

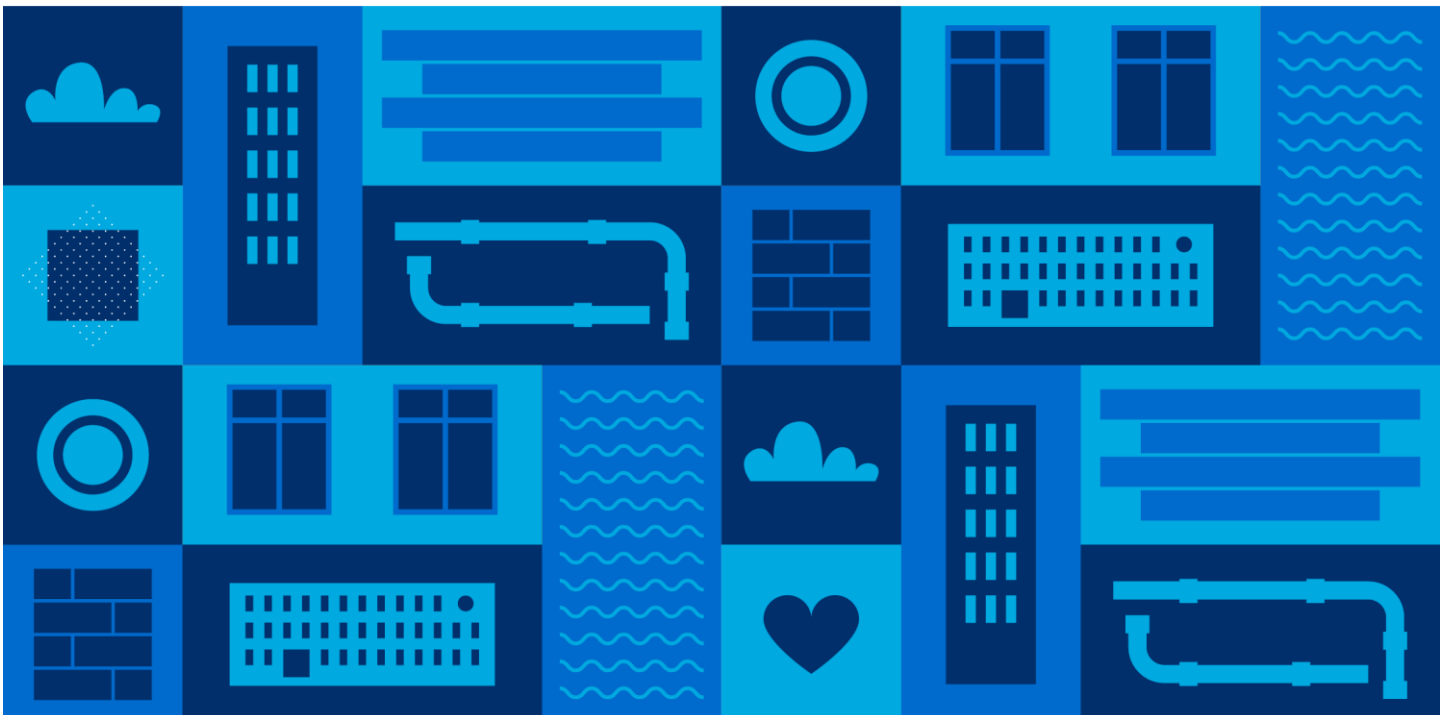


**TERVEET
TILAT** 2028

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille

Mittaukset

Rafnet 2020 -oppimateriaalin teoriaosan osio M (Mittaukset)



Terveet tilat 2028 -ohjelma
Ympäristöministeriö

Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille

Mittaukset

Rafnet 2020 -oppimateriaalin teoriaosan osio M (Mittaukset)

LAB-
ammattikorkeakoulu

Oulun
ammattikorkeakoulu

Lapin
ammattikorkeakoulu

Karelia
ammattikorkeakoulu

Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Savonia
ammattikorkeakoulu

Jyväskylän
ammattikorkeakoulu

Hämeen
ammattikorkeakoulu

ALKUSANAT

Tämä oppimateriaali on osa rakennusfysiikan oppimateriaali insinöörikoulutuksen tarpeisiin -hankkeen (RAFNET 2020) tuottamaa rakennusfysiikan oppimateriaalia, joka on suunnattu lähinnä ammattikorkeakoulujen rakennusinsinööriopiskelijoille ja jo alalla toimiville rakennusinsinööreille. Tavoitteena on antaa pohja rakenteiden rakennusfysikaaliseen suunnitteluun ja toimivaan rakenteiden toteutukseen. Oppimateriaalia voidaan käyttää soveltuvin osin myös rakennusmestari- ja rakennusarkkitehtikoulutuksen rakennusfysiikan opinnoissa.

RAFNET-oppimateriaali koostuu kirjallisesta teoriaosasta ja oheismateriaalista. Teoriaosa jakautuu viiteen osioon:

- V Virtaukset
- L Lämpö
- K Kosteus
- S Sisäilma
- M Mittaukset

Teoriaosan osioissa V, L ja K tarkastellaan rakennusfysiikan perusteorioita rakenteiden ja eri rakenneosien rakennusfysikaalisen toiminnan perusteita ja niihin liittyviä fysiikan perusilmiöitä lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun näkökulmasta. Apuna käytetään runsaasti kuvia ja laskentaesimerkkejä. Sisäilma-osiossa annetaan perustieto rakennuksen sisäilmaan vaikuttavista tekijöistä ja sisäilmaston laatukriteereistä. Mittausosiossa tarkastellaan lämpöön ja kosteuteen sekä ilmavirtauksiin liittyviä mittauksia. Oppimateriaalin sisältö ja vaatimustaso on suunniteltu vastaamaan vaativan luokan mukaista insinööripintojen rakennusfysiikan perusjakson vaatimuksia (5 op). Vaadittava kokonaislaajuus saavutetaan teoriaosaan ja siihen liittyvään oheismateriaaliin pohjautuvilla harjoitustehtävillä ja tätä oppimateriaalia täydentävillä oppimateriaaleilla, jotka käsittelevät rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa, rakennusten kosteudenhallintaa hankkeen eri vaiheissa sekä ääniteknikan perusteita. Rakennusfysiikan opintojen osana on käsiteltävä myös Ympäristöministeriön laatimat asetukset ja ohjeistukset, jotka liittyvät rakennusten energiatehokkuuteen, rakennusten kosteustekniseen toimivuuteen ja rakennusten ääniympäristöön.

RAFNET 2020 -materiaali on laadittu siten, että sitä voi käyttää myös verkkopohjaisten rakennusfysiikan kurssien ja opintojaksojen oppimateriaalina. Sitä voidaan soveltaa myös rakennusfysiikan täydennyskoulutuksessa. RAFNET-materiaali ei ole varsinainen suunnitteluohje eikä määräyskokoelma. Se pyrkii auttamaan opiskelijaa ymmärtämään rakennusfysiikkaa ja soveltamaan sitä rakennusfysikaalisessa suunnittelussa ja rakenteiden toteutuksessa hyödyntäen Suomessa käytössä olevia rakennusfysiikkaan liittyviä asetuksia ja ohjeita.

Tässä mittausosiossa tarkastellaan kosteuden ja lämmön perusmittausmenetelmiä ja mittauksiin liittyvää tulosten tulkintaa. Osion ovat kirjoittaneet Petteri Härkönen ja Matti Korhonen. Osion sisältöä ovat kommentoineet muut hankeosapuolet. Sisäilmaan laatuun liittyviä mittauksia on käsitelty sisäilmaosiossa.

RAFNET 2020 -materiaali on tuotettu yhteishankkeena usean eri ammattikorkeakoulun kanssa. Hankkeeseen ovat osallistuneet LAB-ammattikorkeakoulu, Savonia-ammattikorkeakoulu, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Karelia ammattikorkeakoulu, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Oulun ammattikorkeakoulu, Lapin ammattikorkeakoulu ja Hämeen ammattikorkeakoulu. Hankkeen rahoittajana hankeosallistujien lisäksi on toiminut Ympäristöministeriö. Hanke on osa Terveet tilat 2028 -ohjelmaa.

Tekijät

Sisällysluettelo

M.1	Johdanto	6
M.2.	Kosteuden mittaaminen	8
M.2.1	Rakenteiden pintakosteusmittaus	8
M.2.1.1	Mittausmenetelmä	8
M.2.1.2	Mittausten suoritus	9
M.2.1.3	Tulosten tulkinta	9
M.2.2	Puun kosteusmittaus	9
M.2.2.1	Mittausmenetelmä	10
M.2.2.2	Mittausten suoritus	10
M.2.2.3	Tulosten tulkinta	11
M.2.3	Sisäilman kosteuden mittaaminen.....	11
M.2.3.1	Mittausmenetelmä	12
M.2.3.2	Mittausten suoritus	12
M.2.3.3	Tulosten tulkinta	13
M.2.4	Betonin suhteellisen kosteuden mittaus	13
M.2.4.1	Mittausmenetelmä	14
M.2.4.2	Mittausten suoritus	18
M.2.4.3	Tulosten tulkinta	18
M.2.5	Betonirakenteiden kosteuden hallinta sekä kuivumisen arviointi.....	20
M.3	Lämpötilan mittaaminen	22
M.3.1	Lämpökuvaus.....	22
M.3.1.1	Mittausmenetelmä	23
M.3.1.2	Mittausten suoritus	26
M.3.1.3	Tulosten tulkinta	26
M.3.2	Lämpötilaindeksi	30
M.3.2.1	Kastepistelämpötila	30
M.3.3	Lämpökuvauksen yhteydessä tehtävät paine-eromittaukset.....	30
M.3.3.1	Mittausten suoritus (hetkellinen mittaus)	31
M.3.3.2	Tulosten tulkinta	31
	Lähteet.....	32

Rakennusfysikaalisia mittaus- ja tutkimusmenetelmiä

M.1 Johdanto

Tärkeinä osa-alueina rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan tutkimisessa ovat:

1. tarvittavien rakennusfysikaalisten suureiden mittaus,
 - mittausantureiden toimintaperiaatteet,
 - mittausmenetelmien soveltuvuusalueet, tarkkuudet ja epävarmuudet,
 - mittalaitteiden kalibroinnit.

Tässä luvussa käsitellään yleisimpiä ja käytetyimpiä rakennusfysikaalisia mittausmenetelmiä. Mittausmenetelmien periaatteet käsitellään yleisellä tasolla. Tämä tarkoittaa, että kunkin kaupallisen mittalaitteen erityisominaisuuksiin ja valmistajan laitemäärittelyihin on aina erikseen perehdyttävä mm. mittauksen tarkkuuden varmistamiseksi. Useilla kaupallisilla mittalaitteilla voidaan mitata useita suureita, kuten lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Myös näyttölaitteisiin voidaan kytkeä useampia mittapäitä. Mittalaitteet on tarkoitettu käytettäväksi osana ns. kenttätutkimusta, jolla tarkoitetaan tutkimuskohteessa paikan päällä tehtäviä yksittäisiä rakennusfysikaalisia mittauksia. Kohde voi olla olemassa oleva vanha rakennus tai mittaukset voivat olla osana laadunvarmistusta uudisrakennuskohteessa. Tyypillisimpiä mittauksia ovat olemassa olevan rakennuksen kosteuskartoitukset ja lämpövihtyvyyteen liittyvät lämpökuvaukset sekä uudisrakennuskohteen betonirakenteiden päällystettävyyteen liittyvät suhteellisen kosteuden mittaukset sekä rakennusvaipan ilmatiiviuden laadunvarmistukseen liittyvät lämpökuvaukset.

Rakenteista tehtävät kosteusmittaukset jaetaan rakenteiden pinnoista tai läheltä pintaa tehtäviin mittauksiin sekä rakenteiden sisältä tehtäviin mittauksiin. Rakenteiden sisältä eri syvyyksistä tehtäviin mittauksiin voidaan lukea rakenteesta irrotettavan kappaleen kosteusmittaukset. Näistä menetelmistä rakenteen sisältä tehtävät sekä näytepalojen kosteusmittaukset luokitellaan tarkoiksi mittausmenetelmiksi.

Pintakosteusilmaisemilla saatavat mittaukset eivät ole kosteuden absoluuttisia arvoja. Ilmaisinta voidaan käyttää varsinkin kivipohjaisissa materiaaleissa pitoisuuserojen havainnointiin. Pintamittaukset ovat suuntaa antavia eri pinnoista saatavia toisistaan poikkeavia lukemia, joiden perusteella voidaan arvioida tarkempien mittausten tarvetta.

Lämpötilamittaukset voidaan jakaa rakenteiden pinnoista sekä rakenteiden sisältä tehtäviin mittauksiin. Rakenteiden sisältä tehtävät mittaukset vaativat reiän porausta rakenteisiin tai rakenteen avausta. Mittapää sijoitetaan reikään siihen syvyyteen, josta mittaus halutaan tehdä. Tavallista on, että samalla rakenteesta suoritetaan myös kosteusmittauksia. Samassa mittapäässä on tällöin lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden mittausanturi. Rakenteiden pinnoilta tehtäviä lämpötilamittauksia voidaan tehdä pintalämpötilamittareilla, pintalämpötila-antureilla tai lämpökameralla.

Rakennusfysikaalisten mittalaitteiden toimintakuntoisuuden jatkuva seuraaminen on tulosten luotettavuuden kannalta tärkeää. Mittalaitteiden toimivuuden tarkistamiseksi on ne kalibroitava siihen erikoistuneessa laboratorioissa vähintään kerran vuodessa tai laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti.

Kalibroinnissa mittalaitteen näyttämää verrataan tunnettuun vertailuarvoon. Kalibroinnissa mittalaite säädetään näyttämään mahdollisimman tarkasti oikein ja toimenpiteestä laaditaan kirjallinen kalibrointitodistus.

Mittalaitteiden antureiden tarkkuus on aina laitekohtainen. Esimerkiksi suhteellisen kosteuden mittauslaitteissa mitta-antureiden tarkkuus tunnettuun vertailuarvoon nähden voi olla parhaimmillaan ± 1 % suhteellista kosteutta. Yleensä rakennekosteusmittauksissa käytettävien mittalaitteiden tarkkuus on suuruusluokkaa $\pm 2...3$ RH-yksikköä. On otettava huomioon, että mittauksen tarkkuus on lähes aina edellä esitettyä huonompi erinäisistä mittaustapahtumaan vaikuttavista tekijöistä johtuen.

Lämpökamerakuvauksissa tyypillinen mittausepävarmuus on ± 2 °C.

M.2. Kosteuden mittaaminen

M.2.1 Rakenteiden pintakosteusmittaus

Materiaalien kosteuspitoisuutta voidaan mitata suuntaa antavasti pintakosteusmittarin avulla. Pintakosteusmittarilla ei saada selville rakenteen tarkkaa kosteuspitoisuutta tai suhteellista kosteutta. Mittalaitteiden antamat lukemat ovat yleensä yksiköttömiä, jolloin mittajaan kokemus mittalaitteen käytöstä ja tulosten tulkinnasta korostuu. Laitteilla voi nopeasti kartoittaa laajojakin alueita ja arvioida pintojen kosteusvaihteluita. Pintakosteusmittareita voi hyödyntää tarkempien mittauskohtien paikallistamisessa.

M.2.1.1 Mittausmenetelmä

Pintakosteusmittareiden mittapäitä on pääasiassa kahta tyyppiä:

- Liuska-anturipää, joka koostuu kolmesta taipuisasta metalliliuskasta
- Kuulamainen mittapä



Kuva M.2.1. Testo 616 pintakosteusmittalaite



Kuva M.2.2. Gann Hydromette UNI 1 - B50

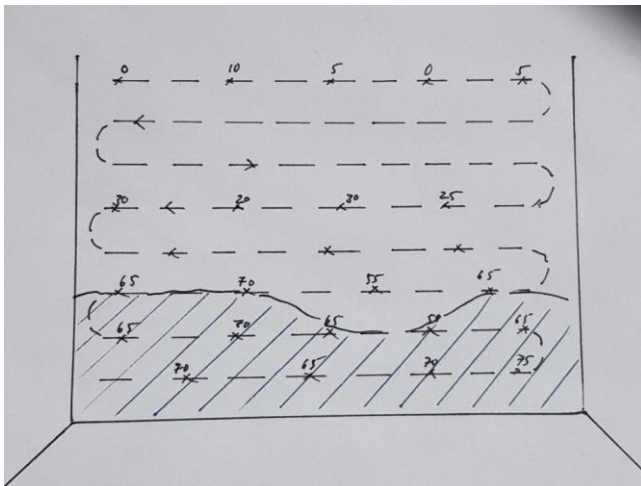
Kosteuspitoisuuden määrittäminen materiaalin pinnasta perustuu materiaalissa olevan veden aiheuttamaan aineen dielektrisyysvakioiden muutokseen. Dielektrisyysvakio kasvaa kosteuden lisääntyessä. Mittaussyvyys on yleensä muutamia senttimetrejä. Mittaustuloksia voivat häiritä rakenteessa olevat sähköä johtavat materiaalit (esim. teräsraangat ja sähköjohdot).

M.2.1.2 Mittausten suoritus

Mittaus suoritetaan laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Mittauksen suorituksesta löytyy video: Youtube: Testo 616 (Moisture Meter) Pintakosteusmittari ja pintakosteusmittaus, 1:39, kieli: englanti, <https://www.youtube.com/watch?v=oqj7aex7MN8>

M.2.1.3 Tulosten tulkinta

Oleennaista pintakosteusmittauksissa on mittaustulosten oikea tulkinta. On tunnettava laitteen ominaisuudet ja epävarmuustekijät. Pintakosteusmittauksen tuloksena saadaan alustavaa tietoa kosteustason vaihteluista ja se toimiikin parhaiten tarkempien mittausten apuvälineenä. Kuvassa m.2.3 on esitetty pintakosteusmittarin käyttöesimerkkinä seinän kapillaarisen veden nousukorkeuden tutkimista.



Kuva M.2.3. Pintakosteusmittalaitteen mittaustulosten perusteella arvioitu kapillaarista vedennousua seinässä.

M.2.2 Puun kosteusmittaus

Puupohjaisten ja niiden verrattavista olevista hygroskooppisten materiaalien pinnasta tai läheltä pintaa (esim. rakennuslevyt) voidaan mitata materiaalin kosteuspitoisuutta ns. piikkikosteusmittarilla (Kuva M.2.4). Mikäli materiaalista halutaan määrittää luotettavasti todellinen kosteuspitoisuus, voidaan käyttää punnituskuivatusmenetelmää. Menetelmässä materiaalinäyte punnitaan märkänä ja kuivana. Näyte kuivataan uunissa (+105 °C) ja kosteuspitoisuus saadaan kostean ja kuivan näytteen erotuksen suhteena kuivan näytteen massa.



Kuva M.2.4. Piikkikosteusmittalaite Wood Moisture Meter FMD 6

Materiaalin kosteuspitoisuus voidaan ilmoittaa mm. vesimääränä materiaalin kuivatilavuutta kohti w [kg/m^3], painoprosentteina u [paino-%] materiaalin kuivapainoa kohti vrt. punnitus-kuivatusmenetelmä.

M.2.2.1 Mittausmenetelmä

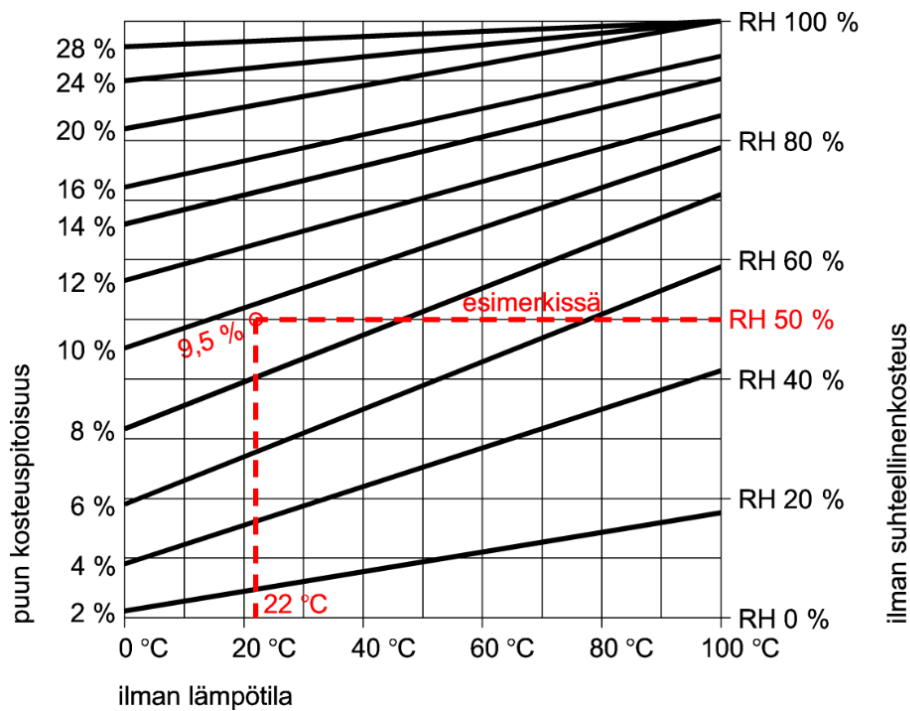
Piikkimittarin mittakärjet upotetaan materiaaliin, josta mitataan kärkien välistä vastusta ja tulos muutetaan materiaali- ja -olosuhderiippuvilla kertoimilla vastaamaan kosteuspitoisuutta. Mittausepävarmuus on $\pm 2-5\%$, mikäli materiaali tunnetaan ja mittalaitteessa on tehdasasetukset kyseiselle materiaalille. Mittaustulokset ovat luotettavia vain kosteusalueella, jossa sähkönjohtavuus muuttuu oleellisesti. Puulla tämä tarkoittaa 5–27 %:n välistä kosteuspitoisuutta. Kuivassa tai hyvin kosteassa materiaalissa mittausepävarmuus kasvaa moninkertaiseksi. Tällöin punnitus-kuivatusmenetelmä on luotettavin kosteuden mittausmenetelmä.

M.2.2.2 Mittausten suoritus

Mittaus suoritetaan laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Mittauksen suorituksesta löytyy video: Youtube: Fmd-6 + Hammer probe moisture meter / Kosteusmittaus lyötävällä piikkimittarilla, 3:24, kieli: englanti, <https://www.youtube.com/watch?v=rs6eP-paArIY>

M.2.2.3 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkintaan vaikuttavat erityisesti materiaalin kosteudensietokyky ja kosteuspitoisuuden kriittinen arvo, jonka jälkeen voidaan materiaalille tyypillinen ominaisuus menettää. Esimerkkeinä puun vaurioitumisesta voi olla lujuuden aleneminen, puun homehtuminen, puun lahoaminen. Normaalikäytössä puun kosteus vaihtelee 8-25 painoprosentin välillä ympäröivän ilman kosteuden mukaan. Puu alkaa vaurioitua, jos sen kosteus pysyy pitkiä aikoja yli 20 %:ssa. Puun kosteuspitoisuutta voi arvioida ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden perusteella kuvan M.2.5 avulla.



Kuva M.2.5. Puutavaran kosteuspitoisuuden riippuvuus lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta (Puu materiaalina, Puuinfo).

M.2.3 Sisäilman kosteuden mittaaminen

”Huoneilman kosteus ei saa olla pitkäkestoisesti niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteissa, laitteissa taikka niiden pinnoilla mikrobikasvun riskiä” (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, 545/2015/5§).

Sisäilman kosteuteen vaikuttaa ulkoilman kosteus, ilmanvaihdon suuruus sekä sisällä tuotettu kosteus. Talvella huoneilma on melko kuivaa (RH <40%). Kesällä huoneilman kosteus vaihtelee välillä RH 50-70% ulkoilman kosteuden mukaan (Sisäilman kosteus ja lämpötila, hengityслиitto).



Kuva M.2.6. Suhteellisen kosteuden lukulaite ja mittapäitä

M.2.3.1 Mittausmenetelmä

Ilman suhteellista kosteutta ϕ [% RH] mitataan yleisimmin käytössä olevilla kapasitiivisillä mitta-antureilla. Digitaaliset kosteusmittarit koostuvat mittapästä ja lukulaitteesta. Mittapäässä on myös yleensä lämpötilan mittausanturi. Kosteusmittarit eivät ole kovin stabiileja pidemmällä aikavälillä, joten niiden kalibroinnista on seurattava laitevalmistajan ohjeita. Ilman vesihöyrypitoisuus U [kg/m³] määritetään suhteellisen kosteuden ja lämpötilan tai kastepistelämpötilan mittauksen perusteella. Osa mittalaitteista antaa vesihöyrypitoisuuden laskennallisena suureena. Vesihöyrypitoisuus voidaan ilmoittaa myös vesihöyryn osapaineena p_v [Pa]. Parhaimmillaan suhteellisen kosteuden mittauserpävarmuus on $\pm 2\%$ (RIL 255-1-2014).

M.2.3.2 Mittausten suoritus

Mittaus suoritetaan laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Mittauksen suorituksesta löytyy video: Youtube: Vaisala HUMICAP + HM40 Kannettava kosteus- ja lämpötilamittari, 3:47, kieli: suomi, https://www.youtube.com/watch?v=RZGjs_Sfgng

M.2.3.3 Tulosten tulkinta

Asumisterveysasetuksessa ei säädetä tarkkoja suhteellisen kosteuden rajoja, joiden välillä sisäilman suhteellinen kosteus (RH %) voi vaihdella. Sopivana sisäilman kosteutena on pidetty RH 20-60%. Sisäilman kosteutta tuleekin arvioida suhteellisen kosteuden lisäksi myös kosteuslisänä. Kosteuslisällä tarkoitetaan sisätiloissa syntyvää lisäkosteutta (esimerkiksi hengitys, suihkussa käynti, ruoan laitto tai pyykin kuivaus) ulkoilmaan nähden. Mikäli kosteuslisä on enemmän kuin noin 3-4 g/m³, mikrobikasvun riski rakenteissa ja niiden pinnoilla nousee (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016, 2.1 Huoneilman kosteus 5§).

M.2.4 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus

Kovettunut betoni sisältää aina kosteutta. Kosteus on peräisin betonin valmistuksessa käytetystä vedestä, rakentamisaikana tulevasta sekä *huokoisen materiaalin* kyvystä ottaa ympäröivästä ilmasta vesihöyryä sitoutunutta vettä.

Betonin suhteellisella kosteudella (RH %) tarkoitetaan betonin *huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta*. Se ei kerro, kuinka paljon betonissa on kosteutta (kg/m³). Mikäli halutaan määrittää betonin kosteuspitoisuus painoprosentteina (P-%), voidaan määrittämiseen käyttää aiemmin mainittua kuivatus-punnitusmenetelmää (Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen). Eri materiaalien kosteuskäyttäytymistä on käsitelty myös Rafnet 2020-oppimateriaalin teoriaosan osiossa K (Kosteus) luvussa K.6.

Betonirakenteiden kosteusmittaukset ovat tarpeellisia ja välttämättömiä, koska esimerkiksi betoniset lattiarakenteet pinnoitetaan poikkeuksetta erilaisilla pinnoitteilla ja päällysteillä. Betoni yhdessä päällystemateriaalin kanssa voi muodostaa kosteusteknisesti hyvin haastavan yhdistelmän. Betonin sisältämä alkalinen kosteus voi aiheuttaa ongelmia päällystemateriaaleille. Myös betonin kuivumiskutistumat voivat aiheuttaa päällysteen irtoamisia.

Betonirakenteen riittävä kuivuminen ennen päällystämistä tai pinnoittamista on määritettävä mittaamalla betonirakenteen kosteus. Koska eri päällystemateriaaleille ilmoitetaan ns. kriittinen kosteus suhteellisena kosteutena (RH-%), tulee rakenteesta määrittää suhteellinen kosteus. Eri päällystemateriaaleille on laadittu betonin suhteellisen kosteuden maksimi raja-arvot, jotka tulee alittaa päällysteen asennushetkellä.

Mittaukseen liittyen tulee tuntea mittaukseen vaikuttavat epätarkkuustekijät, niiden suunta- ja suuruusluokkatiedot. Tällaisia tekijöitä on mm. mittapäättyppi, aika edelli-

sestä kalibroinnista, mittapään käytön määrä ja mittauskohteet, kalibroinnin ja tarkistuksen tarkkuus, mittausreiän tai -kuopan puhdistus, mittausreiän putkitus, mittausputken tai koeputken tiivistys, mittapään reiässäoloaika, odotusaika betonin työstämisestä tai poraamisesta, oikea mittausvyvyys, rakenteen lämpötilan poikkeamat normaalista sekä rakenteen ja yläpuolisen ilman välinen lämpötilaero. Näiden eri tekijöiden yhteenlaskettu mittausvirhe voi olla useita kymmeniä RH-yksiköitä ja yksittäisenkin tekijän vaikutus voi olla jopa ± 15 RH-yksikköä (RT14-10984, 2010).



Kuva M.2.7. Rakennemittauksiin (RH-%) soveltuva laitteisto Vaisala SHM40

M.2.4.1 Mittausmenetelmä

Betonirakenteen suhteellinen kosteus voidaan mitata tarkoilla mittausmenetelmillä tai suuntaa antavilla menetelmillä. Suuntaa antavia mittausmenetelmiä on esim. pintakosteusmittaus ja mittaaminen jatkuvasti betonin sisällä olevalla anturilla, joita ei tule käyttää kiviaineisen rakenteen päällystettävyyssmittauksissa.

Tarkkoja mittausmenetelmiä ovat:

- mittaus rakenteeseen poratusta reiästä (**porareikä-mittaus**)
- mittaus betonirakenteesta irrotetusta näytepalasta (**näytepalamittaus**).

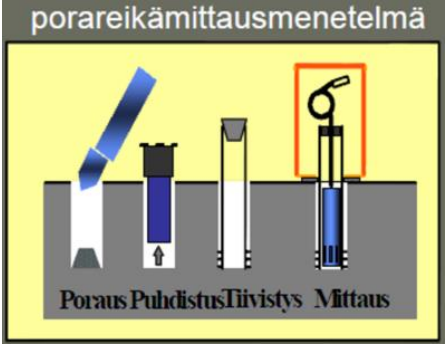
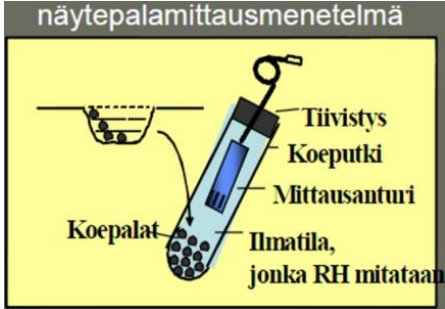
Nämä ovat menetelmät, joita tulee käyttää betonirakenteiden päällystettävyyssmittauksissa.

Suhteellisen kosteuden mittaus porareikä- ja näytepalamittausmenetelmällä on rakennetta rikkovaa ja varsin työlästä. Rakennustietosäätiön RT-kortissa RT14-10984 on esitetty yksityiskohtaisesti kiviaineisten rakenteiden suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät. Lisätietoa päällystettävyyssmittausten suorittamisesta löytyy julkaisusta Betonilattiarakenteen kosteudenhallinta ja päällystäminen-kirjasta.

Nykyisin on saatavilla pieniä mittalaitteita, joita voidaan betonirakenteen valun yhteydessä jättää rakenteen sisään. Etuna tällaisessa menetelmässä on, että sisäilman ja rakenteen välinen lämpötilaero ei aiheuta mittaukseen juurikaan epätarkkuutta. Lisäksi langattomasti luettava mittapää voi toimia suuntaa-antavana ilmaisimena, esimerkiksi vesieristeen vuototapauksissa. Ongelmana tällaisessa mittauksessa on, että mittaustulosta ei voida todentaa jälkikäteen mittaustulosta kalibroimalla.

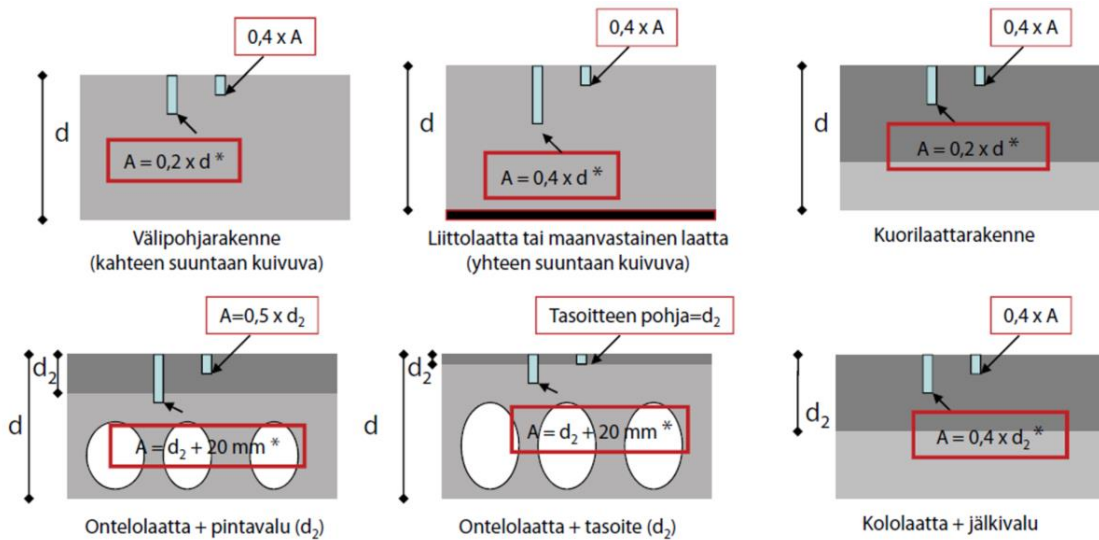
Ohjeita mittausmenetelmän valintaan on esitetty oheisessa taulukossa M.2.1 (RT14-10984, 2010).

Taulukko M.2.1. Porareikämittauksen ja näytepalamittauksen periaatteet (RT14-10984, 2010)

<p>Porareikämittaus</p> <p>Porareikämittaus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Porareikämittaus on tarkimmillaan +15...+25 °C lämpötilassa. • Olosuhteiden on oltava riittävän lähellä rakennuksen normaalia käyttölämpötilaa ja porareikämittauksen suosituslämpötiloja. • Yläpuolisen, yleensä betonirakenteen pinnalla olevan, ilman ja rakenteessa olevan mittapään lämpötilanäyttämien ero ei saa olla yli 2 °C. • Jos mittauksilta vaaditaan hyvää mittaustarkkuutta ja lämpötila poikkeaa käyttölämpötilasta yli 5 °C tai betonin tai ilman lämpötila on alle 15 °C tai yli 25 °C, kosteusmittaus tulee tehdä näytepalamenetelmällä. • Olosuhteiden mittauspisteen ympärillä ja ympäristössä porauksesta lukemienottoon eli mittauksen aikana on pysyttävä riittävän vakaina. • Mitattaessa lattialämmityksen vaikutusalueella, lattialämmitys katkaistaan viimeistään viikkoa ennen mittaushetkeä, sillä betonin ja yläpuolisen ilman välinen lämpötilaero ja lämmityksen aikaansaama kosteuden tehostettu siirtyminen mittauspätkään saattaa aiheuttaa erittäin suurta mittauserotarkkuutta. Muussa tapauksessa luotettava tulos saadaan vain näytepalamenetelmällä samoin kuin silloin, jos betonia on esimerkiksi tehokuivatettu ennen mittaushetkeä nostamalla huomattavasti betonin lämpötilaa. • Mittaussyvyys porareikämenetelmällä on vähintään 10 mm. 	 <p>porareikämittausmenetelmä</p> <p>Poraus Puhdistus Tiivistys Mittaus</p>
<p>Näytepalamittaus</p> <p>Näytepalamittaus</p> <p>Mittaus voidaan aina tehdä näytepalamenetelmällä ellei mitaustuloksia tarvita todella syvältä betonista. Näytepalamittausmenetelmällä tulos saadaan nopeammin kuin porareikämenetelmällä.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menetelmää voidaan käyttää -20... +80 °C lämpötiloissa tai kun vallitsevat lämpötilaolosuhteet ovat epävakait, tulos tarvitaan nopeasti tai muuten pyritään mahdollisimman hyvään mittaustarkkuuteen. • Näytepalamittauksessa mittaolosuhteiden lämpötila ja mitattavan rakenteen lämpötila eivät vaikuta saatavan kosteuspitoisuusarvon luotettavuuteen. • Mittaussyvyys näytepalamenetelmällä on vähintään 2 mm. 	 <p>näytepalamittausmenetelmä</p> <p>Tiivistys Koeputki Mittausanturi Ilmatila, jonka RH mitataan Koepalat</p>

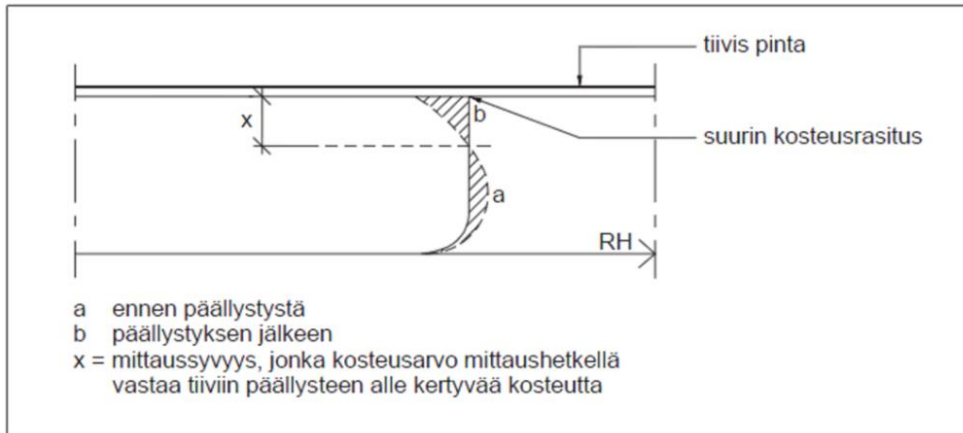
Mittaussyvyys ja mittaustarkkuus

Betonirakenteen suhteellinen kosteus (RH) määritetään rakenteen paksuuden mukaan määräytyvältä arviointisyvyydeltä A , kuva M.2.8. Tiiviillä pintamateriaaleilla tällä syvyydellä vallitseva kosteuspitoisuus on lähellä päällysteen alle tasapainottuvaa kosteuspitoisuutta, jos betoni ei ole kosteampaa lähempänä pintaakaan. Kts. kuva M.2.9. Tämä varmistetaan mittaamalla sekä rakenteen pinnan (0...5 mm) että pintaosien kosteus syvyydeltä $0,4 \times A$. 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. Tyypillisimpien rakenteiden päällystettävyyden määrittelysyvyydet on esitetty kuvassa M.2.8 (RT14-10984, 2010).



Kuva M.2.8. Mittaussyvyydet eri rakenneratkaisuilla rakennepaksuuksista riippuen.

Jos päällysteen vesihöyrynläpäisevyys ei ole tarkasti tiedossa, verrataan syvyyden A mittaustulosta päällysteen/pinnoitteen kriittiseen kosteusarvoon. Jos ontelolaatan päälle valetun pintabetonilaatan paksuus on 60mm tai suurempi, tulee kosteuspitoisuus mitata lisäksi arviointisyvyyden A yläpuolella syvyydellä $0,4 \times A$, jossa RH:n tulee yleensä olla alle 75 % (RT14-10984, 2010).



Kuva M.2.9. Periaate jäljelle jääneen rakennekosteuden jakaantumisesta rakenteessa lattian päällystämisen jälkeen tiiviillä päällysteellä.

M.2.4.2 Mittausten suoritus

Mittaus suoritetaan RT-kortissa RT14-10984 esitetyn ohjeiden mukaisesti. Olen-
 naista kiviaineisten rakenteiden mittauksissa on mittalaitteiden tasaantumisaika
 sekä porareikämittauksissa porareikässä tapahtuvan kosteuden tasaantumisaika
 (Vähintään 3 vuorokautta). Tämä tarkoittaa, että itse mittaustulokset ovat luettavissa
 aikaisintaan kolmen vuorokauden kuluttua porareikä putkittamisen ja tiivistämisen
 jälkeen. Mikäli tuloksilla on kiire, voidaan käyttää näytepalamittausta, jolloin tuloksen
 voi saada 5–12 tunnin kuluttua näytepalojen koeputkeen asettamisen jälkeen.

Porareikämittauksen suorituksesta ja työvaiheista löytyy video: Youtube: Betonin
 suhteellinen kosteus / Betonin rakennekosteusmittari, 3:11, kieli: suomi,
<https://www.youtube.com/watch?v=O4cxu-zyKpY>

M.2.4.3 Tulosten tulkinta

Vauriot ovat usein monen eri tekijän aikaansaamia eikä yksiselitteistä syytä niiden
 syntyyn aina löydy. Syy selvittäminen vaatii mittaajalta rakennusten lämpö- ja kos-
 teusfysiikan hyvää osaamista, rakennusmateriaalien tuntemusta, vauriomekanismien
 ymmärtämystä sekä tutkimusmenetelmien hyvää hallintaa. Vaurioiden välttämiseksi
 esimerkiksi betonilattia- ja seinäpäällystemateriaalien yleisesti käytetyissä kriittisissä
 kosteusraja-arvoissa julkaisussa Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet on usein
 mukana ns. varmuusmarginaalia.

Ohjeen raja-arvoista voidaan siten tapauskohtaisesti poiketa tarkemman rakennusfysikaalisen tarkastelun perusteella. Tulosten tulkinnassa on tärkeitä tiedostaa rakenteen normaali kosteuspitoisuus. Tähän vaikuttaa mm. rakenneratkaisu, rakenteen ikä, rakennetta ympäröivät olosuhteet sekä pintarakennejärjestelmän tiiviys. Betonirakenteen normaali kosteuspitoisuusnuoren rakenteen sisäosissa voi normaalilämpötilassa olla yli 90 %RH ja vasta joskus hyvinkin monen vuoden kuluttua esimerkiksi välipohjan sisäosissa suhteellinen kosteuspitoisuus lähestyy normaalia huoneilman keskimääräistä kosteuspitoisuutta, n. 50 %RH. Vastaavasti esimerkiksi maanvaraiseen betonilaattaan pitkän ajan kuluessa tasaantuva kosteuspitoisuus millä tahansa mittausvyvydellä voi olla noin 80 %RH (RT14-10984, 2010).

Päällystettävyyssmittauksissa saatuja suhteellisen kosteuden arvoja verrataan taulukon M.2.2 päällystemateriaaleille asetettuihin raja-arvoihin. Materiaalin valmistajien ilmoittamat raja-arvot tulee tarkistaa ennen tulosten analysointia.

Taulukko M.2.2. Eri päällysteiden kriittiset suhteellisen kosteuden raja-arvot.

Rakenne/päällyste	Betonin RH (%) arviointisyvyydellä A	Betonin ja/tai tasoitteen RH (%) pinnassa ja 1-3 cm:n syvyydellä (0,4*A)
Kelluva lautaparketti ja alusmateriaali	85	75
Alustaan liimattava lautaparketti	normaali betoni	75
	erikoisbetoni (v/s<0,5)	
Laminaatti + vesihöyrytiivis alusmateriaali	85	75
Mosaiikkiparketti	normaali betoni	75
	erikoisbetoni (v/s<0,5)	
Muovimatot, linoleumi, kumimatot, tekstiilimatto, tiivis alusta	85	75
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90	75
Muovi-, kumi-, linoleumilaatat	90	75
Vedeneriste	85–95	75

M.2.5 Betonirakenteiden kosteuden hallinta sekä kuivumisen arviointi

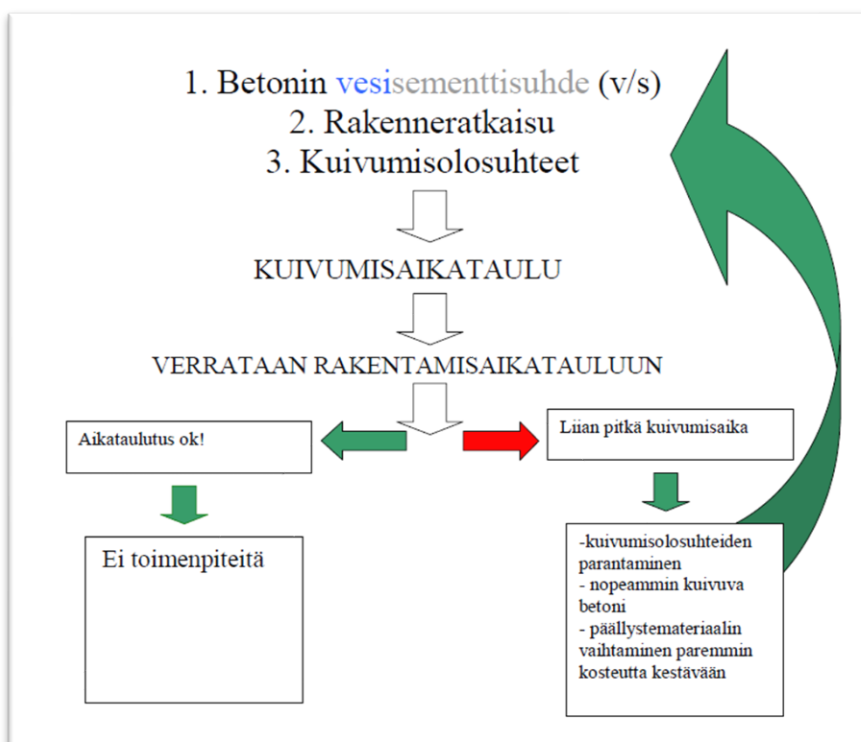
Mikäli päällystettävyyssmittaukset osoittavat betonirakenteen olevan vielä liian kostean, voi kuivumista nopeuttaa kuivumisolosuhdemuutoksilla (lämpötilan nosto ja tuuletus-ilman lisääminen). Tämä on toteutettaessa erityisesti talvisaikaan ulkoilman ollessa kuivaa. Ulkoilman kyllästysvaje mahdollistaa sisäilman kuivattamisen ilmanvaihdon avulla.

Arvioiden perusteella voidaan määrittää, millaiset olosuhteet kohteeseen tulee luoda, jotta kuivumista tapahtuisi tavoiteaikataulun mukaisesti. Seikkaperäistä tietoa betonirakenteiden kuivumisen arvioinnista löytyy Tarja Merikallion tekemästä julkaisusta Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi (Merikallio, 2019). Julkaisussa eri tyyppisten betonirakenteiden kuivumisen arviointi toimii suuntaa antavana työkaluna määritettäessä esimerkiksi kuivumisaikojen aikataulutusta, rakenteiden kosteudenhallintaa sekä rakenteiden kuivattamista.

Kuivumisaika-arvioinnin lähtötietoina toimivat tiedot:

- betonin vesisementtisuhteesta,
- käytettävästä rakenneratkaisusta
- kuivumisolosuhteista.

Suunnitteilla olevan rakennuksen tapauksessa kaikkiin em. lähtötietoihin voi vaikuttaa, kun taas olemassa olevaan rakenteeseen voi kuivumista hallita olosuhdemuutoksilla.



Kuva M.2.10. Betonirakenteen kuivumisaikatauluun vaikuttavat toimenpiteet.

Ennen pinnoittamista ja päällystämistä on betoninkosteus tarkistettava aina mittauksin.

M.3 Lämpötilan mittaaminen

Ihmisen kokemaan lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus ja kosteus sekä vaatetus ja ihmisen toiminnan laatu. Lämpöolot vaikuttavat suoraan viihtyvyyteen. Pitkäaikainen veto ja viileys saattavat aiheuttaa terveyshaittaa. Jos ilman sisältämä kosteus tiivistyy pistemäisestikin rakenteiden kylmään pintaan, kosteusvaurioiden mahdollisuus lisääntyy (Asumisterveysohje, 2003).

M.3.1 Lämpökuvaus

”Huoneilman lämpötila voidaan mitata oleskeluvyöhykkeeltä sen mukaan, mikä on tarpeen terveyshaitan selvittämiseksi. Huoneilman lämpötila mitataan noin 1,1 metrin korkeudelta. Lämpötilojen tulee täyttää tämän asetuksen liitteessä 1 olevan taulukon 1 mukaiset toimenpiderajat. Toimenpiderajoja sovelletaan asunnossa vain asuinhuoneiden lämpötilojen terveellisyyden arviointiin. Lämpötilat eivät saa aiheuttaa 5 §:ssä tarkoitettua mikrobikasvun riskiä” (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, 545/2015/6§).

”Huoneilman kosteus ei saa olla pitkäkestoisesti niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteissa, laitteissa taikka niiden pinnoilla mikrobikasvun riskiä” (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, 545/2015/5§).

Valviran laatimassa asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa annetaan yksityiskohtaisia tulkintoja ja käytännön esimerkkejä asumisterveysasetuksen soveltamiseen. Erityisesti lämpöviihtyvyyteen liittyvät lämpötilojen toimenpiderajat ja pintojen lämpötilaindeksit toimivat lämpökuvauksen tulosten tulkinnan apuvälineenä. Kts. taulukko M.3.1. Lämpötilaindeksin määrittäminen sekä käyttöedellytykset käsitellään kappaleessa 3.2.

Taulukko M.3.1. Lämpötilojen toimenpiderajat ja lämpötilaindeksit
(Asumisterveysasetuksen soveltamishje osa I, 2016)

	Lämpötilojen toimenpiderajat	Lämpötilaindeksi TI
Asunnossa		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61
Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja muissa vastaavissa tiloissa		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 20 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella		
- lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 32 °C	
- palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 30 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 19 °C	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61

M.3.1.1 Mittausmenetelmä

Lämpötilan T [K, °C] mittaukseen käytetään joko koskettavaa tai koskettamatonta menetelmää. Koskettavaa menetelmää käyttäviä mittalaitteita ovat lasilämpömittarit, bimetalimittarit sekä vastusanturit ja termoelementit, jotka on usein kytketty digitaaliseen päätelaitteeseen (RIL 255-1-2014).

Koskettamaton mittaus tehdään infrapunalämpömittarilla tai **lämpökameralla**. Mittaus perustuu kohteen lähettämän lämpösäteilyn mittaamiseen optisella säteilyilmäisellä. Mitattaessa on tunnettava kohteen emissiviteetti, eli kuinka lähellä kohde on ideaalista mustan kappaleen säteilijää, joka ei lainkaan heijasta tai läpäise säteilyä.

Emissiviteetin arvo tavallisesti nollan ja yhden välillä. Ideaalisen mustan kappaleen emissiviteetti on 1. Eri rakennusmateriaaleille on valmiiksi taulukoituna emissiviteetin arvoja helpottamaan lämpökameran kuvausasetusten laittoa (RIL 255-1-2014).

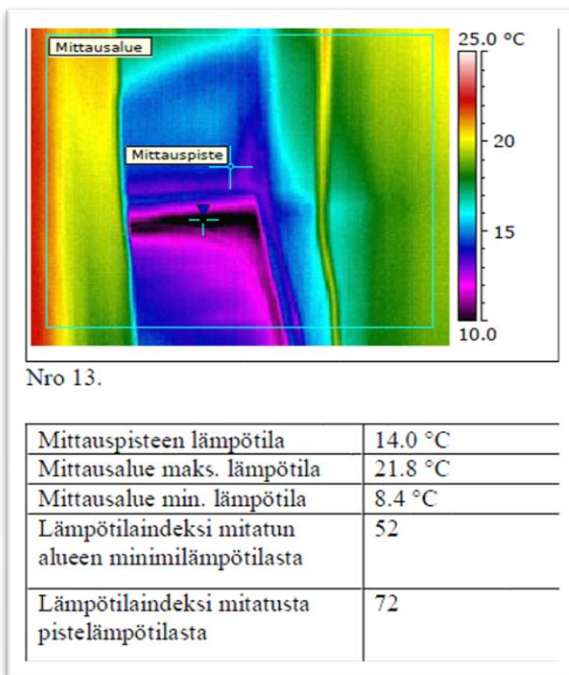
Taulukko M.3.2. Yleisimpien rakennusaineiden/pintojen emissiokertoimia.

Rakennusaine/pinta	Emissiokerroin	Rakennusaine/pinta	Emissiokerroin
Alumiini		Marmori	0,93–0,95
Kaupallinen kirkkaus	0,09	Paperi	
Oksidoitunut	0,20–0,33	Valkoinen	0,95
Asbesti	0,93–0,97	Värilliset	0,92–0,94
Betoni karkea	0,94	Puu	0,8–0,9
Huurre	0,985	Puukuitulevy huokoinen	
Jää sileää	0,97	Käsittelemätön	0,85
Kattohuopa	0,92–0,94	Puukuitulevy kova	
Kipsi	0,8–0,9	Käsittelemätön	0,85
Kumi	0,85–0,94	Puu höylätty	0,83
Lasi	0,94	Puu höyläämätön	0,84
Lumi	0,82	Poltettu tiili	0,91–0,93
Maalit, lakat		Kalkkhiiekkatiili	0,9
Alumiiniväri	0,27–0,62	Rappaus	0,92
Emalilakka	0,85–0,95	Tapetti vaalea	0,85
Musta maali	0,8–0,97	Kipsilevy käsittelemätön	0,90
Valkoinen maali	0,9–0,97	Lastulevy käsittelemätön	0,90
Öljymaali, harmaa matta	0,97		
Öljyväri	0,9–0,97		

Rakennuksen lämpökuvauksessa käytettävän lämpökameran tulee olla mittaava ja tasapainotettu sekä kuvantava mittauslaite. Mittaavalla lämpökameralla voidaan mitata suoraan pintalämpötiloja, jotka ovat luettavista kuvantavan laitteen näyttöruudusta. Tasapainotetun kamerasuunnan lämpötilavaihtelut eivät vaikuta mittaustulokseen. Parhaiten lämpökamera soveltuu lämpötilaerojen tutkimiseen. Lämpökameran lämpötila-alue on -40 - 1500 °C. Lämpötilan erottelukyky on parhaimmillaan noin 0,02 °C ja

tyypillinen mittausepävarmuus ± 2 °C. Sisäkuvauksissa +20 °C asteen lämpötilassa tehtävissä mittauksissa mittaustarkkuus on noin ± 1 °C.

Lämpökuvauus on ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä, jolla voidaan arvioida rakennusten, rakenteiden ja rakennusmateriaalien toimivuutta, laatua ja kuntoa. Lämpökuvauus soveltuu uudisrakentamisen laadunvalvontamittauksiin (mm. lämpövuodot, ilmatiiviys) sekä korjausrakentamisen kuntotutkimuksiin (mm. lämpöviihtyvyys, lämpövuodot, talotekniikan viat ja puutteet).



Kuva M.3.1. Lämpökuvauus pintalämpötilatietoineen.



Kuva M.3.2. Kuvantava lämpökamera

M.3.1.2 Mittausten suoritus

Lämpökuvauksen suoritetaan Rakennustiedon julkaiseman RT-kortin RT 14-11239 ohjeiden mukaisesti. Olennaisina huomioitavina asioina ovat:

- kuvauksen suunnitelmallisuus,
- kuvaamista edeltävät ja kuvaamisaikaiset olosuhteet ja niiden kirjaaminen, erityisesti lämpötilaero ulko- ja sisätilan välillä. Kts. Taulukko M.3.3.
- mittalaitteen kuvaamisasetukset (emissiiviteetti (0,95), sisä- ja ulkolämpötila kuvaushetkellä, paine-ero rakennuksen vaipan yli)
- kuvausetaisyys (sisäkuvauksissa 2-4m)
- lämpökuvaajan etiikka ja vastuu.

Taulukko M.3.3. Lämpökameran resoluutio- ja erottelukyvyvaatimukset (RT 14-11239, 2016).

Lämpötilaero ulko- ja huoneilman välillä	Resoluutio	Erottelukyky
10...15 °C	≥ 70 000 pikseliä	≤ 0,03 °C
≥ 15 °C	≥ 30 000 pikseliä	≤ 0,05 °C

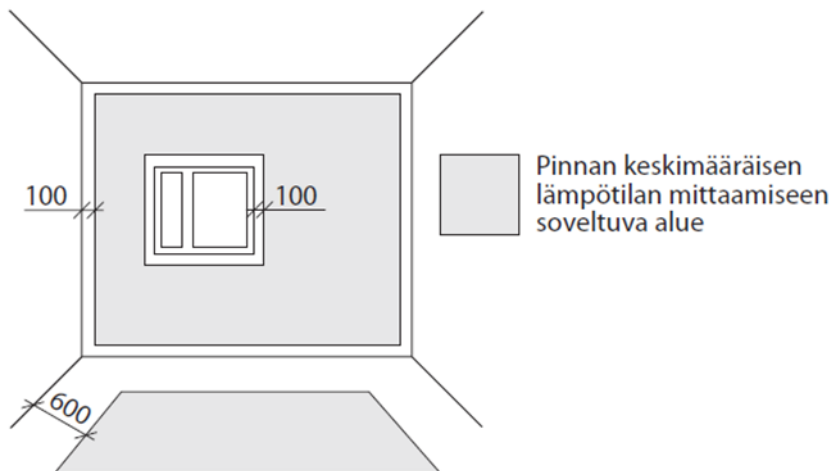
Taulukosta M.3.3. on luettavissa, että ulkoilman lämpötilan on oltava $<+5$ °C kuvaushetkellä.

M.3.1.3 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkinta jakaantuu itse lämpökuvan analysointiin (lämpötilajakauma) sekä kuvasta määritettyjen pintalämpötilojen analysointiin (lämpötilojen toimenpiderajat, lämpötilaindeksi sekä kastepistelämpötila).

Lämpökuvien tulkinnassa on otettava huomioon kaikki pintalämpötiloihin mahdollisesti vaikuttavat tekijät. Rakenteiden pintalämpötilat eivät juuri koskaan ole tasalämpöisiä (esim. rakennuksen nurkat ja rakenteiden liitokset). Rakennusfysiikan laskentamenetelmien avulla voidaan määrittää ideaalisille hyvin tehdyille rakenteille pintalämpötiloja, joita voi verrata lämpökuvasta saatuihin pintalämpötiloihin. Rakennevirheet aiheuttavat pintalämpötilojen alenemista.

Lattian ja seinän keskimääräinen pintalämpötilan määrittäminen tehdään lämpökameran aluemittausvälineen keskiarvotoiminnalla kuvan M.3.3 mukaisilta harmaalla merkityiltä alueilta. Pistemäisen pintalämpötilan määrittäminen on mahdollista myös oleskeluvyöhykkeen ulkopuolelta (kuvan valkoiset alueet). Eri alueilta mitattujen pintalämpötilojen perusteella määritettyjä lämpötilaindeksin arvoja verrataan lämpötilaindeksin toimenpiderajoihin. Kts. taulukko M.3.1.



Kuva M.3.3. Lattian ja seinän keskimääräisen pintalämpötilan määrittämiseen soveltuva alue. Seinän ja lattian liittymät ja seinien nurkat kuuluvat pistemäisen lämpötilan määrittämisen alueisiin (RT 14-11239).

Pintalämpötiloja arvioidaan lämpötilaindeksin avulla silloin, kun lämpötiloja ei voida mitata $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$:n ulkolämpötilassa ja $+21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$:n sisälämpötilassa. Lämpötilaindeksiä käytettäessä on rakennuksen alipaineisuus huomioitava, mikäli keskimääräinen alipaineisuus kuvauksen aikana ylittää 5Pa. Kts. taulukot M.3.4 ja M.3.5. Rakennuksen painesuhteiden määrittäminen on esitetty myöhemmin kappaleessa M.3.3. Lämpökuvauksen yhteydessä tehtävät paine-eromittaukset.

Taulukko M.3.4. Lämpötilaindeksin käyttö riippuen kuvattavan tilan painesuhteista (RT 14-11239).

Vallitseva paine-ero	Lämpötilaindeksin käyttö	Soveltuvuus	Raja-arvot
Ylipaine	Lasketaan lämpötilaindeksi	Ei havaita ilmavuotoja	Ei raja-arvoja
0 Pa . -5 Pa		Laadunvalvonta	Asumisterveysasetus
-6 Pa . . -15 Pa	Lasketaan paine-ero korjattu lämpötilaindeksi	Laadunvalvonta	Asumisterveysasetus/ Valviran ohje
-16 Pa . . . -90 Pa	Ei ilmoiteta lämpötilaindeksiä	Ilmavuotojen paikannus	Ei raja-arvoja

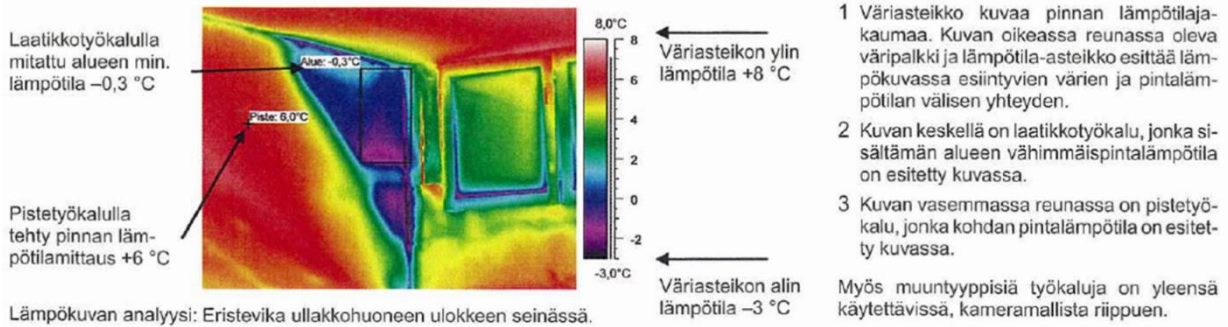
Taulukko M.3.5. Rakennuksessa mitatun alipaineen vaikutus mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa I, 2016).

Mitattu alipaine rakennuksessa (Pa)	Korjaus mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin
0-5	
6	+ 0,5
7	+ 1,0
8	+ 1,5
9	+ 2,0
10	+ 2,5
11	+ 3,0
12	+ 3,5
13	+ 4,0
14	+ 4,5
15	+ 5,0

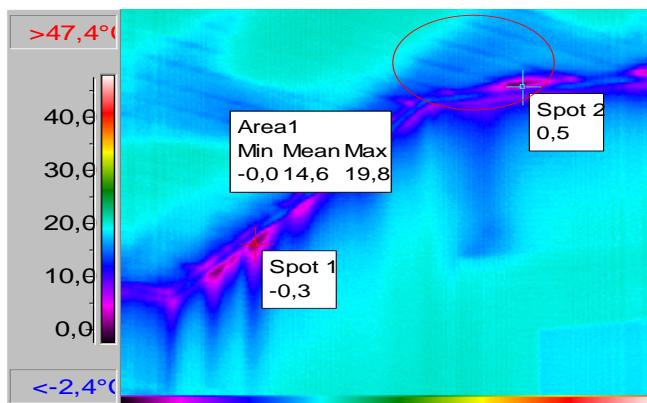
Esimerkki taulukon M.3.5 käytöstä. Kohteesta on määritetty lämpökuvattavan tilan alipaineeksi 10 Pa. Määritetty lämpötilaindeksi lattian ja seinän liitoksessa on 59 %. Alipaineen takia korjattu lämpötilaindeksi on tällöin $(59 + 2,5) \% = 61,5 \%$. Tulosta verrataan taulukon M.3.1 alimman pistemäisen pintalämpötilan lämpötilaindeksin toimenpiderajaan 61 %, joka ylittyy.

Lämpökuvan analysointi edellyttää rakennusfysiikan sekä rakenteiden rakennusfysikaalisten ominaisuuksien ja -toiminnan hyvää tuntemusta. Kuvasta voi yleisesti erottaa konvektiovuodot sekä kylmäsilat.

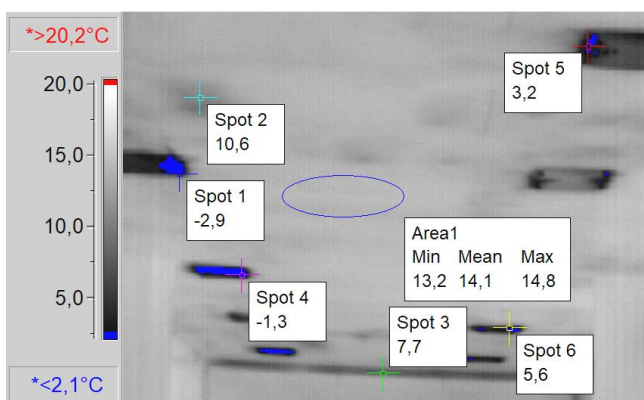
Näin luetaan lämpökuvaa: Väriasteikko kuvaa pinnan lämpötilajakaumaa



Kuva M.3.4. Ohjeita lämpökuvan luetaan (KH 24-00368, 2007).



Kuva M.3.5. Ilmavuoto aiheuttaa ns. viuhkamaisen kuvion seinän pinnalla.



Kuva M.3.5. Kylmäsilan aiheuttama teräväpiirtoinen kuvio yläpohjassa.

Lämpökuvauksen suorittamisesta sekä kuvien analysoinnista löytyy seikkaperäistä tietoa Rakennustiedon julkaisusta *Lämpökuvauus rakentamisessa*.

M.3.2 Lämpötilaindeksi

Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Vaipan pintalämpötiloja voidaan arvioida ja verrata toisiinsa lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä vakio-olosuhteissa ($-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$:n ulkolämpötilassa ja $+20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ huonelämpötilassa).

Lämpötilaindeksi annetaan prosentoin tarkkuudella ja se määritellään seuraavasti:

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

TI = lämpötilaindeksi, %

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, °C

(mitattu esim. lämpökameralla)

T_i = huoneilman lämpötila, °C

T_o = ulkoilman lämpötila, °C (Asumisterveysasetuksensoveltamisohje osa 1, 2016).

M.3.2.1 Kastepistelämpötila

Pintalämpötilojen analysoinnista myös kastepistelämpötilan määrittäminen on tärkeää. Kastepistelämpötila kertoo lämpötilan, jossa vesihöyry alkaa tiivistyä vedeksi. Rakenteen pintalämpötilan laskiessa alle kastepistelämpötilan tämä mahdollistaa rakenteen vaurioitumisen.

M.3.3 Lämpökuvauksen yhteydessä tehtävät paine-eromittaukset

Kun lämpökuvauksella etsitään rakennuksen ilmavuotoja, on tärkeää ymmärtää rakennuksen vallitsevat painesuhteet. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ensisijaisesti ilmanvaihtojärjestelmä, savupiippuvaikutus (hormivaikutus) ja tuuli. Lämpökuvauksen yhteydessä on tehtävä aina paine-eromittauksia, jotta kuvaukset ja tulkinta voidaan tehdä luetettavasti ja oikein. Rakennuksen ilmavuodot kuvataan aina rakennuksen alipainepuolelta, jolloin vuodot aiheuttavat lämpötilaeron vuotokohdan ympärille (Lämpökuvaus rakentamisessa, 2018).

M.3.3.1 Mittausten suoritus (hetkellinen mittaus)

Paine-ero rakennuksen yli mitataan elektronisella paine-eromittarilla, jonka tarkkuus on vähintään 1Pa (0,1 Pa suositeltava). Paine-eron mittausalue vähintään -50...+50 Pa ja mittausvirhe pienillä (-10...+10 Pa) paine-eroilla enintään ± 1 Pa.

Ympäristöministeriön toimeksiannosta on julkaistu Rakennusten paine-erojen mittausohje. Ohje keskittyy ensisijaisesti rakennusten koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän aikaansaaman paine-eron mittaamiseen, mutta se soveltuu myös lämpökuvauksen yhteydessä suoritettaviin paine-eromittauksiin. Ohje sisältää seikkaperäiset mittausten suoritusohjeet kuvin esitettynä. Ohjeet löytyvät osoitteesta <https://www.ym.fi/download/noname/%7B7287C51D-EFAA-41F7-BCAC-7F81A18AAA4C%7D/151430>

(Rakennusten paine-erojen mittausohje- projektin loppuraportti, 2019)

M.3.3.2 Tulosten tulkinta

Mittalaite ilmoittaa paine-eron Pascaleina. Rakennuksen ulkovaipan välinen paine-ero huomioidaan lämpötilaindeksin laskennassa. Esimerkki laskennasta löytyy kappaleesta 3.1.3.

Lähteet

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa 1. 2016. Asumisterveysasetus § 1-10. Ohje 8/2016. Valvira. <https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje/ac8d5e16-97be-456c-9c9c-ce8560f2092e>.

Luettu 2.6.2020.

Asumisterveysohje, 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaia 2003:1. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki 2003. https://stm.fi/documents/1271139/1371655/Asumisterveysohje__tiivistelma_fi.pdf/8db72c91-b040-48bf-87b5-a2efd7379686.

Luettu 2.6.2020.

KH 24-00368. Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekninen toimivuus, raportointi ja tilaaminen. Rakennustieto Oy. Korvattu RT-ohjekortilla RT 14-11239 vuonna 2016.

Lämpökuvaus rakentamisessa, 2018. Paloniitty, S., Paloniitty, J. & Haimilahti, J. Rakennustieto Oy. Saatavilla 2.6.2020. <https://www.rakennustietokauppa.fi/lampokuvaus-rakentamisessa/112859/dp>.

Merikallio, T. 2015. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus ry, Rakennustieto Oy. Saatavilla 2.6.2020. <https://www.rakennustietokauppa.fi/betonirakenteiden-kosteusmittaus-ja-kuivumisen-arviointi/112797/dp>.

Puu materiaalina, kosteusteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo. <https://www.puuinfo.fi/puu-tieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. Luettu 2.6.2020.

Rakennusten paine-erojen mittausohje- projektin loppuraportti. 2019. A-Insinöörit. https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/rakennusten_paine-erojen_mittausohje_2019-10-11.pdf. Luettu 2.6.2020.

RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysiikalinen suunnittelu ja tutkimukset. 2014. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 14-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. RT-ohjekortti. Rakennustieto Oy. <https://wilma.finna.fi/saimia>. Luettu 2.6.2020.

RT 14-11239. 2016. Rakennuksen lämpökuvaus. RT-ohjekortti. Rakennustieto Oy. <https://wilma.finna.fi/saimia>. Luettu 2.6.2020.

Sisäilman kosteus ja lämpötila, sisäilma. Hengitysliitto.<https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lamportila/>.
Luettu 2.6.2020

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, 5 § Huoneilman kosteus. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>. Luettu 2.6.2020.



VALTIONEUVOSTO
STATSRÅDET

Valtioneuvoston kanslia

Statsrådets kansli

Opetus- ja kulttuuriministeriö

Undervisnings- och kulturministeriet

Sosiaali- ja terveysministeriö

Social- och hälsovårdsministeriet

Ympäristöministeriö

Miljöministeriet

