

Koko seminaarijulkaisu saatavissa:

<https://www.sisailmayhdistys.fi/~sisailma/Julkaisut/Sisailmastoseminaari-julkaisut>

## **RAKENTAMISEN MITOITUSSÄÄT (RAMI) -HANKKEESSA MÄÄRITETYT Uudet RAKENNUSFYSIKAALISET MITOITUSOLOSUHTEET**

Anssi Laukkarinen, Teemu Jokela ja Juha Vinha

Tampereen yliopisto, rakennetun ympäristön tiedekunta, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

### **TIIVISTELMÄ**

Rakennusten suunnittelun keskeinen tavoite on, että rakennukset rakenteineen täyttävät niille asetetut tavoitteet suunnitellun käyttöikänsä ajan. Vuonna 2022 päättyneessä Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeessa määritettiin uudet rakennusfysiikallisesti mitoitettavat ulko-olosuhteet edellisten FRAME-hankkeessa valittujen mitoitusvuosien tilalle. Lisäksi hankkeessa määritettiin rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan mitoitusolosuhteita myös kuukausitason laskelmia sekä muita stationääritilanteen tarkasteluja varten. Hankkeen osana valittiin myös huonetilojen kesäaikaisen lämpötilan ja jäähdytystehontarpeen mitoituspäivät, joita ei aiemmin ole ollut käytettävissä. Tässä artikkelissa kerrotaan uusien mitoitusolosuhteiden valinnasta rakennusfysiikan kannalta, minkä lisäksi annetaan ohjeita kuukausitason laskelmien toteuttamiseen.

### **JOHDANTO**

Rakennusfysiikan rakennusfysiikallisen toimivuuden arviointia voidaan ajatella tehtävän kolmella eri tavalla: Kokemusperäisesti, laskennallisesti ja kokeellisesti. Kaikkia menetelmiä tarvitaan, mutta tässä kirjoituksessa keskitytään erityisesti laskennalliseen rakenteiden toimivuuden arviointiin. Laskentatarkastelujen etuina ovat nopeus ja tulosten laajuus suhteessa mittauksiin, sekä mahdollisuus verrata vapaasti säättää rakenteen tarkasteluolosuhteita ja muita laskennan lähtötietoja. Laskentatarkasteluja voidaan hyödyntää esimerkiksi tekemällä vertailuja eri rakennevaihtoehtojen kesken, vertaamalla tarkastelutapausta hyväksytyksi katsottuun rakenteeseen tai vertaamalla tuloksia niille asetettuihin tavoite- ja raja-arvoihin. Jotta laskentatulokset olisivat käyttökelpoisia ja edustavia, tulee laskentatarkasteluja tehtäessä osata ottaa useita eri tekijöitä huomioon. Yksi näistä on rakenteeseen vaikuttavat ulko-olosuhteet.

Rakennuksen ulko-olosuhteilla tarkoitetaan tyypillisesti ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta, sateen määrää vaakapinnalle sekä tuulen suuntaa ja nopeutta, sekä lyhytaaltoisen auringonsäteilyn suureita ja pitkäaaltoisen säteilyn tasetta. Ulko-olosuhteet vaihtelevat ajanhetkestä toiseen, eivätkä rakenteiden sisään aiheutuvat rakennusfysiikalliset rasitukset ole peräkkäisinä vuosina samanlaisia. Rakenteiden mitoituksen kannalta on perusteltua valita suunnittelussa käytettävät olosuhteet sellaisiksi, että ne kattavat suurimman osan suunnitellun teknisen käyttöikänsä aikana rakenteeseen vaikuttavista olosuhteista.

Vuonna 2022 päättyneessä Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeessa /1/ määritettiin uudet rakennusfysiikan mitoitettavat ulko-olosuhteet käytettäväksi

rakenteiden rakennusfysikaalisessa suunnittelussa. Lisäksi hankkeessa määritettiin ensimmäistä kertaa Suomessa rakennusten kesäaikaisen huonelämpötilan ja jäähdystystehontarpeen mitoituspäivät. Hanke toteutettiin osana valtioneuvoston Terveet tilat 2028 -toimenpideohjelmaa ja hankkeen rahoittajana toimi ympäristöministeriö. Hankkeen tausta-aineistona toimi vuonna 2020 päättyneessä RASMI-hankkeessa /2/ Ilmatieteen laitoksen muodostamat menneen ja tulevien ilmasto-olosuhteiden aikasarjat. Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeeseen osallistuivat Tampereen yliopiston (TAU) rakennusfysiikan tutkimusryhmän lisäksi myös TAU Rakenteiden korjaamisen ja elinkaaritekniikan tutkimusryhmä, Aalto-yliopiston energiatehokkuuden ja energiajärjestelmien tutkimusryhmä sekä Ilmatieteen laitoksen Ilmastonmuutos ja sään ääri-ilmiöt -tutkimusryhmä.

Seuraavassa luvussa kerrotaan rakennusfysiikan mitoitusolosuhteiden valintaprosesseista sisältäen ajasta riippuvat simuloinnit, kuukausitason laskelmat ja rakenteiden sisäpinnan kondenssiriskin mitoitusolosuhteet. Sitä seuraavassa luvussa kuvataan tarkemmin kuukausitason laskelmiin tarkoitettujen mitoitusvuosien käyttöä ja tulosten tulkintaa. Hankkeen loppuraportti ja aineistot ovat vapaasti saatavilla ja käytettävissä /1, 3, 4/.

## ULKOILMAN MITOITUSOLOSUHTEIDEN VALINTAMENETELMÄT

### Ajasta riippuvat simuloinnit

Ajasta riippuvilla simuloinneilla tarkoitetaan rakenteiden lämpö- ja kosteusolosuhteiden laskemista tuntitason olosuhdedataan perustuen esimerkiksi WUFI-, Delphin- tai COMSOL Multiphysics -ohjelmilla. Ajasta riippuvien simulointien perustoiminnallisuudet on esitetty standardissa SFS-EN 15026 /5/. Laskentatarkastelujen toistettavuuden vuoksi laskelmissa pyrittiin käyttämään standardissa esitettyjä ohjeita, kuitenkin ottaen huomioon Suomessa käytettävät rakenteet ja käytännöt.

Suomessa määritettiin ensimmäisen kerran rakennusfysikaalisesti mitoittavat ulko-olosuhteet vuonna 2013 päättyneessä FRAME-hankkeessa. Hankkeessa määriteltiin myös ohjeistus rakenteiden rakennusfysikaaliselle mitoitukselle (ns. rakenteiden kosteustekninen analysointimenetelmä), sisältäen esimerkiksi mitoittavien ulko- ja sisäolosuhteiden käytön sekä olosuhteiden arvioinnin suomalaisen homemallin avulla. /6/ Rakennusfysikaalisesti mitoittavia ulko-olosuhteita kutsuttiin kyseisessä hankkeessa testivuosi, mutta vuosien mitoituksellisen luonteen korostamiseksi vastaavia vuosia on RAMI-hankkeessa kutsuttu mitoitusvuosi. Ajasta riippuvia simulointeja hyödyntävää mitoitusmenettelyä ei ole RAMI-hankkeen yhteydessä muutettu, vaan ainoastaan mitoittavat ulko-olosuhteet ovat päivittyneet.

FRAME-hankkeessa hyödynnettiin REFI-B -hankkeessa /7/ määritettyjä Vantaan, Jokioisen, Jyväskylän ja Sodankylän mittausasemien mittauksiin perustuvia aikasarjoja vuosien 1980–2009 väliseltä 30-vuotisjaksolta sekä SRES A2 -päästöskenaariion mukaisia ilmastomalliennusteita. RAMI-hankkeessa taas käytettiin uudempaa vuosien 1989–2018 mukaista 30-vuotisjaksoa sekä uusia RCP 2.6, 4.5 ja 8.5 - kasvihuonekaasukenaarioita. FRAME-hankkeessa testivuodet valittiin käsittelemällä kaikkia paikkakuntia yhdellä kertaa, kun taas RAMI-hankkeessa vuosien kriittisyysjärjestystä tarkasteltiin ensin paikkakuntaakohtaisesti, jotta voitiin paremmin varmistua riittävän mitoitustason saavuttamisesta kaikilla tarkastelupaikkakunnilla. RAMI-hankkeessa myös täydennettiin RASMI-aineistoja ilmakehästä alaspäin

suuntautuvan pitkäaaltoisen säteilyn tuntiarvojen osalta, mikä suurena puuttui aiemmista FRAME-hankkeen laskelmista. Tuloksien arvioinnissa testattiin useita arviointisuureita, mutta vuosien kriittisyysjärjestyksen määrittäminen tehtiin lopulta Suomalaisen homemallin mukaisen homeindeksin ja yli 95 % RH tasapainokosteutta edustavan kosteuden määrän avulla. Lisäksi mitoitusvuosien valinnassa pyrittiin ottamaan huomioon vuosien kriittisyysjärjestys myös julkisivujen pakkasrasituksen ja teräsosien korroosion kannalta. Mitoittavien toistuvuus aika (10 vuotta) on pyritty pitämään RAMI-hankkeessa samana, eli 30 vuoden aikasarjassa mitoitettavia tai sitä raskaampia vuosia esiintyisi keskimäärin kolme kappaletta.

Mitoitusvuosien valinnan yksi haaste on, että valituksi tulevia mitoitusolosuhteita tullaan käyttämään uusille rakenteille ja uusiin tapauksiin, joita ei ole ollut mukana mitoitusvuosien valintaprosessissa. Jotta mitoitusvuosien kriittisyystaso säilyisi uusissa tapauksissa mahdollisimman hyvin, laskettiin ensin läpi suuri määrä eri rakenteita ja niihin liittyviä herkkyytarkasteluja. Tämän jälkeen tulosaineistoa ryhmiteltiin alaryhmiin, hyödyntäen koneoppimismenetelmiin kuuluvia ryhmittelyalgoritmeja (clustering). Tämän jälkeen määritettiin vuosien kriittisyysjärjestys kussakin alaryhmässä, jonka jälkeen aineistosta haettiin sellaisia vuosia, jotka olivat kriittisiä hyvin laajassa joukossa eri tarkastelutapauksia.

Tarkastelujen perusteella vuosi Jokioinen 2011 oli laajasti yleiskriittinen vuosi vaipparakenteissa tapahtuvan homeen kasvun suhteen ja vertailtavuuden vuoksi sen tulisi olla laskelmissa aina mukana yhtenä tarkasteluvuotena. Silloin kun ilmastonmuutos heikentää rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa, tulee ilmastonmuutos ottaa huomioon tekemällä tarkastelut tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa, käyttäen RCP8.5-skenaarion mukaisia olosuhteita ja ottaen huomioon rakenteen suunniteltu tekninen käyttöikä. Tällöin esimerkiksi vuonna 2025 käyttöön otettava rakennus rakenneosien 50 vuoden käyttöikätaivoitteella tulisi täyttää asetetut vaatimukset rakennusfysikaalisen mitoitusvuoden Jokioinen 2011 RCP8.5-2080 olosuhteissa. Homeen kasvun osalta tietyille rakenteille tulee lisäksi tehdä lisätarkasteluja mitoitusvuosien Jokioinen 2017 ja Vantaa 2017 olosuhteissa. Homeen kasvun suhteen kestävien rakenteiden arviointia varten on käytettävissä paikkakuntakohtaiset kosteuden määrän mitoitusvuodet.

Yksityiskohtaisempi kuvaus ajasta riippuviin simulointeihin liittyvien mitoitusvuosien valinnasta ja käytöstä on esitetty Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeen loppuraportissa /1/. Mitoitusvuositiedostot ovat saatavilla TAU Rakennusfysiikan ja Ilmatieteen laitoksen internet-sivuilta /3, 4/.

### **Kuukausitason laskelmat**

Ajasta riippuvien simulointien lisäksi Suomessa käytetään rakenteiden toimivuuden arviointiin yleisesti lämmön johtumisen ja vesihöyryn diffuusion huomioon ottavaa kuukausitason laskentamenetelmää, eli ns. Glaser-menetelmää. Kyseinen menetelmä tekee useita yksinkertaistuksia rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisestä käyttäytymisestä, mutta toisaalta on nopea käyttää ja sen edellyttämät lähtötiedot ovat laajasti saatavilla. Kuukausitason laskentamenetelmän perusteet on esitetty standardissa SFS-EN ISO 13788 /8/.

FRAME-projektin loppuraportin /6/ liitteissä on esitetty rakennusfysikaalisten testivuosien Jokioinen 2004 ja Vantaa 2007 testivuosien kuukausikeskiarvot ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta, mutta nämä arvot on laskettu ajasta

riippuviin simulointeihin tarkoitetuista tuntitason mitoitustiedoista. RAMI-hankkeessa kuukausitason mitoitustiedot määritettiin kuukausitason laskelmien perusteella, tehden vertailulaskelmia viidellä eri rakenteella, kolmella eri sisälämpötilalla ja kolmella eri sisäilman kosteusolosuhteella (yhteensä 45 tapausta per vuosi). Ensisijaisena mittarina vuosien kriittisyysjärjestykselle käytettiin rakenteeseen talvikaudella kondensoituneen kosteuden kokonaismäärää. Jos tämä oli jollekin tarkastelutapaukselle nolla, määritettiin vuosien kriittisyysjärjestys rakenteessa esiintyneen suhteellisen kosteuden avulla.

Rakenteille laskettiin myös kondenssirajapinnan kuivumiskyky niiltä kuukausilta, jolloin rakenteessa ei esiintynyt kondenssia. Rakenteiden toimivuuden rajoittavana tekijänä oli kuitenkin usein talvikaudella kertyneen kondenssin kokonaismäärä, minkä lisäksi kesäkaudella kuivuvan kosteuden määrät olivat verrattain samaa suuruusluokkaa eri vuosina. Näin ollen kesäajan kuivumiskykylaskelmien tuloksia ei käytetty mitoitustietojen valinnassa.

Tarkastelujen perusteella kuukausitason laskelmien mitoitustietojen valittiin talvikauden 2009-2010 paikkakuntakohtaiset olosuhteet. Vuosien käyttöä on kuvattu tarkemmin RAMI-hankkeen loppuraportissa /1/ ja tämän artikkelin seuraavassa pääluvussa.

### **Rakenteiden sisäpinnan kondenssiriskin arviointi**

Standardi SFS-EN ISO 13788 /8/ sisältää ohjeistuksen ulkoilman mitoitettavan lämpötilan määrittämiseksi tilanteelle, jossa tarkastellaan lämpökapasiteetiltaan pienten rakenneosien huoneilmaa vasten olevien pintojen kondenssiriskiä. Tällaisia standardin tarkoittamia rakenteita voivat olla esimerkiksi ikkunat, ovet ja kevyet julkisivujärjestelmät. Näihin liittyvä mitoitettava ulkoilman lämpötila on määritetty tyypilliseksi vuoden kylmimmän vuorokauden keskilämpötilaksi, mikä laskettiin kullekin 30-vuotisjaksolle vuoden kylmimmän vuorokauden keskilämpötilojen (30 kpl) keskiarvona.

Tulosten perusteella sisäpintojen kondenssiriskin mitoitettavat ulkolämpötilat päättyneeltä 30-vuotiskaudelta 1989-2018 olivat hieman korkeampia verrattuna ympäristöministeriön asetuksessa YMa 1010/2017 /9/ esitettyihin rakennuksen lämmitystehon mitoitettaviin ulkolämpötiloihin: Kun YMa 1010/2017 mukaiset mitoitettavat ulkolämpötilat ovat -26 °C, -29 °C, -32 °C ja -38 °C Säävyöhykkeille I-IV, olivat sisäpintojen kondenssiriskin mitoitettavat ulkolämpötilat vastaavasti -19 °C, -21 °C, -25 °C ja -32 °C. Ulkoilman vesihöyrypitoisuus on näissä lämpötiloissa hyvin lähellä kyllästysvesihöyrypitoisuutta ja suhteellinen kosteus oli keskimäärin 97 % RH jään suhteen. RAMI-hankkeen loppuraportissa on esitetty myös stationääritilanteen mitoitustietojen kesäajan olosuhteita varten, sekä vuosien ääriämpötiloja.

### **OHJEITA KUUKAUSITASON LASKELMIEN TOTEUTTAMISEEN**

Kuukausitason laskelmissa mitoitettavana ilmastona käytetään päättyneen 30-vuotisjakson 1989-2018 paikkakuntakohtaisia mitoitustietoja. Nämä ovat Vantaan, Jokioisen, Jyväskylän ja Sodankylän vuodet heinäkuusta 2009 kesäkuuhun 2010. Kyseiset vuodet edustavat YMa 1010/2017 /9/ mukaisia Säävyöhykkeitä I-IV. Mitoitustietojen mukaiset kuukausikeskiarvot on esitetty taulukossa 1.

Rakennuksen sisäolosuhteina käytetään ensisijaisesti uusimpia RIL:n ohjeissa ja muissa kansallisissa ohjeissa esitettyjä mitoitustietoja. RIL 107-2012 mukaiset kosteusluokan 2

mukaiset arvot asuinrakennuksille ovat lämpötila 21 °C sekä sisäilman kosteuslisä ulkoilmaan nähden +5 g/m<sup>3</sup>, kun ulkoilman lämpötila  $T_u < +5$  °C ja 2 g/m<sup>3</sup>, kun  $T_u > +15$  °C (väliarvot interpoloidaan lineaarisesti). Rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan sisäolosuhteille voi olla perusteltua käyttää myös muita arvoja.

*Taulukko 1. Paikkakunta- eli säävyöhykekohtaiset ulkoilman mitoitusvuodet SFS-EN ISO 13788 mukaisia kuukausitason kastepistelaskelmia varten. [T] = °C on ulkoilman lämpötila ja [RH] = % RH on ulkoilman suhteellinen kosteus.*

kk	Vantaa (Säävyöhyke I)		Jokioinen (Säävyöhyke II)		Jyväskylä (Säävyöhyke III)		Sodankylä (Säävyöhyke IV)	
	T	RH	T	RH	T	RH	T	RH
7	17,2	74,1	16,2	77,0	15,7	73,3	13,7	72,4
8	16,3	77,1	15,3	78,4	14,4	78,9	13,9	76,6
9	12,9	83,0	11,9	84,7	10,7	82,2	8,6	82,4
10	3,3	85,1	2,5	87,0	0,7	89,6	-2,7	92,9
11	2,5	93,0	1,8	95,3	0,6	95,9	-2,2	98,5
12	-5,3	95,7	-6,3	97,6	-8,8	97,9	-12,1	99,7
1	-12,4	98,9	-12,6	99,7	-15,9	98,2	-14,6	99,3
2	-9,1	96,9	-9,3	97,3	-12,0	95,6	-17,5	98,3
3	-2,7	87,6	-2,8	87,7	-4,7	86,0	-10,3	86,9
4	4,7	74,0	4,2	76,2	3,3	76,9	1,2	74,3
5	11,9	72,0	11,3	74,0	10,9	72,1	8,1	73,1
6	15,1	61,3	13,9	63,5	13,2	64,1	10,9	63,9

Rakenteita tarkasteltaessa laskentamallit tulee muodostaa kaikkein haastavimmista ja epävarmimmista kohdista. Esimerkkejä ovat tilanteet, joissa rakenneosan lämmönvastus on normaalia pienempi, lämmöneristeen kylmälle puolelle muodostuu vesihöyrytiivis pinta, tai rakenteen kokonaisvesihöyrynvastus on pieni. Rakenteen on suositeltavaa toimia lämpö- ja kosteusteknisesti siten, että se ei ole herkkä pienille muutoksille materiaaliominaisuuksissa tai muissa lähtötiedoissa.

Standardin SFS-EN ISO 13788 ohjeistus tulosten tulkinnalle kuvataan tässä seuraavasti: 1) Rakenne täyttää kuukausitason menetelmän tarkastelut, jos talvikaudella rakenteessa ei esiinny kosteuden kondensoitumista lainkaan. 2) Rakenne täyttää menetelmään liittyvät vaatimukset myös, jos kondensoitumista esiintyy, mutta sen kumulatiivinen summa on korkeimmillaan enintään asetetun raja-arvon suuruinen (esimerkiksi 200 g/m<sup>2</sup>) ja kyseinen kosteusmäärä pystyy kuivumaan rakenteesta hyvin pois vuoden kierron aikana. 3) Muutoin rakenne ei täytä standardissa esitettyä tarkastelua.

Kohdassa kaksi (2) kuukausiarvojen kumulatiivinen summaus tarkoittaa samalla myös yhtäjaksoisen kondenssijan määrittämistä, vaikka tätä ei rakenteen arvioinnissa käytetäkään. Yhtenäisen kondenssijakson muodostuminen oli kuitenkin syy mitoitusvuosien rajaamiselle talvikauden yli heinäkuusta kesäkuuhun, koska tällöin mitoitusvuoden kuukaudet ovat myös todellisuudessa esiintyneet peräkkäin.

Mitoituksen vaatimustason kiristämisen vaikutuksia ei tutkittu RAMI-hankkeessa, mutta yleisesti ottaen mitoituksen vaativuustasoa voidaan kuukausitason menetelmässä tiukentaa madaltamalla sisäilman lämpötilaa, kasvattamalla sisäilman kosteuslisää sekä pienentämällä sallittua kondensoituneen kosteuden kokonaismäärää tai sallimalla ainoastaan jokin alle 100 % RH asetettu suhteellinen kosteus (esimerkiksi < 80 % RH).

Jos ajasta riippuvien simulointien ja kuukausitason laskelmien välillä on eroa tuloksista tehtävissä johtopäätöksissä, ja jos molemmat laskelmat on tehty hyvää huolellisuutta noudattaen, ovat tällöin ajasta riippuvien simulointien tulokset etusijalla kuukausitason laskentamenetelmän mukaisiin tuloksiin nähden.

## YHTEENVETO

Vuonna 2022 päättyneessä Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeessa määritettiin uudet rakennusfysikaaliset mitoitussuhteet rakenteiden suunnittelua varten. Uudet mitoitusvuodet korvaavat edelliset FRAME-hankkeessa valitut rakennusfysikaaliset testivuodet. Lisäksi hankkeessa määritettiin huonetilojen kesäaikaisen lämpötilan ja jäähdytystehontarpeen mitoituspäivät ensimmäistä kertaa Suomessa. Hankkeen loppuraportti ja aineistot ovat vapaasti saatavilla ja hyödynnettävissä.

## LÄHDELUETTELO

1. Laukkarinen A, Jokela T, Vinha J, Pakkala T, Lahdensivu J, Lestinen S, Jokisalo J, Kosonen R, Lindfors A, Ruosteenoja K & Jylhä K (2022) Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoitussuhteet. Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeen loppuraportti. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>
2. Jylhä K, Ruosteenoja K, Böök H, Lindfors A, Pirinen P, Laapas M & Mäkelä A (2020) Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. <http://hdl.handle.net/10138/321164>
3. Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmän internet-sivut (Kosteusanalysointimenetelmä/Rakennusfysikaaliset mitoitusvuodet 2022): <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/>, viitattu 9.1.2023
4. Ilmatieteen laitoksen internet-sivut (Palvelut ja tuotteet/Rakentaminen ja kiinteistöhuolto/Rakennusfysiikka): <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/>, viitattu 9.1.2023
5. SFS-EN 15026 (2007) Hygrothermal performance of building components and building elements. Assessment of moisture transfer by numerical simulation. 25 s.
6. Vinha J, Laukkarinen A, Mäkitalo M, Nurmi S, Huttunen P, Pakkanen T, Kero P, Manelius E, Lahdensivu J, Köliö A, Lähdesmäki K, Piironen J, Kuhno V, Pirinen M, Aaltonen A, Suonketo J, Jokisalo J, Teriö O, Koskenvesa A & Palolahti T (2013) Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2949-8>
7. Ruosteenoja K, Jylhä K, Mäkelä H, Hyvönen R, Pirinen P & Lehtonen I (2013) Rakennusfysiikan testivuosiensa sääaineistot havaitussa ja arvioidussa tulevaisuuden ilmastossa. REFI-B-hankkeen tuloksia. <http://hdl.handle.net/10138/38648>
8. SFS-EN ISO 13788 (2013) Hygrothermal performance of building components and building elements. Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation. Calculation methods(ISO 13788:2012). 44 s.
9. YMa 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 19 s.