 . (Arvela H, ym. Radon uudisrakentamisessa, 2010).

8.7 MITEN RADON TORJUTAAN

Radonin tärkeimmät torjuntatekniikat ovat rakennuspohjan tuulettaminen, rakennusosien tiivistäminen, ilmanvaihdon säätäminen, radonlähteiden poistaminen, maaperän tiivistäminen, maaperän päälle sijoitetaan tiivis kerros (kalvo, asfaltti, savi) tai tuulettuvat rakenteet, jotka poistavat radonia.

Rakennusosien tiivistäminen kannattaa tehdä ensimmäisenä torjuntakeinona radonin suhteen, koska se on edullisin keino ja jos joudutaan tekemään radonkaivo, alapohjan tulee kuitenkin olla tiivis. Tiivistämisen kanssa pitää olla tosi tarkkana, että kaikki läpiviennit tulee tiivistettyä, tällöin selvittää pienemmällä imuteholla.

Rakennusten tuulettamisessa helpoin konsti on radonkaivo, jolloin maaperästä imeetään ilmaa maaperästä joka johdetaan asunnosta ulos. Tällöin maaperän huokosilman radonpitoisuus alenee. Kaivo voi olla rakennuksen sisällä tai ulkopuolella, ulkopuolinen kaivo tulee kyseeseen esim. rivitaloissa. Radonkaivo tulee kyseeseen silloin, kun rakennuksen alla on karkeaa soraa, jolloin kaivon aiheuttama virtauskenttä pääsee etenemään korjattavan rakennuksen alle. Pientalon radonkaivoon sopiva puhallinteho on 150W. Radonputkisto voidaan asentaa joko laatan tai sokkelin läpi. Huippuimurin tulee sijaita aina asuintilojen ulkopuolella, koska huippuimurin rakenne ei ole täysin tiivis. Radonkaivon kustannukset ovat yleensä n.2500- 4500 €. Radonimurin hinta yhden imupisteen imurille ovat yleensä n. 1700- 3000 €.

Uusiin rakennuksiin asennetaan tuuletusjärjestelmä, jolla varmistetaan sisäilman radonpitoisuuden hallinta, jos perusrakenteisiin jää ilmavuotoja. Tuuletusjärjestelmän tarkoituksena on salaojakerroksen huokosilman tuulettaminen ja rakennuspohjan alipaineistaminen. Radonputkisto asennetaan laatan alle varmuustoimenpiteenä ja otetaan käyttöön vasta tarkistusmittauksen jälkeen, mikäli radonpitoisuus ylittää enimmäisarvon 200 Bq/m³. Putkistoon kytketään tällöin imuri, joka alentaa radonpitoisuutta. Tiivistämistyöt ovat kuitenkin ensisijainen toimenpide, jolla pyritään alhaiseen radonpitoisuuteen. Putkisto ilman imuria ei alenna radonpitoisuutta merkit-

tävästi. Radonpitoisuuden lasku perustuu ensisijaisesti alipaineeseen, ja riittävä alipaine syntyy laatan alle vain koneellisen imun avulla.

Asuntojen radonkorjauksiin on mahdollista saada valtion korjausavustusta. Avustusta voidaan myöntää terveyshaitan tai kosteusvaurion poistamisen edellyttämiin korjaustoimenpiteisiin, jos avustaminen on tarpeellista korjaustoimenpiteiden laajuuden sekä hakijakunnan vaikean taloudellisen tilanteen vuoksi. Avustusta voidaan myöntää enintään 40 % terveyshaitan tai kosteusvaurion poistamisen edellyttämien korjaustoimenpiteiden hyväksytyistä kustannuksista. Neuvoja antavat kunnan terveys- ja rakennusvalvontaviranomaiset. (RT- ohjekortti RT 81- 10791 Radonin torjunta 2009).

8.8 VEDEN RADONPITOISUUS

Säteilyaltistuksen kannalta veden tärkein radioaktiivinen aine on radon. Säteilyturvakeskus on antanut säteilylain (592/91) nojalla turvallisuustavoitteet vesilaitoksen veden ja elintarvikkeiden valmistuksessa käytettävän veden radioaktiivisuudelle (ST- ohje 12.3). Veden radonista on haittaa sekä juotuna että hengitettynä. Porakaivoveden radonpitoisuus kannattaa aina selvittää. Tämä koskee sekä vakituisen asunnon että vapaa-ajan asunnon porakaivoja koko maassa.

Veden radonpitoisuus saa olla korkeintaan 300 becquerelia (Bq/ l) litrassa. Jos vedessä on muitakin radioaktiivisia aineita, radonpitoisuuden pitää olla tätä pienempi. Enimmäisarvot eivät koske yksityisiä kaivoja. Yksityiskaivojen osalta Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut pieniä yksiköitä koskevan asetuksen (401/2001), joissa on annettu yksityisessä käytössä olevien kaivojen vedelle radonia koskeva toimenpideraja 1000 Bq/ l. Jos radonpitoisuus ylittää 1000Bq/l, STUK suosittelee vesijohtoverkkoon siirtymistä tai radonin poistoa. Mikäli huoneilman radonpitoisuus on korkea ja talousvetenä käytetään porakaivovettä, suositellaan radonin alkuperän selvittämiseksi veden radonpitoisuuden tutkimusta. Veden radonmittauksia voi tiedustella myös kunnallisista elintarvike- ja ympäristölaboratorioista. (Vesterbacka P, ym. Kaivoveden luonnollinen radioaktiivisuus: Säteilyturvakeskus: 2010).

8.9 RADONIN VÄHENTÄMINEN KAIVOVEDESTÄ

Radonia voi yrittää vähentää ilmastusmenetelmän avulla ja sitä voidaan käyttää riippumatta siitä, mikä on veden radonpitoisuus. Ilmastin on tavallisesti muovista tai teräksestä valmistettu säiliö, johon mahtuu 100 – 300 litraa vettä. Säiliössä vettä ja ilmaa sekoitetaan tehokkaasti, ja veteen liuennut radon siirtyy vedestä säiliössä olevaan ilmatilaan, josta se johdetaan ulkoilmaan. Säiliön täyttöä ja tyhjennystä ohjaa automatiikka. Ilmastimella saadaan radonia vähennettyä 90 -99 prosenttia. Ilmastettu vesi varastoidaan varasto- tai painesäiliöön. Ilmastimet ovat mallista riippuen halkaisijaltaan 0,5 – 1 metriä ja korkeudeltaan alle 2 metriä. Ilmastuslaitteiden hinnat riippuvat mallista, toimittajasta ja asennuksesta. Yleensä hinnat ovat välillä 2500 – 5000 €.

Aktiivihiilisuodatus on äänetön ja halpa menetelmä. Se ei vie paljoa tilaa, mutta vaatii lähellä asuintiloja ympärilleen säteilysuojuksen. Se soveltuu veden puhdistukseen, kun radonpitoisuus on alle 5 000 Bq/l. Aktiivihiilisuodattimet ovat yleensä tilavuudeltaan 40 – 60 litraa. Suodatin sijoitetaan vesilinjaan tavallisesti painesäiliön jälkeen, joten eristä pumppua ei tarvita. Hiilierä on syytä vaihtaa 2–3 vuoden välein. Takaisinhuuhteluautomatiikalla varustettujen aktiivihiilisuodattimien hinnat ovat 1000 – 2000 €. (Vesterbacka P, ym. Kaivoveden luonnollinen radioaktiivisuus: Säteilyturvakeskus: 2010).

8.9.1 Uraanin, radiumin, lyijyn ja poloniumin poisto

Uraani ja radium voidaan poistaa vedestä tehokkaasti ioninvaihtomenetelmällä, jolla niiden poistumat ovat olleet yli 95 %. Uraani poistetaan anioninvaihtohartsilla ja radium kationinvaihtohartsilla. Nämä aineet voidaan poistaa vedestä joko yhdessä tai erikseen. Tehokkain menetelmä lyijyn ja poloniumin poistoon on käänteisosmoosilaitte. (Vesterbacka P, ym. Kaivoveden luonnollinen radioaktiivisuus: Säteilyturvakeskus: 2010).

Lähdeluettelo

1. Arvela H, Mäkeläinen I, Holmgren O, Reisbacka H, Radon uudisrakentamisessa. STUK-A244. Helsinki: Säteilyturvakeskus: 2010.
2. Arvela H, Reisbacka H, Asuntojen radonkorjaaminen. STUK-A229. Helsinki: Säteilyturvakeskus: 2008.
3. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriö: Oppaita 2003: 1. Edita Oy , Helsinki.
4. Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriö: Ympäristö ja Terveys- lehti.
5. Mäkeläinen I, Kinnunen T, Reisbacka H, Valmari T, Arvela H, Radon suomalaisissa asunnoissa. STUK-A242. Helsinki: 2009.
6. RT- ohjekortti 81- 10791 Radonin torjunta. 2009.
7. Suomen rakentamismääräyskokoelman D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet, Ympäristöministeriö 2010.
8. Suomen rakentamismääräyskokoelman B3, Pohjarakenteet, määräykset ja ohjeet, Ympäristöministeriö 2004.
9. Valmari T, Mäkeläinen I, Reisbacka H, Arvela H. Suomen radonkartasto 2010. STUK-A245. Helsinki: Säteilyturvakeskus: 2010.
10. Vesterbacka P, Mäkeläinen I, Tarvainen T, Hatakka T, Arvela H. Kaivoveden luonnollinen radioaktiivisuus. STUK-A199. Helsinki: Säteilyturvakeskus: 2010.

9. Mittauksiin tarvittavat mittarit ja apuvälineet

9.1 TIIVEYSMITTAUKSEEN TARVITTAVAT MITTALAITTEET JA APUVÄLINEET

- tehdasvalmisteinen blower- door laitteisto tai rakennuksen oma ilmanvaihtolaitteisto
- pintalämpötilamittari tai vaihdettava pintalämpötila-anturi matalien pintalämpötilojen todentamiseen
- suhteellisen kosteuden mittari
- paine-eromittari painesuhteiden mittaamiseen
- savuampulleja tai savukone ilmavuotojen paikallistamiseen
- riittävän tarkka ilmanvirtausmittari ilmamäärien ja ilman virtausnopeuden mittaamiseen

9.1.1 Tiiveysmittaukseen tarvittavien laitteiden nykyhinnat

- tehdasvalmisteinen blower- door laitteisto n. 4500 €.
- tallentava lämpökamera hinnat alkaen n. 5000 €.

Mielestämme mittaajan kannattaa hankkia ns. monitoimimittari, jolla pystyy mittaamaan lämpötilan, ilmanpaineen, kosteuden ym. tarpeelliset arvot. Hinta n. 2300 €. Tiiveysmittaajan työkalusalkun hinta on yhteensä noin 12000 €.

9.1.2 Tiiveysmittaukseen vaadittava koulutus

Rakennuksen tiiveyden mittaajalla tulee olla VTT:n hyväksymä tiiveydenmittaajan henkilösertifikaatti. Henkilösertifiointikoulutus on tarkoitettu rakennusalan henkilöille ammatillisen pätevyyden osoittamiseksi sekä lisä- ja täydennyskoulutukseksi rakennusten tiiveydenmittaamisesta ja tiiviistä rakentamisesta. Rakennusten tiiveydenmittaaja- henkilösertifiointin tavoitteena on varmistaa rakennuksen vaipan tiiveydenmittaajan pätevyys.

Tiiveydenmittaamisella tarkoitetaan rakennuksen vaipan ilmapuotoluvun mittaamista ja ilmapuotopaikkojen paikantamista käyttäen apuna lämpökameraa ja muita mittalaitteita.

9.1.3 Koulutukseen osallistuvan perusosaaminen

Henkilösertifioidulta rakennusten tiiveydenmittaajalta edellytetään rakenteiden, niiden toiminnan sekä rakennusmateriaalien hyvää tuntemusta. Rakennusten tiiveyden mittaajan henkilösertifiointikoulutukseen pyrkivän on hallittava lämpökameran käyttö rakennusten lämpökuvauksessa.

Suositusvaatimuksena on aikaisempi perehtyneisyys lämpökuvatekniikkaan, joko suoritettuna kansainvälinen LEVEL 1- tason koulutus tai muu aikaisempi koulutus tai työkokemus, tai rakennusten lämpökuvajaan henkilösertifikaatti.

9.1.4 Koulutuksen sisältö ja rakennusten ilmatiiveyden mittaajalle asetut osaamisvaatimukset

Henkilösertifioitu tiiveyden mittaaja

- tuntee rakennusfysiikkaan liittyvät lämpö-kosteus- ja virtaustekniikan perusteet ja osaa soveltaa niitä rakennusten, rakenteiden ja materiaalien lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa arvioitaessa sekä todentaa luotettavasti rakenteiden lämpöjakauman.
- osaa lukea ja tulkita rakennuspiirustuksia ja -selostuksia
- tuntee rakennushistoriaamme sekä aikaisemmin käytettyjä rakenneratkaisuja ja niiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa
- osaa asumisterveyteen liittyvän lainsäädännön sekä rakennustekniset määräykset ja ohjeet koskien rakennusten tiiveyttä, lämpötaloutta, sisäilmaa ja ilmanvaihtoa.
- tietää ja ymmärtää eri aikakausina käytettyjen rakenneratkaisujen taustat ja osaa soveltaa niitä eri aikakausina voimassaoleviin rakentamismääräyksiin.
- hallitsee tiiveysmittauslaitteiden ominaisuudet ja mittausepävarmuudet sekä rakennuksen ilmatilavuuden mittaamenetelmät.
- tuntee sopimusasiakirjat ja raportoinnin pääsisällön

- osaa soveltaa sopimusasiakirjoja käytännön tarpeisiin
- tiedottaa tutkimuskohteeseen tiiveysmittaukseen tarvittavista tilaajan toimenpiteistä
- käsittelee analogisesti ja tulkitsee oheismittaus- ja tiiveysmittaustuloksia
- laatii tiiveysmittauksesta mittauspöytäkirjan sekä tiedottaa ja raportoi havaintojaan

9.1.5 Koulutuksen nykyhintaa

Koulutus kestää nykyisin 6 päivää ja hinta nykyisin (vuonna 2012) on 1850 €. Jos suorittaa sekä tiiveyden mittaajan ja lämpökamerakuvaajan sertifiointin yhtä aikaa koulutus tulee hieman halvemmaksi, koska fysiikan osio on molemmissa tenteissä sama. Pelkkä ilmatiiveyden mittaus osio yhtä aikaa suoritettuna lämpökamerakuvaajan sertifiointin kanssa maksaa nykyisin 1150 €. (Rateko: Rakennuksen tiiveyden mittaja- henkilösertifiointi koulutus).

9.2 LÄMPÖKAMERAKUVAUKSESSA TARVITTAVAT MITTALAITTEET JA APUVÄLINEET

Rakennusten lämpökuvauksessa käytettävän lämpökameran tulee olla mittaava, tasapainotettu ja kuvantava mittalaite. Mittaavalla kameralla voidaan mitata suoraan pintalämpötiloja. Lämpökamerassa tulee olla myös kuvien tallennusmahdollisuus raportointia, tulosten jälkikäsittelyä ja analysointia varten. Lämpökameraa, jossa ei ole lämpökuvien jälkikäsittely- ja analysointiominaisuutta tai aluemittaustyökalua, voidaan käyttää ainoastaan rakennustyön aikaiseen laadunvalvontaan.

Lämpökuvausten tekijällä tulee lämpökuvauskaluston lisäksi olla käytettävissä elektroninen lämpömittari huone- ja ulkoilman lämpötilan nopeaan mittaamiseen. Lisäksi mukana tulisi olla seuraavat mittalaitteet:

- pintalämpötilamittari tai vaihdettava pintalämpötila-anturi matalien pintalämpötilojen todentamiseen
- suhteellisen kosteuden mittari
- paine-eromittari painesuhteiden mittaamiseen

- savuampulleja tai savukone ilmavuotojen paikallistamiseen
- riittävän tarkka ilmanvirtausmittari ilmamäärien ja ilman virtausnopeuden mittaamiseen
- kamera tai digitaalinen kamera, ellei se kuulu lämpökuvaukseen. Nykyisin digitaalinen kamera on lähes kaikissa lämpökameroissa lisävarusteena.

Varsinaiset vetomittaukset tulisi tehdä niihin soveltuvalla suunnasta riippumattomalla tarkkuustermoaanemometrillä. Ilmanvaihtolaitteiden ilmamäärämittauksiin käytettävät termoaanemetrit eivät sovellu varsinaisiin vetomittauksiin.

9.2.1 Lämpökuvauksiin tarvittavien mittalaitteiden nyky hinnat

Tallentava lämpökamera hinnat alkaen n. 5000 €. Lämpökamerassa on oltava raportointimahdollisuus. Mielestämme mittaajan kannattaa hankkia ns. monitoimimittari, jolla pystyy mittaamaan lämpötilan, ilmanpaineen, kosteuden ym. tarpeelliset arvot. Hinta noin 2300 €. Mittarisalkun hinta on noin 7500 €.

9.2.2 Lämpökamerakuvausksiin tarvittava koulutus ja hinta

Lämpökamerakuvaus onnistumisen tärkein edellytys on kokenut, ammattitaitoinen kuvaaja. Hänen pitää arvioida kokonaisuutena kuvattavan kohteen lämpötekniikan toimivuus ja tulokseen vaikuttavat tekijät sekä määrittellä ne reunaehdot, jotka kuvattava rakennus ja sen ympäristö asettavat. Kaikkia asioita ja yksityiskohtia ei voida määrätä normeilla, vaan lopullinen vastuu kuvauksen onnistumisesta jää kuvaajalle. Oikea lopputulos edellyttää sekä kuvaajalta että kuvan tulkitsijalta vankkaa kokemusta sekä rakennusfysiikasta että kameran käytöstä ja sen sovellutusohjelmien tuntemisesta.

Lämpökuvaajan tulee tuntea hyvin laitteen käyttö ja toimintaperiaate, lämpökuvauksen perusteet sekä hallita rakennusfysiikkaa ja rakenteita. Olennaisin osa lämpökuvauksessa on kuitenkin tulosten tulkinta. Lämpökuvausten tulkinta perustuu seuraaviin säädöksiin: ympäristöministeriön rakennusmääräyskokoelman osiin C3, C4, D2, D3, jotka antavat rakenteille toiminnalliset vaatimukset, sekä sosiaali- ja terve-

ysministeriön Asumisterveysopas, joka määrittelee pintalämpötilojen ohjeelliset arvot. Lisäksi voidaan käyttää Rakennustietosäätiön (RT) LVI- ohjekorttia LVI 05-10417, jossa määritetään sisäilman suunnitteluperusteet.

Suomessa on järjestetty vuodesta 1999 lähtien kiinteistön lämpökuvaajille täydennuskoulutusta. Kurssi on ollut neljän päivän intensiivikurssi, jonka tavoitteena on ollut antaa valmiudet rakennusten lämpökuvaukseen. Vuosien 1999- 2003 aikana kurssi on antanut yli 60 alan ammattilaiselle valmiudet toimia kiinteistön lämpökuvaajina.

Vuodesta 2004 alkaen on järjestetty kiinteistökurssin pohjalta henkilösertifiointiin tähtäävää rakennuksen lämpökuvaajien koulutusta. Sertifiointiin myöntää VTT. Sertifiointin tavoitteena on varmistaa niiden henkilöiden osaaminen, jotka myyvät suoraan tai välillisesti lämpökuvauspalveluita rakennusallalla. Se takaa, että lämpökuvauspalveluja antavat sertifiointiin suorittaneet henkilöt osaavat suorittaa lämpökuvauksen oikein ja myös tulkita tuloksia. Henkilösertifikaatin voimassaoloajan voi selvittää VTT:n kotisivuilta osoitteessa (<http://www.vttexpertservices.fi/certifications/>)

Kansainvälinen lämpökuvauskoulutus Level 1 vastaa ASNT:n (The American Society for Non-Destructive Testing) suosituksia vaatavuustasosta. Se antaa perustiedot ja – taidot lämpöfysiikasta, lämpösäteilystä, lämpökameroista ja raportointiohjelmistoista. Level 1 kurssin hinta on 1510 €. (vuonna 2012). Lisätietoja saa osoitteesta (<http://www.infradex.com/level1.html>)

VTT:n sertifikaattiin vaadittava koulutus kestää 6 päivää ja hinta on nykyään (v.2012) 1850 €.

9.3 BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUDENMITTAAMISEEN TARVITTAVAT LAITTEET

9.3.1 Betonirakenteiden kosteudenmittaamiseen tarvittavien laitteiden nykyhinnat

Mittalaite 1100 € ja mittapäät 600 € kpl, mutta on huomioitava, jos haluaa tehdä betonin kosteusmittauksia työksensä, mittapäitä on oltava useita. Työkalusalkun hinta nousee helposti lähemmäs 5000 €. Mittaajan kannattaa hankkia myös pintakosteudenosoitin hinta noin 200 €. Sillä voi tehdä suuntaa antavia mittauksia.



Kuva 13. Betoninkosteudenmittauslaite Vaisala HM141



Kuva 14. Pintakosteudenosoitin Trotec 650T

9.3.2 Betonirakenteiden kosteudenmittaamiseen vaadittava koulutus ja hinta

Rakennustyömaan kosteudenhallinnan tavoitteena on estää kosteusvaurioiden synty, varmistaa, että rakenteet kuivuvat tavoitekosteustilaansa ilman aikatauluviivytyksiä ja vähentää rakenteiden kuivatustarvetta ja materiaalihukkaa.

Kosteudenhallintaan liittyviä mittauksia ovat sisäilman lämpötila- ja kosteusmittaukset. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla kosteuden hallinnalla voidaan pienentää rakennuskustannuksia.

Kosteusvauriotapauksissa kosteudenmittaaja selvittää rakenteen liiallisen kosteuden syyt: onko kyseessä vesivuoto vai onko rakenteen kosteustekninen toiminta puutteellista. Kosteuden mittaaja määrittää kastuneiden alueiden laajuuden ja tekee esityksen

vaadittavista jatkotoimenpiteistä rakenteiden kuivaamiseksi ja toimivuuden korjaamiseksi.

Henkilösertifiointia voivat hakea VTT:ltä voivat hakea koulutuksen suorittaneet henkilöt, joilla on rakennustekninen peruskoulutus tai vastaavat perustiedot sekä rakenteiden ja rakennusmateriaalien riittävä tuntemus.

Betonirakenteiden kosteuden mittaaja henkilösertifiointi- koulutus antaa käytännön pätevyyden arvioida mittaustulosten avulla rakennuksen lämpö- ja kosteusteknisiä olosuhteita sekä niiden merkitystä rakennuksen ja rakenteiden ja toimivuuden kannalta. Koulutuksen kesto on yleensä 5 päivää. Koulutuksen hinta (vuonna 2012) on 1600 €. (Rateko: Rakenteiden kosteuden mittaaja- henkilösertifiointikoulutus).

9.4 PUUN KOSTEUDEN MITTAAMINEN

9.4.1 Mittaaminen piikkimittarilla

Mittaus tapahtuu piikkielektrodien avulla. Piikit painetaan puuhun kiinni ja asteikolta pystytään lukemaan kosteusprosentti. Lisävarusteena mittariin voi liittää pitkät puikot, joilla voidaan mitata kosteutta esimerkiksi eristetiloista.

Mittausalue puulle yleensä alkaa 6 % painoprosentista ja menee yli puun kyllästymispisteen, jopa 28 %. Kirkas ja selkeä värillinen LED-näyttöasteikko ilmaisee mittaustuloksen. Kosteuden määrä ilmaistaan asteikon vierellä numeroina 6 . 90 % RH.

On myös olemassa yhdistelmämittareita joissa sekä yhdistelmä toiminto että mittaus- toiminto, ja on tarkoitettu erityisesti rakennusten kosteusongelmien tutkimiseen.

Etsintätoiminto tunnistaa kosteuden pintojen alta käyttäen radiotaajuutta. Tämä toiminto sopii monille materiaaleille. Ja se on hyödyllinen silloin, kun mitattavaa pintaa ei haluta tai ei voida lävistää piikkiantureilla (pinnat säilyvät ehjinä). Mittaustulokset kertovat pinnan alapuolisesta kosteudesta.

Mittaustoiminto ilmoittaa kosteuspitoisuuden käyttämällä piikki- tai syvämittausantureita.



Kuva 15. Protimeter Mini

9.5 TYÖHYGIEENISIIN MITTAUKSIIN TARVITTAVAT LAITTEET JA HINNAT

Suomessa melunmittauskoulutusta järjestää mm. Työterveyslaitos sekä mittalaitteiden myyjät. Työhygieenisiin mittauksiin ei ole ainakaan vielä määritelty mitään koulutusvaatimusta. Työhygieenisten mittausten perusteet käsitteleviä kursseja järjestää ainakin Työterveyslaitos. Koulutukseen osallistuva hankkii valmiudet kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden mittausten suunnitteluun, mittaamiseen ja tulosten arviointiin työpaikalla. Kurssilla opitaan myös mittaustarpeen arviointia osana riskinarviointia ja työpaikan turvallisuustoimintaa.

Koulutuksessa käsitellään mittausten suunnittelua, ilman epäpuhtauksien (kaasut, höyryt, pölyt) mittaamista suoraan osoittavilla ja keräävillä menetelmillä sekä melun, värinän, lämpöolojen ja valaistuksen mittaamista suoraan osoittavilla mittalaitteilla. Samalla tutustutaan uusimpiin suoraan osoittaviin kenttämittausmenetelmiin. Kurssilla ohjataan mittalaitteiden oikeaan käyttöön ja turvalliseen työskentelyyn kentällä. Kurssilla harjoitellaan myös käytännön mittaamista, tulosten arviointia ja raportointia työpaikkakäynneillä. Koulutus kestää 3 päivää ja hinta (vuonna 2012) on 600 €.

9.5.1 Työhygieenisiin mittauksiin vaadittava koulutus ja hinta

Työhygieenisiä mittauksia suunniteltaessa perusasia on ongelmaan tutustuminen ja mittaustarpeen ja –menetelmän selvittäminen. Mittauksia tekevän henkilön tulee tuntea mitattava häiritsevä sekä mittausmenetelmät riittävän laajasti.

Melun mittaajalle asetettavat vaatimukset:

Mittaajalla tulee olla käytettävissään tehtävään sopiva, riittävän laadukas ja kalibroitu mittalaite, jonka käyttöön hän on riittävästi perehtynyt. Hänen tulee hallita perustiedot ainakin seuraavista asioista:

- ääni ja melu fyysisenä ilmiönä
- suuret ja yksilöt, desibelien laskennan perusteet
- melun vaikutukset ihmiseen
- mitattavaa melua koskevat säädökset, ohjeet, raja-arvot
- mitattavan suureen oikea valinta (esim. A-äänitaso, L_{Aeq} , fast- aikavakiolla mitattu suurin arvo) kussakin tilanteessa
- mittauksen ajankohdan ja mittausjakson pituuden valinta
- melun mittaustekniikka
- mittarin käytön tekninen osaaminen (esim. käyttökytkimet, asetukset, valikot, pariston kunto)
- mittarin kalibroinnin merkitys
- mittarin suorituskyvyn aiheuttamat rajoitukset (esim. mittarin mittaustulos voi olla 40- 100 dB, jolloin ei voida mitata alle 40 dB: n ja yli 100 dB: n meluja; mittarin käyttö alhaisissa lämpötiloissa tai kosteassa ympäristössä)
- taajuussuotimien (A, C, lin eli Z) oikean valinnan merkitys
- aikavakioiden (fast, slow, peak ym.) valinta ja vaikutus mittaustuloksiin
- mittaustilan oikea valinta
- melumittauksen virhelähteet (mm. taustamelu, tuuli, lämpötila, etäisyys äänilähteestä)
- mittaustuloksen arviointi

- mittauspöytäkirjaan kirjattavat tiedot
- tulosten vertaaminen ohjearvoihin
- tulosten raportointi tarkoituksen edellyttämässä laajuudessa, tarvittaessa virhetarkastelu

Mittauspöytäkirjaan tulisi kirjata ainakin seuraavat tiedot:

- mittaaja
- tiedot melulähteestä
- mittarin tyyppi ja sarjanumero, tiedot mikrofonista
- mittarin tarkistus (kalibrointi, pariston tarkistus)
- mittauspaikan kuvaus (huonetila, ulkona maaperän laatu, esteet, lumipeite ym.)
- mikrofonin paikka (korkeus maasta tai lattiasta; meluannosmittarin mikrofonin sijoitus)
- mittauksen ajankohta ja kestoaika
- käytetty taajuussuodatin, aikavakio
- mittauks tulokset ja muut havainnot (esim. melun kapeakaistaisuus tai impulsiivisuus, taustamelun voimakkuus)
- ympäristöolosuhteet, säätiedot

9.5.2 Melumittarit

Halvimmat melumittarit maksavat nykyään jopa alle 200 €. Näissä mittareissa on yleensä A ja C- painotukset, ei kuitenkaan LAeq, Cpeak. Meluannosmittarit maksavat nykyisin noin 1500- 2000 €, näillä voi mitata mm. LAeq ja Cpeak. Hyvänä puoleena näissä mittareissa on se, että niitä pystyy käyttämään myös melumittarina. Kalleimmat melumittarit maksavat 3000 € tai enemmän, mutta niillä pystytään mittaamaan myös LAeq ja Cpeak spektri. Melukalibraattorin hinnat ovat 500 € ja siitä ylöspäin.

Työpaikkamelua mitattaessa mittarin tarkkuusluokka pitää olla vähintään 2 (IEC 61672), A ja C- painotukset, FAST, SLOW ja Peak- aikavakiot, LAeq ja kalibraattori.

9.5.3 Meluannosmittarit

Meluannosmittarit ovat keveitä, käyttäjän vyöhön kiinnitettäviä tai työvaatteen taskuun laitettavia laitteita, joilla mitataan käyttäjän työssään päivän aikana kokemaa meluallistusta. Laitteesta lähtee noin metrin mittainen kaapeli, jonka päässä oleva mikrofoni kiinnitetään klipsillä normaalisti lähelle korvaa esim. takin tai haalarin kaulukseen. Joissakin pienissä malleissa on kiinteä mikrofoni, jolloin mittari kiinnitetään esim. kaulukseen. Mittauksen pituus on normaalisti 6 – 8 tuntia, joka on riittävän pitkä, jotta meluallistuksesta saadaan tarpeeksi kattava kuva.

Meluannosmittari valmistajia on useita. Useimmat mittarit tuottavat kattavat raportit mukana tulevanohjelmiston avulla. Hinta on noin 500- 2000 € mallista ja suorituskyvystä riippuen.

9.5.4 Valaistusmittarit ja niiden hinnat

Valaistusvoimakkuusmittari on tarkoitettu huone- ja työtilojen valaistuksen voimakkuuden mittaamiseen. Mittauspiste tulee valita siten, että se edustaa hyvin mittauspistettä. Valaistusvoimakkuus kannattaa mitata esim. huonetilan keskeltä ja tämän lisäksi seinien vierustoilta kolmesta mittapistestä ja sen jälkeen laskea keskiarvo mittaustuloksista. Valaistusmittareiden hinnat alkavat 50 € ylöspäin. Tässä tietysti pitää muistaa, että kaikin halvin mittari ei kerro koko totuutta.

9.5.5 Tärinämittarit ja niiden hinta

Tärinän mittaustilteisto koostuu yleisimmin mittaustilteeseen kiinnitettävästä tärinäanturista ja siihen kaapelilla liitetystä mittalaitteesta. Uusimmat tärinämittarit ovat pieniä laitteita, joihin mittaustulokset tallentuvat automaattisesti, tai ne siirretään langattomasti lähellä olevaan tallentimeen. Esimerkki tällaisesta on niin kutsuttu tärinämittauksine, jossa käsineen sisälle on sijoitettu tärinäanturi.

Tärinäannosmittarit 2000- 6000 €.

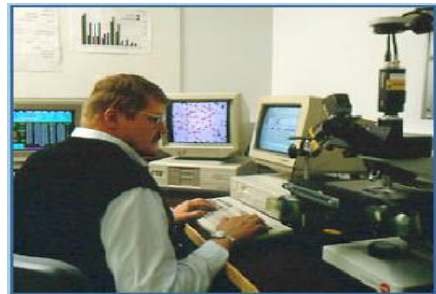
Tärinämittarit 5000- 15000 €.

9.6 RADONIN MITTAAMISEEN TARVITTAVAT LAITTEET JA HINNAT

Radonin mittaamiseen voi tilata mittapurkin STUK: lta. Hinta on nykyisin n. 43 €. Mittaamiseen on myös olemassa jatkuvatoimisia mittareita, mutta hinta on noin 10000 €, joten mittajaalla pitää olla töitä tiedossa, jos tällaisen mittarin ostaa. Markkinoille on myös tullut halpoja radonmonitoreja, hinta 250 €, mutta tarkkuudesta ei ole vielä oikein näyttöä.



Kuva 16. Radonmittauspurkki



Kuva 17. Purkin analysointi käynnissä



Kuva 18. Alphaguard radon monitori

Taulukko 8.STUK: in hyväksymät radonmittausmenetelmät radonpitoisuuden mittaamiseen. Hyväksytyt mittalaitteet, joilla kalibrointi on voimassa.
[http://www.stuk.fi/proinfo/valvonta/luonnonsateily/radon tyopaikoilla/fi FI/radonin mittaminen/](http://www.stuk.fi/proinfo/valvonta/luonnonsateily/radon_tyopaikoilla/fi/FI/radonin_mittaminen/)

Organisaatio	Laitetyyppi	Kalibrointi voimassa	Mittaustapa	Hyväksyntä
<u>Tampereen ammattikorkeakoulu, Fysiikan laboratorio</u>	ALPHAGUARD PQ2000	4.10.2012	Jatkuvatoiminen	Työpaikat
<u>Lahden kaupunki, terveydensuojelu</u>	PYLON AB-5	8.10.2012	Jatkuvatoiminen	Työpaikat
<u>Landauer Nordic</u>	Radonmittauspurkki	3.11.2012	Integroiva	Asunnot ja työpaikat

Lähdeluettelo

- Ahonen Ilpo, Pääkkönen Rauno ja Rantanen Salme: Työhygieeniset mittaukset. Työterveyslaitos, Helsinki 2007.
- Asumisterveysopas (2009).(ISBN 978-952-9637-38-6).
- Infradex Oy: <http://www.infradex.com/level1.html>
- Matti Kokko Oy:<http://www.mattikokko.fi/kosteusmittari.html>
- MIP Sales: (<http://www.mip.fi/cms/fi/mittalaitteet/vaeraehtely>
- Rakennusten sisäilman suunnitteluperusteet (2007) (LVI 05-10417)
- Rateko: Rakennusten lämpökuvaaja- henkilösertifiointikoulutus (2012).
<http://www.rateko.fi/RATEKO/Koulutusohjelmat/Henkil%C3%B6sertifiointi-+ja+p%C3%A4tev%C3%B6itymiskoulutukset/>
- Rateko: Rakennusten tiiveyden mittaaja- henkilösertifiointikoulutus (2012).
<http://www.rateko.fi/RATEKO/Koulutusohjelmat/Henkil%C3%B6sertifiointi-+ja+p%C3%A4tev%C3%B6itymiskoulutukset/>

9. Rateko: Rakenteiden kosteuden mittaaja sertifiointikoulutus (2012).
<http://www.rateko.fi/RATEKO/Koulutusohjelmat/Henkil%C3%B6sertifiointi-+ja+p%C3%A4tev%C3%B6itymiskoulutukset/>
10. RATU 1213-S. Rakennuksen lämpökuvaus: (kesäkuu 2005)
11. RT- kortti 14- 10850. Rakennuksen lämpökuvaus: (elokuu 2005).
12. RT- kortti 80- 10974. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje: (lokakuu 2009).
13. Sauli Paloniitty, Timo Kauppinen: Rakennusten lämpökuvaus 2011 (ISBN 978-952-5472-44-8).
14. Sosiaali- ja terveysministeriön päätös asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista 21.10.1992/944.
15. Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 (2010) Rakennuksen lämmöneristys määräykset.
16. Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 (2003) Lämmöneristys, ohjeet
- 17 Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 (2012) Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.
- 18.. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet.
19. Teknocalor Oy
<http://www.teknocalor.fi/fi/mittauslaitteet/tuotteet/ilmastointi/rakennusten-tiiveydentestauslaitteisto/blowerdoor-tiiveydentestauslaitteisto>
20. Työterveyslaitos: Työhygieenisten mittausten perusteet (2012).
<http://www.ttl.fi/fi/koulutus/koulutuskalenteri/sivut/default.aspx>
21. Vaisala Oy:
http://www.vaisala.fi/fi/press/news/2012/Pages/Page_20120314110407.aspx
22. Ved Systems Oy: [fi/mittauslaitteet/kosteus/t-650-kosteusmittari.html](http://www.vaisala.fi/fi/mittauslaitteet/kosteus/t-650-kosteusmittari.html)

10 Johtopäätöksiä

Nykyisin mittareita ja koulutuksia on tarjolla hyvin erilaisia. Mittaajaksi aikovan on syytä miettiä, mitä haluaa mitata ja minkä tasoilla laitteilla. Jos haluaa tehdä puolueettomia mittauksia, mittarit on syytä valita siten, että niissä on raportointimahdollisuus. Yleensä halvinta mittaria ei kannata ostaa, vaan tarkastella hinta-laatusuhdetta. Koulutusta on myös tarjolla monenhintaista ja – tasoista. Mittarivalmistajat ja maahantuojat järjestävät omia koulutuksiaan, näitä kannattaa hyödyntää.

Omakotitalo järven rannalla on useimpien suomalaisten unelma. Valitettavasti nykyisin unelman sijaan saa usein homeisen talon, jonka korjaaminen on kallista, joskus jopa mahdotonta. Myyjä ja ostaja riitelevät vuosikausia siitä, kuka maksaa? Tilanteessa ainoita voittajia ovat juristit. Ostajaperhe, yleensä lapsiperhe, joutuu erittäin hankalaan tilanteeseen, koska taloon on jouduttu sijoittamaan paljon. Homevaurioiden paljastuessa ei ole rahaa korjauksiin, ja jos pankki kuulee hometalosta, se vaatii lisää vakuuksia, joten korjaaminen on lähes mahdotonta taloudellisesti. Joudutaan muuttamaan vuokralle, vuosien painajainen on valmis.

Ostajien kannattaisi miettiä, mitä ostaa. Mielestämme on käsittämätöntä, että suomalaiset tekevät elämänsä kalleimman hankinnan hetken mielihohteesta. Vanha mummonmökki, missä on ihana pihamaa ja muutama omenapuu, voi riittää ostopäätöksen tekoon, itse taloa ei usein tutkita lainkaan.

Toisaalta myös erilaiset asumistottumukset vaikuttavat asunnon vaurioitumiseen. Vanha rintamiestalo toimii hyvin, niin kauan kuin vanhempi pariskunta asuu siinä yleensä kahdestaan ja saunotaan pari kertaa viikossa. Sitten talo myydään lapsiperheelle ja syntyy ongelmia, pyykkiä pestään päivittäin ja suihkun käyttö lisääntyy. Kosteuskuorman lisääntyminen talossa on niin suurta, että rakenteet eivät sitä kestä ja ongelmat alkavat.

Ennen kiinteistön ostoa ostajan kannattaisi tutkituttaa kiinteistö koulutuksen saaneilla ammattilaisella, ennen ostopäätöksen tekoa. Näin välttyttäisiin monilta ongelmilta. Mutta nykyään mittaajille ei ole asetettu oikeastaan minkäänlaisia vaatimuksia, joten

kentällä on mittaajia joka lähtöön. Olosuhdemittaajien vaatimukset tulevat tulevaisuudessa kiristymään entisestään, toivottavasti asiakkaat ymmärtävät käyttää koulutuksen saaneita mittaajia. Hometalkoissa pyritään luomaan mm. kosteusvauriotutkijoille pätevyysluokitus kohteiden vaatimustason (B, A ja AA) mukaisesti ja portaittainen synkronoitu koulutusjärjestelmä eri koulutustahojen kanssa. Kuntotutkijatkin käyttävät mittalaitteita ja heidän pitää pätevoityä niiden käyttöön joko menetelmä koulutuksessa tai kuntotutkijan koulutuksessa.

Pelkästään mittaamalla ei home- ja kosteusongelmia korjata. Koko rakennusalan on tehtävä ryhtiliike nykytilanteen korjaamiseksi. Sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi ja monipuolisten kokonaisuuksien tarkasteluun tarvitaan ajantasaista ja ammattitaitoista mittaamista nyt ja tulevaisuudessa.



ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO
Koulutus- ja kehittämisspalvelu
Aducate

ISBN 978-952-61-0758-5