

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

2018

Rasmus Varheenmaa

VALESOKKELI- JA ULKOSEINÄRAKENTEEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN VARMISTAMINEN

Rasmus Varheenmaa

VALESOKKELI- JA ULKOSEINÄRAKENTEEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN VARMISTAMINEN

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella peruskorjatun rakennuksen valesokkeli- ja ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa. Ennen peruskorjausta valesokkeli- ja ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa on mallinnettu tietokoneohjelmien avulla. Mallinnuksen tulokset on esitetty aikaisemmin toteutetussa opinnäytetyössä. Peruskorjauksen yhteydessä korjattuun ulkoseinärakenteeseen on asennettu kosteusantureita, jotka mittaavat suhteellista kosteutta ja lämpötilaa tunnin välein. Antureiden mittaamat tulokset ovat luettavissa internetin kautta. Mittauksista saatuja tuloksia verrattiin aikaisemmassa opinnäytetyössä mallinnettuihin arvoihin. Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan tuloksilla tarkasteltiin myös rakenteiden homehtumisriskiä Suomalaisen homemallin laskentataulukon avulla. Myös Suomalaisen homemallin tuloksia verrattiin aikaisemman opinnäytetyön homehtumisriskin tarkasteluun.

Tehtyjen vertailujen perusteella havaittiin, että mitatut tulokset vastaavat mallinnuksessa tehtyjä johtopäätöksiä. Kriittisin tarkastelupiste sijaitsee ulkoseinärakenteen tuulettumattomassa ilmvälissä, jossa suhteellisen kosteuden arvot ovat jatkuvasti korkealla, eikä rakenne pääse kunnolla kuivumaan. Mitattujen tulosten vertailussa havaittiin, että ilmavälin kuivuminen vaihtelee rakennuksen eri osissa. Ulkoseinälinjalla sijaitsevien ikkunoiden alapuolisen seinärakenteen ilmväli on yläreunastaan avoin ulkoilmaan, joka aiheuttaa ilmvälissä pienen ilmanvaihtuvuuden. Tämä pienikin ilmanvaihtuvuus parantaa rakenteen kuivumiskykyä sekä vähentää homeen syntymisen riskiä rakenteissa. Ulkoseinälinjan osilla, joissa ei ole ikkunoita, ilmväliin ei aiheudu minkäänlaista ilmanvaihtuvuutta, joten rakenne ei pääse kuivumaan.

Tuulettumattomaan ilmväliin tulisi järjestää ilmanvaihtuvuus, jotta kosteuden kondensoitumisen ja homeen kasvun riskeiltä vältytään tulevaisuudessa. Myös rakenteeseen asennettujen kosteusanturien mittaamien arvojen seuranta tulee jatkaa, jotta mahdolliset ongelmat havaitaan hyvissä ajoin, tai parhaassa tapauksessa niiltä vältytään kokonaan.

ASIASANAT:

rakennusfysiikka, kosteus, ulkoseinä

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering, Structural Engineering

2018 | 30 pages, 10 pages in appendices

Rasmus Varheenmaa

VARIFYING THE MOISTURE PERFORMANCE OF FOUNDATION WALL AND EXTERIOR WALL

The aim of this bachelor's thesis was to examine moisture performance of renovated foundation wall and exterior wall. Before renovation the moisture performance of these structures was modelled and analyzed by using computer software. These modelled results are represented in another bachelor's thesis. Moisture sensors were installed in exterior wall during the renovation. These moisture sensors measure relative humidity and temperature once in an hour. The results can be read from the internet. Results were compared to the modelled results in the other thesis. Risk of mould growth was also examined by using the Finnish mould growth model and relative humidity and temperature values from moisture sensors. Results from the Finnish mould growth model were also compared to mould growth risk represented in the other thesis.

After comparing all the results to modelled results, was verified that measured values are similar to modelled values. The highest risk for mould growth and condensation of moisture is in the unventilated air layer of the exterior wall. At this point, relative humidity is very high continuously and the drying of the structure does not occur. It was noticed that the moisture performance of the exterior wall depends on the location of exterior wall around the building. In places where there are windows in facade, the air layer is connected to outside air from just under the window. This creates a small air ventilation to the air layer and helps the structure to dry and also decreases the risk of mould growth. In places where there are no windows in facade, the air layer has no connection of any kind to the outside air so the risk of moisture condensation and mould growth increases. Based on these conclusions, can be said that even a small air ventilation in the air layer prevents the risks of mould growth and condensation of moisture in the structures.

To avoid moisture condensation and mould growth there should be some kind of air ventilation in the air layer. It is recommended to analyze the results from moisture sensors on a regular basis. This helps to prevent the possible risks or even helps to avoid these risks entirely.

KEYWORDS:

structural physics, humidity, exterior wall

SISÄLTÖ

KÄYTETTY SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	8
2.1 Kosteustekninen suunnittelu	8
2.2 Toteutus ja ylläpito	9
2.3 Lämmön siirtymismuodot	9
2.4 Kosteuden siirtymismuodot	10
2.5 Kosteus- ja mikrobivauriot	11
2.5.1 Homeen kasvun olosuhteet	11
2.5.2 Suomalainen homemalli	12
3 TARKASTELTAVAT RAKENTEET JA KÄYTETTY MITTAUSLAITTEISTO	14
3.1 Mittauksessa käytettävä laitteisto	15
3.2 Mittauspisteiden sijainti rakennuksessa	15
3.3 Tarkastelupisteiden sijainti rakenteessa	15
4 MALLINNETTujen Tulosten Analysointi	17
4.1 Rakennusfysikaalisten laskentatarkastelujen toteutus	17
4.2 Mallinnuksen lähtötiedot	17
4.2.1 Käytetty ohjelmisto	17
4.2.2 Ilmasto-olosuhteet	18
4.2.3 Rakennusmateriaalien ominaisuudet	19
4.3 Mallinnetut tulokset	19
4.3.1 Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat	19
4.3.2 Homeindeksin arvot	21
5 MITATTUJEN Tulosten Analysointi	23
5.1 Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat	23
5.2 Homeindeksin arvot kosteusantureiden tuloksilla	26
6 YHTEENVETO	28

LIITTEET

Liite 1. Mallinnetut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat

Liite 2. Kosteusantureiden mittaamat suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat

KÄYTETTY SANASTO

Suhteellinen kosteus	Suhteellinen kosteus kuvaa ilman sisältämän vesihöyryn määrää suhteessa saman lämpöisen ilman maksimissaan sitomaan vesihöyryn määrään. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan prosentteina. (Siikanen 2014, 69.)
Valesokkeli	Valesokkelirakenteella tarkoitetaan rakennuksen perustusrakennetta, jossa ulkoseinän alaosa ulottuu maanpinnan tason alapuolelle. Valesokkeli antaa vaikutelman, että rakennuksen lattiataso olisi maanpinnan yläpuolella, vaikka todellisuudessa näin ei ole.
Wufi	Wufi on rakenteiden rakennusfysikaaliseen tarkasteluun kehitetty laskentaohjelma, jossa rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä voidaan tarkastella muuttuvissa olosuhteissa (Wufi® 2018a).

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella julkisen rakennuksen peruskorjatun ulkoseinä- ja valesokkelirakenteen kosteusteknistä toimintaa. Rakennuksen peruskorjauksen suunnitteluvaiheessa valesokkeli- ja ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa on mallinnettu Wufi®-simulointiohjelmilla. Simulointiohjelmista saaduilla kosteus- ja lämpötila-arvoilla on tarkasteltu myös homeen kasvun riskiä rakenteessa VTT:n ja TTY:n kehittämän Suomalaisen homemallin avulla. Rakenteisiin on peruskorjauksen yhteydessä asennettu RF SensIT Oy:n CMM-järjestelmän kosteusantureita, jotka mittaavat suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot tunnin välein. Mitatut arvot ovat luettavissa laitevalmistajan internetsivuilta. Tässä työssä verrattiin suunnitteluvaiheessa mallinnettuja arvoja rakenteista mitattuihin arvoihin sekä tarkasteltiin homeen kasvun mahdollisuuksia mitattuja kosteus- ja lämpötila-arvoja käyttämällä.

Tämän opinnäytetyön tilaajana on Sitowise Oy, joka on toiminut rakennuksen peruskorjauksen suunnittelijana. Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan mallintaminen on tehty opinnäytetyönä Sitowisen toimesta peruskorjauksen suunnittelun yhteydessä.

Työn aihe on hyvin ajankohtainen, sillä julkisten rakennusten kosteus-, home- ja sisäilmaongelmat ovat jatkuvasti keskustelunaiheena eri medioissa. Rakennusten kosteustekniseen toimintaan kiinnitetään aikaisempaa enemmän huomiota.

2 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

2.1 Kosteustekninen suunnittelu

Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan suunnittelu edellyttää lämpö- ja kosteusfysiikan teorian, rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisten ominaisuuksien sekä rakenteille syntyvien rasitusten tuntemista. Lämpö ja kosteus voivat siirtyä rakenteessa monin eri tavoin. Rakenteen kosteusteknisen toiminnan tarkasteluissa on otettava huomioon lämmön ja kosteuden eri siirtymismuodot sekä niiden yhteisvaikutukset. (Vinha ym. 2013, 42.) Rakenteita on tarkasteltava riittävän kriittisissä sisä- ja ulkoilman olosuhteissa sekä otettava huomioon tulevan ilmastomuutoksen aiheuttamat vaikutukset ja keskeiset ulkoilman olosuhdetekijät, kuten lämpötila, suhteellinen kosteus, sade, tuuli, auringon säteily ja rakennuksen pinnan lähettämä lämpösäteily. (RIL 107-2014, 12.)

Kiristyvät energiamääräykset sekä ennustettu ilmastomuutos nostavat rakenteiden kosteusteknisen suunnittelun vaatimuksia. Kosteusteknisessä suunnittelussa tulee ottaa huomioon rakenteiden toimivuuden lisäksi valittujen rakenneratkaisujen vaikutukset sisäilman laatuun sekä millaiset olosuhteet valittu rakenne tarjoaa homeen kasvulle. Eriyistä huomiota tulee kiinnittää rakennusvaipan sisäpinnan tiiveyteen, jotta rakenteisiin ei pääse kulkeutumaan haitallista kosteutta ja epäpuhtauksia. (RIL 255-1-2014, 36.) Korjausrakentaminen luo omat haasteensa kosteustekniseen suunnitteluun. Vanhat rakenteet saattavat olla kosteusteknisen toimivuuden kannalta virheellisiä, eikä kaikkia riskirakenteita aina pystytä purkamaan. Tällöin lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun ja tarkasteluiden merkitys korjatun rakenteen toimivuuden varmistamiseksi on tehtävä huolellisesti. (RIL 255-1-2014, 50.) Tässä työssä tarkasteltavan kohteen rakennuksen arkkitehtoniset vaatimukset ovat myös rajoittaneet käytettäviä rakenneratkaisuja ja sen myötä lisänneet kosteusteknisen suunnittelun merkitystä.

Rakennusten rakennusosat tulee suunnitella siten, että niiden lämpötekniiset ominaisuudet ovat sellaisia, jotka estävät haitallisen kosteuden tiivistymisen rakenteisiin sekä muodostavat käytettävälle tilalle tarkoituksenmukaiset lämpötilaolosuhteet. Lämpötekniisillä ominaisuuksilla tarkoitetaan mm. eristävyyttä ja tiiveyttä. (Siikanen 2014, 50.)

2.2 Toteutus ja ylläpito

Toteutusvaiheessa on pidettävä huolta, että suunnittelija ja varsinaisen työn toteuttaja ovat yhteistyössä keskenään. Tällä varmistetaan työn toteuttaminen suunnitelmien mukaan sekä suunnitelmien kehittäminen ja tarkentaminen vaaditut laatu- ja toimivuustavoitteet huomioon ottaen. (RIL 255-1-2014, 19.) Kosteustekniset suunnitteluratkaisut toteutetaan sovittuja laadunvarmistus- ja valvontamenettelyjä noudattaen. Erityisesti huomioon otettavia asioita ovat rakenteiden ja rakennusmateriaalien sääsuojaus sekä varastointi ja rakenteiden riittävät kuivumisajat. (RIL 107-2012, 12.)

Toteutusvaiheella on suuri merkitys rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta. Rakenteita voidaan mallintaa ja suunnitella ennen työmaavaihetta sekä yrittää löytää parhaat ratkaisut annettujen vaatimusten ja tavoitteiden nojalla. Suunnittelussa ei kuitenkaan huomioida työaikaisia virheitä, ja varsinkin korjausrakentamisessa on välillä hankalaa suunnitella kaikkea valmiiksi. Huolellinen työ, etenkin rakenneliitoksien toteutuksessa, on kosteusteknisen toiminnan kannalta merkittävää.

Rakennusten oikeanlaisesta kosteusteknisestä toiminnasta tulee huolehtia myös rakennuksen käytön aikana. Rakennuksen käyttäjän on tiedostettava mahdolliset kosteustekniset riskit ja osattava huolehtia esimerkiksi ilmanvaihdon oikeanlaisesta käytöstä, jotta vältetään sisäilman kosteuden kulkeutumisesta rakenteisiin.

2.3 Lämmön siirtymismuodot

Lämmön siirtymistä rakenteessa voi tapahtua kolmella tavalla. Yleisin lämmönsiirtymisilmiö rakenteissa on lämmön johtuminen. (Sisäilmayhdistys ry 2018b.) Lämmön johtumista voi esiintyä kiinteissä aineissa ja nesteissä. Johtumisessa lämpö pyrkii tasoittumaan väliaineessa virtaamalla lämpimästä kylmempään päin. Lämmön virtaaminen aiheutuu molekyylien liike-energian siirtymisestä molekyylistä toiseen. (Siikanen 2014, 40.)

Kun lämpöenergia siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana, on kyseessä konvektio. Ilman virtauksen mukana siirtyvä lämpö on yleensä kosteusvaurioiden kannalta tärkein tarkasteltava lämmön siirtymismuoto. Etenkin kylmän ulkoilman virtaaminen rakenteiden sisällä voi aiheuttaa rakenteen lämpötilan laskun, jonka seurauksena rakenteeseen voi syntyä kondenssiriski. (Sisäilmayhdistys ry 2018b.) Konvektion tapahtuessa ulkoisen

voiman vaikutuksesta, kuten tuuli, ihmisten liikkuminen tai koneellinen ilmanvaihto, puhutaan pakotetusta konvektiosta. Toinen konvektiotapaus on luonnollinen konvektio, jossa lämmön liikkeen saa aikaan lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero. Puhtaasti luonnollisen konvektion esiintyminen on harvinaista. (Siikanen 2014, 41.)

Kolmas lämmön siirtymisen muoto on säteily. Säteilyssä lämpöenergia siirtyy sähkömagneettisten aaltoliikkeiden välityksellä. Rakennustekniikassa tarkasteltava säteilylämpö esiintyy auringonsäteilynä sekä kappaleiden säteilemänä lämpönä. Auringonsäteily on lyhytaaltoista säteilyä ja kappaleiden säteily pitkäaaltoista säteilyä. (Siikanen 2014, 40.)

2.4 Kosteuden siirtymismuodot

Vesihöyryn osapaine-erot rakenteen eri puolilla aiheuttavat vesihöyryn kulkeutumisen korkeamman vesihöyryn osapaineen alueelta matalamman osapaineen aluetta kohti. Tätä tapahtumaa kutsutaan *vesihöyryn diffuusioksi*. Yleisimmin diffuusio tapahtuu lämpimän tilan puolelta kohti kylmempää tilaa, mutta joissakin tapauksissa diffuusion suunta voi olla myös päinvastainen. (Siikanen 2014, 71.) Haitallinen vesihöyryn diffuusio ulkoseinärakenteen läpi pyritään estämään asentamalla lämmöneristyksen ja lämpimän sisäilmatilan väliin tiivis ja yhtenäinen ainekerros, jonka vesihöyrynvastus on riittävän korkea (RIL 255-1-2014, 41).

Konvektiossa vesihöyry siirtyy ilmavirtausten mukana rakenteiden läpi. Ilmavirtaukset aiheutuvat ilman kokonaispaine-eroista rakenteiden eri puolilla. Konvektio pystyy kuljettamaan moninkertaisen määrän kosteutta diffuusioon verrattuna. Siksi haitallisten ilmavirtausten estäminen rakenteiden läpi on hyvin tärkeää. Erityisesti talviaikaan rakenteessa sijaitsevien reikien tai halkeamien läpi tapahtuva pakotettu ilmavirtaus on suuri riski rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta. Kun lämmintä ilmaa virtaa sisältä ulos, ilma kuljettaa mukaan kosteutta, joka kylmemmässä ilmatilassa tiivistyy vedeksi, ja voi näin aiheuttaa rakenteen sisälle kosteusvaurioita. (Siikanen 2014, 71.) Haitallisten ilmavirtausten estämiseksi rakenteissa käytetään ilmansulkukerrosta, joka sijoitetaan höyrynsulun tavoin rakenteen lämpimälle puolelle sisäpinnan läheisyyteen. Usein höyrynsulku- ja ilmasulkurakenteena toimii sama rakennekerros, esimerkiksi höyrynsulku-muovi. (RIL 255-1-2014, 41.)

Kapillaarinen kosteuden siirtyminen rakenteessa aiheutuu huokoisalipaineen paikallisista eroista huokoisessa rakenteessa. Vesi voi huokoisessa aineessa siirtyä

kapillaarisesti kaikkiin suuntiin. (Sisäilmayhdistys ry 2018a.) Kapillaarinen vedenliike aiheutuu rakenteen pyrkimyksestä saavuttaa kapillaarinen tasapainokosteus. Kapillaarista veden siirtymistä huokoiseen rakenteeseen pyritään estämään esimerkiksi kermillä, muovilla tai muulla tiiviillä pintakerroksella. (Siikanen 2014, 68.)

2.5 Kosteus- ja mikrobivauriot

Rakenteiden kosteusvauriot voivat aiheutua mm. rakennusosien kostumisesta, jatkuvasta korkeasta kosteuspitoisuudesta ja puutteellisesta rakenteen kuivumisesta. Rakenteisiin voi syntyä merkittäviä vaurioita myös silloin, jos rakenteeseen tiivistynyt kosteus pääsee kylmän talven aikana jäätymään. Lyhytaikainen kosteus ja sitä seuraava rakenteen hyvä kuivuminen ei aiheuta mikrobien kasvua rakenteessa. Jos kuitenkin rakenteet pysyvät pitkään liian kosteina, on vaarana, että rakenteeseen alkaa kasvaa mikrobeja. Mikrobi on yleisnimitys home- ja lahottajasisienille sekä hiivoille ja bakteereille. (Siikanen 2014, 65.)

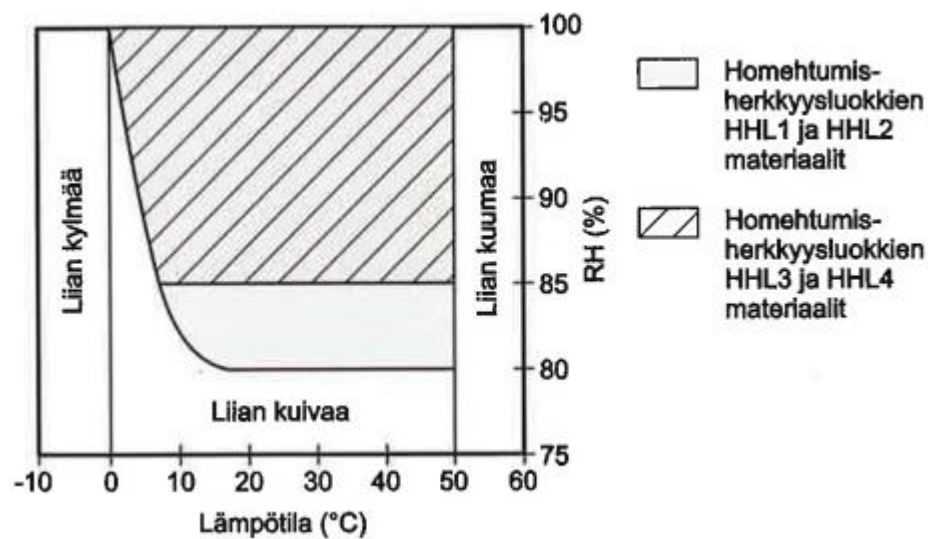
2.5.1 Homeen kasvun olosuhteet

Rakennusmateriaalit voidaan jakaa homehtumisherkkyytensä perusteella neljään eri homehtumisherkkyyssluokkaan. Luokassa 1 ovat kaikkein herkimmin homehtuvat materiaalit, kuten puu, ja luokassa 4 ovat kestävimät materiaalit, kuten lasi ja metalli. (RIL-255-1-2014, 61.) Homehtumisherkkyyssluokat on esitetty taulukossa 1.

Homeiden kasvu vaatii aina riittävästi kosteutta ja kasvulle suotuisan lämpötilan (Sisäilmayhdistys ry 2018c). Otollisimmat ilman kosteusolosuhteet homeen kasvun kannalta ovat silloin, kun ilman suhteellinen kosteus ylittää 80 % RH:n homehtumisherkkyyssluokan ollessa HHL1 tai HHL2. Kestävämmät materiaalit, jotka kuuluvat homehtumisherkkyyssluokkiin HHL3 ja HHL4, vaativat homeen kasvun alkamiseksi ilman suhteellisen kosteuden olevan vähintään 85 % RH. Homeen kasvulle suotuisa lämpötila on 0 °C:n ja +50 °C:n välillä. (RIL-255-1-2014, 62.) Mikrobeiden kasvu voi päättyä hetkellisesti, jos olosuhteet muuttuvat mikrobeiden kasvun suhteen epäedullisiksi. Jos olosuhteet kuitenkin palaavat takaisin tarpeeksi lämpimään ja kosteaan tilaan, jatkavat mikrobit taas kasvuaan. (RT 05-10710 1999, 6.) Kuviossa 1 on esitetty homeen kasvulle suotuisia olosuhteita eri homehtumisherkkyyssluokissa.

Taulukko 1. Rakennusmateriaalien luokittelu homehtumisherkkyysluokkiin (RIL-255-1-2014, 61).

Homehtumisherkkyysluokka	Rakennusmateriaali
Hyvin herkkä HHL1	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
Herkkä HHL2	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
Kohtalaisen kestävä HHL3	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
Kestävä HHL4	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit



Kuvio 1. Homeen kasvulle suotuisat olosuhteet eri homehtumisherkkyysluokissa (RIL255-1-2014, 61).

2.5.2 Suomalainen homemalli

Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Tampereen teknillinen yliopisto TTY ovat yhdessä kehittäneet Suomalaisen homemallin, jolla voidaan laskennallisesti tarkastella homeen

kasvua eri materiaaleissa ja niiden pinnoilla. Suomalaisessa homemallissa homeen kasvua kuvataan suurella M, joka tarkoittaa homeindeksiä. Homeindeksi voi saada arvoja 0–6, nollan ollessa pienimmän homehtumisriskin arvo. (Tampereen teknillinen yliopisto 2017.) Homeindeksin eri luokitusarvot on esitetty taulukossa 2.

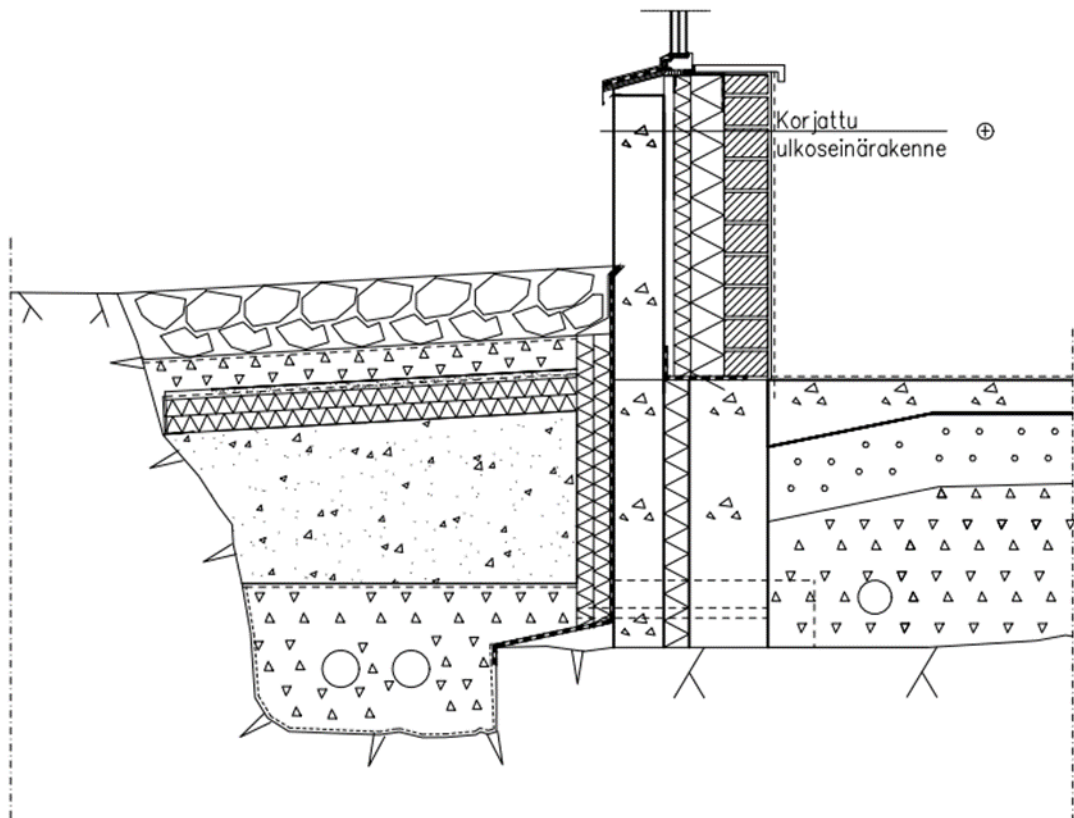
Taulukko 2. Suomalaisen homemallin mukaiset homeindeksin luokitusarvot (RIL-255-1-2014).

Home-indeksi M	Havaittu homeenkasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla). Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut.
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmällä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

Suomalainen homemalli on Excel-muodossa oleva laskentataulukko, johon syötetään tarkasteltavan materiaalin homehtumisherkkyyssluokka, homeen taantumaluokka sekä tarkasteltavassa pisteessä vallitsevat lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvot tunnin välein mitattuna. Suomalainen homemalli on maailman edistynein homeen kasvun tarkastelun apuväline. Se pohjautuu VTT:n aikaisemmin kehittämään homemalliin, jolla voitiin tarkastella homeen kasvua vain puumateriaaleissa. Kehittyneempi Suomalainen homemalli ottaa laskennassa huomioon homeen taantumisen olosuhteiden muuttuessa kasvulle epäedullisiksi. Se ei kuitenkaan ota kantaa homeen haitallisuudesta terveydelle, vaan kuvaa ainoastaan homeen kasvua materiaalien pinnoilla. (Tampereen teknillinen yliopisto 2017.) Kun homemallin tarkastelua tehdään kahden eri homehtumisherkkyyssluokan materiaalin rajapinnassa, homehtumisen katsotaan tapahtuvan homehtumisherkkyyssluokaltaan herkemman materiaalin mukaan (RIL 255-1-2014, 62).

3 TARKASTELTAVAT RAKENTEET JA KÄYTETTY MITTAUSLAITTEISTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kuvassa 1 esitetyn korjatun valesokkeli- ja ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa jatkuvan kosteuden seurannan mittauslaitteistoa apuna käyttäen. Korjaustyön yhteydessä ulkoseinärakenteeseen on asennettu suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mittaavia antureita. Korjaustyön suunnitteluvaiheessa kyseisen rakennemallin kosteusteknistä käyttäytymistä on mallinnettu tietokoneohjelmilla. Mallinnetut tulokset ovat esitetty korjauksen suunnittelun yhteydessä tehdyssä opinnäytetyössä, johon tämän työn yhteydessä mitattuja tuloksia tullaan vertaamaan.



Kuva 1. Valesokkeli- ja ulkoseinärakenteen rakenneleikkaus (Ruutikainen 2017, 20).

Korjatun ulkoseinärakenteen rakenneosat ulkoa sisälle päin lueteltuna ovat seuraavallaiset:

- 150 mm:n teräsbetoniseinä
- 30 mm:n ilmaväli + kuumasinkitty teräsprofiili betonirunkoon kiinnitettynä

- 50 mm:n SPU-levy Kingspan Therma TW57
- 100 mm:n XPS-lämmöneriste Finnfoam FL 300
- Tectis Euratex AL -höyrynsulkumuovi
- 130 mm:n kalkkihiekkatiili Kahi NKH.

3.1 Mittauksessa käytettävä laitteisto

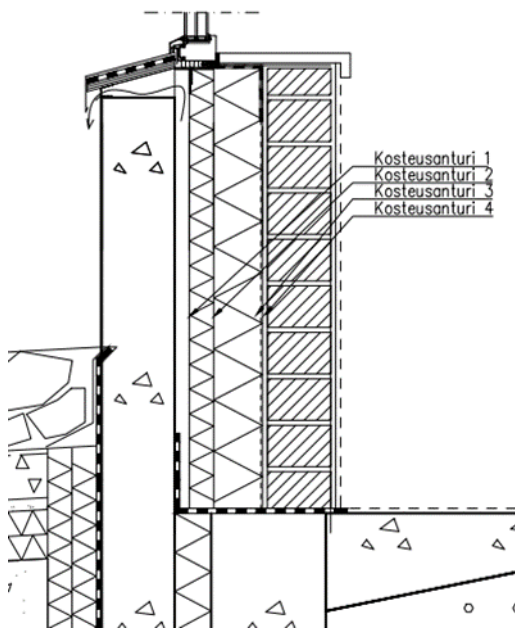
Kosteuden ja lämpötilan arvojen mittauksessa on käytetty RF SensIT Oy:n CMM-järjestelmää. Järjestelmä koostuu anturimoduuleista, tukiasemista sekä tietoa keräävästä ja analysoivasta verkkopalvelusta. Rakenteeseen asennettavat anturimoduulit lähettävät mittausdataa langattomasti tukiasemille. Tukiasemilta data siirtyy verkkopalvelimelle kiinteään tai 3G-verkon kautta. Verkkopalvelimen keräämä tieto on luettavissa internetin kautta, eikä mittauskäyntejä paikan päällä tarvita. Järjestelmän anturimoduuli koostuu neljästä mittapäätästä, jotka mittaavat suhteellista kosteutta ja lämpötilaa tunnin välein. Järjestelmä on kehitetty osana Rakenteisiin Integroitavien Kosteusanturien Luotettavuus-tutkimushanketta, johon on osallistunut mm. Aalto-yliopisto, VTT, Senaatti kiinteistöt sekä monia suomalaisia teknologiayrityksiä. (RF SensIT 2018.)

3.2 Mittauspisteiden sijainti rakennuksessa

Mittauspisteitä on sijoitettu kolmeen eri paikkaan eri puolilla rakennusta. Mittauspisteet on valittu siten, että mittaustuloksia saadaan eri ilmansuunnista, jolloin voidaan arvioida myös auringon säteilyn vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Mittauspisteiksi on valittu sellaisia rakennuksen tiloja, joissa on havaittu kosteusongelmia ennen peruskorjausta. (Ruutikainen 2017, 36.)

3.3 Tarkastelupisteiden sijainti rakenteessa

Jokaisessa mittauspisteessä on yksi RF SensIT -anturimoduuli, joka koostuu neljästä kosteusanturista. Kosteusantureiden paikat rakenteessa on määritetty peruskorjauksen suunnittelun yhteydessä Wufi®-ohjelman tarkastelupisteiden perusteella. (Ruutikainen 2017, 36.) Kosteusantureiden paikat rakenteessa on esitetty kuvassa 2 ja taulukossa 3.



Kuva 2. Tarkastelupisteiden sijainti rakenteessa (Ruutikainen 2017, 37).

Taulukko 3. Tarkastelupisteiden sijainti rakenteessa (Ruutikainen 2017, 37).

Kosteusanturin numero	Anturin paikka rakenteessa
1	Ilmaväli
2	Eristekerrosten väli
3	Sisäpuolisen eristeen sisäpinta
4	Tiilen ja höyrynsulkumuovin väli

4 MALLINNETTUJEN TULOSTEN ANALYSOINTI

4.1 Rakennusfysikaalisten laskentatarkastelujen toteutus

Rakennusfysikaalisten laskentatarkastelujen käyttö suunnittelun tukena on yleistymässä monista syistä johtuen. Nykyään käytössä on monia laskentaohjelmia, joihin on mahdollista mallintaa entistä monimutkaisempia ja yksityiskohtaisempia rakenteita. Malleihin on mahdollista tuoda keskeisiä ulko- ja sisäilman olosuhteita sekä lämmön ja kosteuden eri siirtymismuotoja. Tarkentuva tieto käytettävien rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisista ominaisuuksista lisää mallinnuksen luotettavuutta. Rakennusfysikaalisia laskentatarkasteluja voidaan hyödyntää tutkiessa ennustetun ilmastonmuutoksen vaikutusta rakenteiden käyttäytymiseen sekä optimoidessa käytettävien rakennusmateriaalien menekkejä, kuivumisaikoja, kustannuksia sekä energiankulutusta. (RIL-255-1-2014, 54.)

Rakennusfysikaalisten mallinnuksien ja laskelmien teko ja analysointi edellyttävät ammattitaitoa ja tuntemusta rakenteiden kosteusteknisestä käyttäytymisestä ja ominaisuuksista. Laskentatarkasteluissa on usein tarpeen tehdä yleistyksiä ja yksinkertaistuksia, jotka voivat aiheuttaa laskentatuloksiin merkittäviä virheitä. Siksi laskennan tekijän on tarpeen tiedostaa mahdollisten yksinkertaistuksien vaikutukset laskennan tuloksiin. (RIL-255-1-2014, 56–57.)

4.2 Mallinnuksen lähtötiedot

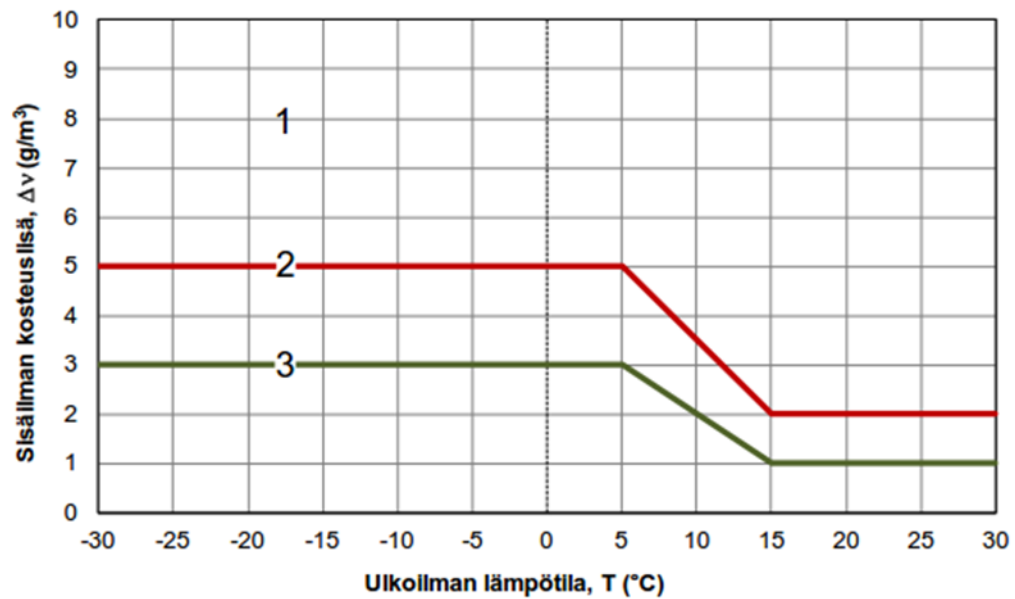
4.2.1 Käytetty ohjelmisto

Tässä työssä tarkasteltavan rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä on mallinnettu Wufi® Pro - ja Wufi® 2D -ohjelmilla (Ruutikainen 2017, 17). Wufi® Pro -ohjelmalla voidaan mallintaa rakenteiden kosteus- ja lämpötekniistä toimintaa yksiulotteisesti. Ohjelma ottaa laskennassa huomioon mm. viistosateen ja auringon säteilyn vaikutuksen. (Wufi® 2018c.) Wufi® 2D -ohjelmalla voidaan puolestaan mallintaa rakenneliitoksia kaksiulotteisesti (Wufi® 2018b). Wufi® 2D -ohjelman käyttö on Wufi® Pro -ohjelmaa haastavampaa, ja myös laskenta-aika on huomattavasti pidempi.

4.2.2 Ilmasto-olosuhteet

Ulkoilman olosuhteina mallinnuksessa on käytetty rakennusfysikaalisten testivuosien Vantaan ilmasto-olosuhteita (Ruutikainen 2017, 23). Rakennusfysikaaliset testivuodet ovat rakennusten lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa sekä sisäilman laadun laskennallisia tarkasteluja varten kehitetyt ilmastolliset testivuodet. Testivuosia valittaessa on tutkittu vuosina 1980–2009 Vantaalla, Jokioisissa, Jyväskylässä ja Sodankylässä tehtyjä säähavaintoja. Näiden säähavaintojen perusteella testivuosiksi on valittu Jokioinen 2004 ja Vantaa 2007. Valittujen vuosien aikana sääolosuhteet ovat aiheuttaneet poikkeuksellisia riskejä homeen kasvulle ja kosteuden tiivistymiselle rakenteisiin. (Ilmatieteenlaitos 2014.) Rakennusfysikaaliset testivuodet on määritetty osana Tampereen teknillisen yliopiston teettämää FRAME-hanketta, jossa on edellä mainittujen kahden testivuoden lisäksi määritetty testivuodet tulevaisuuden ilmasto-olosuhteille vuosille 2050 ja 2100. Tulevaisuuden testivuosien olosuhteet perustuvat Ilmatieteen laitoksen laatimaan ennusteeseen ilmastomuutoksen vaikutuksista Suomen sääolosuhteisiin. (Vinha ym. 2013, 1.)

Sisäilman kosteuslisän arvo on määritetty kosteusluokan 2 mukaan (Ruutikainen 2017, 27). Eri kosteusluokkia on olemassa kolme, joista jokaiselle luokalle on määritetty oma kosteuslisän arvo. Kosteuslisä kertoo, kuinka paljon suurempi on sisäilman vesihöyrypitoisuus verrattuna ulkoilman vesihöyrypitoisuuteen. Kosteusluokan, ja sitä myötä käytettävän kosteuslisän arvon, valintaan vaikuttaa tarkasteltavan rakennuksen käyttötarkoitus. Kosteusrasitetuimmat tilat, kuten uimahallit, pesulatilat ja kasvihuoneet, kuuluvat kosteusluokkaan 1 ja saavat suurimman kosteuslisän arvon. Asuin- ja majoitusrakennukset sekä toimistotilat saavat kosteusluokan 2 mukaisen kosteuslisän arvon, vapaaajan asunnot sekä varastot kuuluvat kosteusluokkaan 3. (RIL-255-1-2014, 71.) Sisäilman eri kosteusluokkien kosteuslisän arvot ovat esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Sisäilman kosteuslisän arvot eri kosteusluokissa (RIL 107-2012, 24).

4.2.3 Rakennusmateriaalien ominaisuudet

Wufi®-ohjelmalla on olemassa oma materiaalitietokantansa, josta laskennan tekijä voi valita käytettävän materiaalin. Mikäli tietokannasta ei tarvittavaa materiaalia löydy, voi käyttäjä luoda myös oman haluamansa materiaalin ja tallentaa sen laskentaohjelmistoon muistiin. Tässä työssä tarkasteltavan rakenteen materiaalien ominaisuuksina on käytetty Wufin® oman materiaalitietokannan ominaisuuksia, tuotetoimittajalta saatuja arvoja sekä rakennusfysikaalisissa tutkimuksissa esitettyjä arvoja (Ruutikainen 2017, 29).

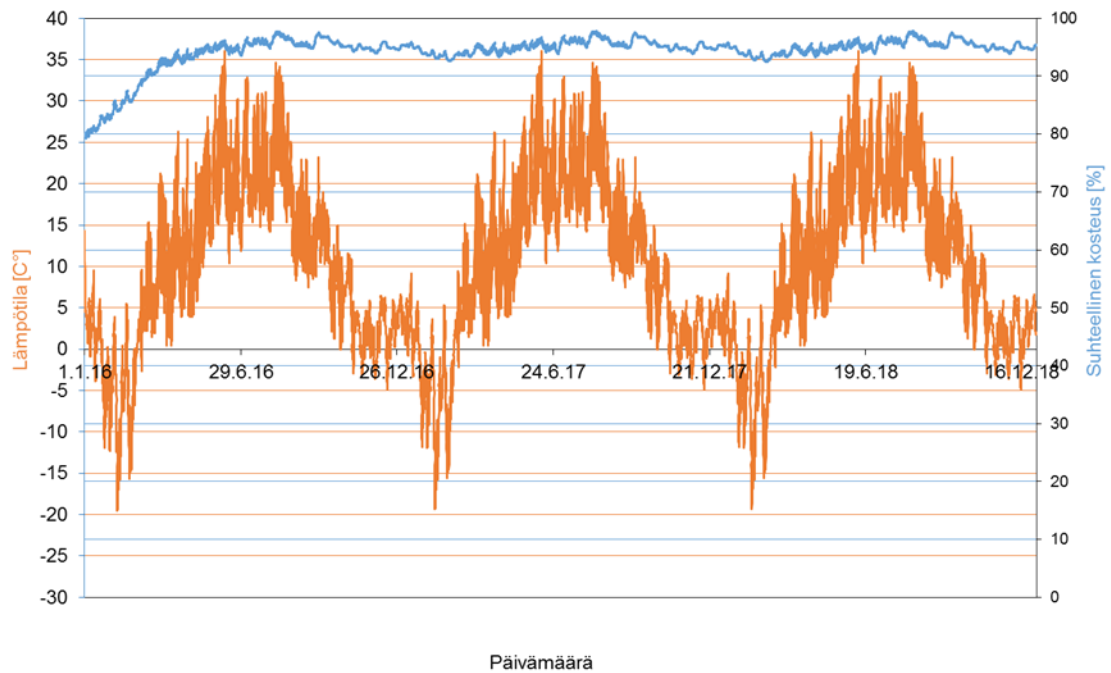
4.3 Mallinnetut tulokset

Peruskorjauksen yhteydessä tehtyjen mallinnusten laskennassa tarkastellun ajanjakson pituutena on käytetty 3 vuotta (Ruutikainen 2017, 29).

4.3.1 Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat

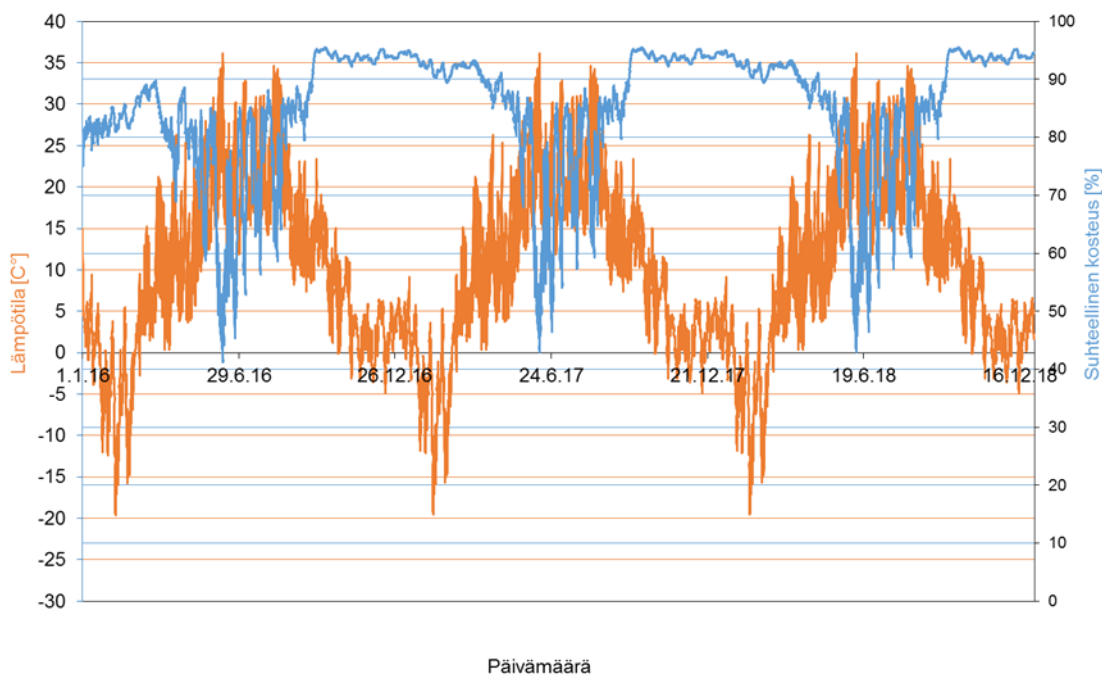
Peruskorjauksen suunnitteluvaiheessa mallinnettujen tulosten perusteella on todettu, että rakenteen riskialttein piste sijaitsee betonisen ulkokuoren ja eristekerroksen välisessä ilmatilassa (Ruutikainen 2017, 39). Tämä vastaa asennettujen kosteusanturien

osalta kosteusanturin 1 sijaintia. Mallinuksista huomataan, että ilmavälin suhteellisen kosteuden arvo on jatkuvasti korkealla. Tässä mallinnustapauksessa ilmaväliin ei ole huomioitu minkäänlaista ilmanvaihtuvuuden arvoa. Tämä johtuu siitä, että korjatun rakenteen ilmaväliin ei ole järjestetty varsinaista tuuletusreittiä, josta ilma pääsisi kiertämään ja kuivattamaan ilmaväliin tiivistyvää kosteutta. (Ruutikainen 2017, 31.)



Kuvio 3. Mallinnetut tulokset, ei tuuletusta, tarkastelupiste 1 (Ruutikainen 2017, 32).

Samaa rakennetta on mallinnettu myös niin, että ilmaväliin on oletettu pieni ilmanvaihtuvuus. Tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden arvona on käytetty 10 1/h, joka vastaa tiilimuuratun julkisivun tuuletusta. Saatujen tuloksien perusteella tuuletuksen järjestäminen parantaa rakenteen kuivumiskykyä ja pienentää kosteuden tiivistymisen riskiä ilmavälissä. Ilmavälin tuuletuksen järjestäminen vaatisi reikien tekemistä betoniseen ulkoseinään sekä maanpinnan alapuolisen betonisokkelin vedeneristeen rei'ittämistä, mikä voisi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa lisäriskiä kosteuden kulkeutumiselle maaperästä rakenteeseen. Myös kyseisen rakennuksen arkkitehtuuri vaikuttaa tuuletusreittien järjestämiseen. (Ruutikainen 2017, 30.)



Kuvio 4. Mallinnetut tulokset, tuuletus 10 1/h, tarkastelupiste 1 (Ruutikainen 2017, 33).

Edellä esitetyissä mallinnuksen tuloksissa ulkoilman olosuhteina on käytetty rakennusfysikaalisten testivuosien vuoden 2007 Vantaan arvoja (Ruutikainen 2017, 32–33). Mallinnetut tulokset ovat esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1. Peruskorjauksen suunnittelun yhteydessä mallinnus on toteutettu tuulettavana rakenteena myös Vantaa 2050 testivuoden arvoilla (Ruutikainen 2017, 54). Vantaa 2050 arvoilla saatuja tuloksia ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

4.3.2 Homeindeksin arvot

Mallinnuksesta saatujen kosteuden ja lämpötilan arvojen avulla on arvioitu rakenteiden homehtumisriskiä. Homehtumisriskin arvioinnissa on käytetty VTT:n ja TTY:n kehittämää Suomalaista homemallia ja sen laskentakaavoja, joilla saadaan kullekin tarkastelupisteelle oma homeindeksin arvo. Homeindeksin laskennassa käytetyt suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot ovat saatu Wufi®-ohjelman tiedostoista. (Ruutikainen 2017, 11.) Homemallin tulokset on esitetty taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Homeindeksin arvot mallinnetuilla suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvoilla, ei tuuletusta (Ruutikainen 2017, 44).

Kosteusanturi	Materiaali	HHL	Homeindeksin arvo
1	PU-eriste	3	2,82
2	PU-eriste	3	0,27
3	XPS	3	0
4	Kalkkiahiekkatiili	3	0

Taulukko 5. Homeindeksin arvot mallinnetuilla suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvoilla, tuuletus 10 1/h (Ruutikainen 2017, 45).

Kosteusanturi	Materiaali	HHL	Homeindeksin arvo
1	PU-eriste	3	0,15
2	PU-eriste	3	0
3	XPS	3	0
4	Kalkkiahiekkatiili	3	0

Laskennallisissa tarkasteluissa homeindeksin sallittuna maksimiarvona voidaan pitää arvoa $M < 1$, jolloin homeen kasvua ei ole päässyt tapahtumaan (RIL-255-1-2014, 64). Mallinnettujen tulosten perusteella tehdyillä homeen kasvun tarkasteluilla huomataan, että betonisen ulkokuoren ja lämmöneristekerroksen välisessä tuulettumattomassa ilmvälissä homeindeksin arvo kohoaa sallittua korkeammalle. Tuuletetussa rakenteessa homeindeksin arvo ilmvälissä on huomattavasti pienempi, mikä johtuu ilmvälin pienemmästä kosteusrasituksesta tuulettumattomaan rakenteeseen verrattuna.

5 MITATTUJEN TULOSTEN ANALYSOINTI

Kosteusanturien mittaamat todelliset rakenteen suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot ovat luettavissa kosteusanturien tuotevalmistajan järjestämän internetlinkin kautta. Tässä opinnäytetyössä mitattuina tuloksina käytetään aikavälillä 26.10.2016–6.3.2018 mitattuja arvoja.

5.1 Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat

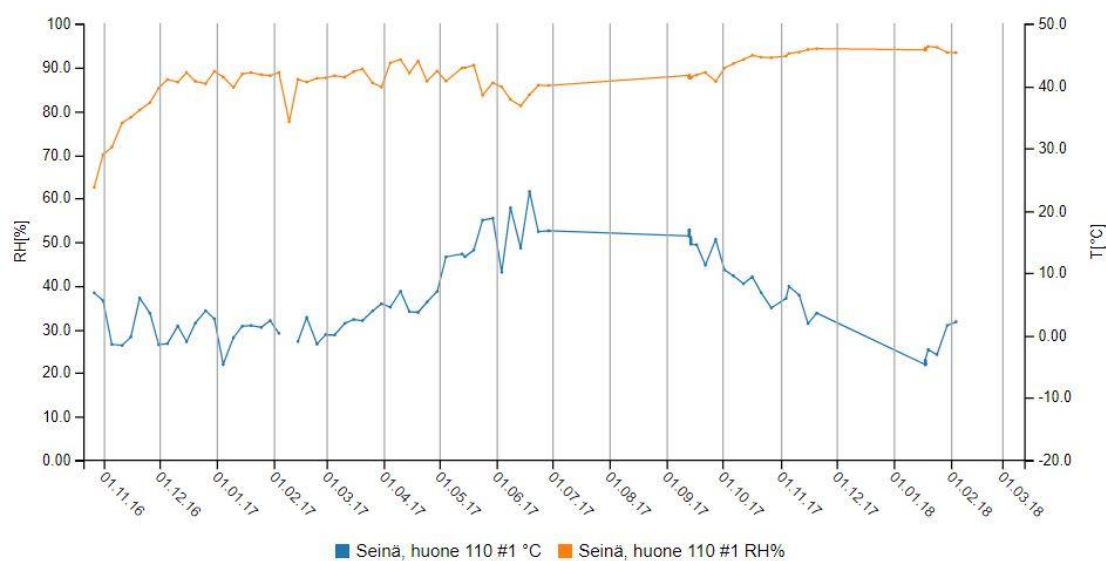
Rakenteeseen asennettujen kosteusanturien mittaamat lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvot ovat saatavilla kuvaajina suoraan laitevalmistajan internetsivujen kautta. Kuvaajat on eritelty tarkastelupisteittäin. Kuvaajien tarkastelija voi itse valita, minkä kosteusanturin mittaamia tietoja haluaa kuvaajalla nähtävän. Kuvaajalle voi valita näkyviin kunkin kosteusanturin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden käyrät joko erikseen tai samanaikaisesti. Näin käyttäjä voi helposti nähdä samalta kuvaajalta esimerkiksi, kuinka suhteellinen kosteus eroaa toisistaan eri kosteusanturien kohdalla. Mitatut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat ovat esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 2.

Mitattujen arvojen perusteella saatavilla olevat suhteellisen kosteuden ja lämpötilan käyrät osoittavat, että eri huonetoista mitatut arvot vaihtelevat huonekohtaisesti. Huoneen 110 osalta suhteellisen kosteuden ja lämpötilan käyrät vastaavat arvoiltaan lähes tuulettumattomana mallinnetun rakenteen käyriä. Huoneiden 155 ja 178 osalta käyrät piirtyvät muotoon, joka on lähempänä ilmanvaihtuvuudella 10 1/h mallinnettuja käyriä. Kun huonetta 110 verrataan tuulettumattomaan ja huoneita 155 ja 178 verrataan tuuletettuun rakenteeseen, voidaan kaikkien huoneiden osalta yhteisesti todeta, että suhteellisen kosteuden arvot ovat olleet hieman pienempi kuin mallinnetuissa kuvioissa. Kriittisimmäksi pisteeksi jokaisessa huoneessa suhteellisen kosteuden perusteella arvioituna muodostui betonisen ulkokuoren ja eristeiden välinen ilmaväli.

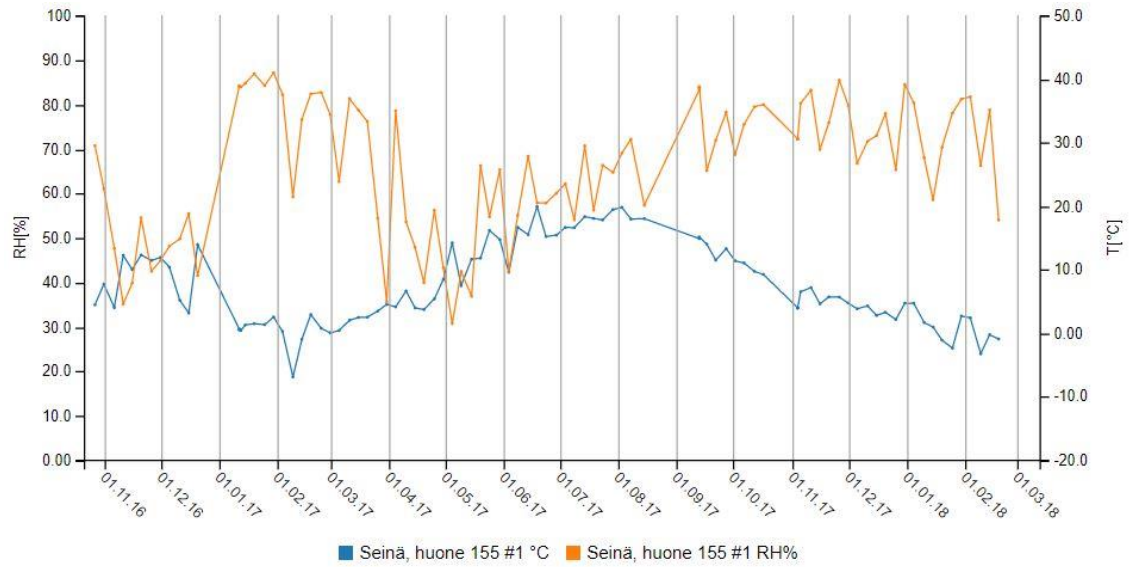
Suhteellisen kosteuden pienemmät arvot mallinnettuihin arvoihin verrattuna johtuvat siitä, että mallinuksessa on käytetty rakenteen kosteustekniselle toiminnalle epäsuotuisampia olosuhteita, kuin mitä todellisten mittausten aikana on ollut.

Huoneen 110 mittaustulosten selkeä ero huoneisiin 155 ja 178 verrattuna johtuu mittauspisteiden sijainnista. Huoneiden 155 ja 178 mittauspisteiden kosteusanturit sijaitsevat

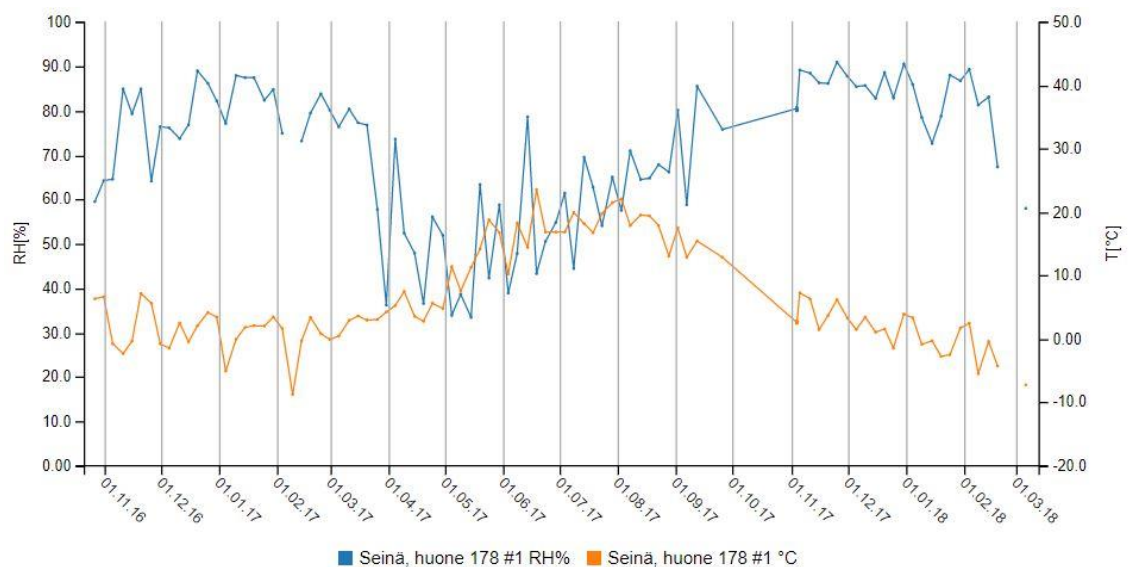
ikkunan alapuolisessa ulkoseinärakenteessa. Näiden mittauspisteiden osalta ulkoseinän ja ikkunan alareunan liitoskohdassa ilmaväli on avoimessa yhteydessä ulkoilmaan, kuten kuvassa 2, joka aiheuttaa ilmaväliin pienen ilmanvaihtuvuuden. Huoneen 110 mittauspisteen kosteusanturit sijaitsevat seinärakenteessa, jonka kohdalla ei ole ikkunaa, joten ilmavälin ja ulkoilman välillä ei ole minkäänlaista yhteyttä. Tästä syystä huoneen 110 osalla ilmavälissä ei synny ilmanvaihtuvuutta. Voidaan siis todeta, että vähäinenkin ilmavälin yhteys ulkoilmaan parantaa ilmavälin tuuletusta ja kuivattaa sinne syntyvää kosteutta.



Kuvio 5. Mitatut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat, huone 110, tarkastuspiste 1.



Kuvio 6. Mitatut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat, huone 155, tarkastuspiste 1.



Kuvio 7. Mitatut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat, huone 178, tarkastuspiste 1.

Jokaisen mittauspisteen kuvioissa havaitaan paikoitellen pitkiäkin mittauskatkoja, joiden ajalta tuloksia ei ole saatavilla. Mittauskatkojen osalta tuloksia tulee tulkita oletuksia tehden, jolloin on otettava huomioon, että tehdyt oletukset eivät välttämättä vastaa todellisuutta. Syitä mittauskatkojen aiheutumisiin tulee tiedustella laitevalmistajan taholta. Tuloksia on hyvä tulkita hieman kriittisesti esimerkiksi mittausvirheiden mahdollisista

esiintymisistä johtuen. Yleisesti ottaen tuloksia voidaan kuitenkin pitää luotettavina sekä realistisina. Tuloksien tulkinta ja johtopäätösten teko vaativat tulkitsijalta hyvää rakennusfysiikan asiantuntemusta ja perehtymistä tarkasteltaviin rakenteisiin.

5.2 Homeindeksin arvot kosteusantureiden tuloksilla

Tässä työssä homeen kasvuriskiä rakenteessa tarkasteltiin VTT:n ja TTY:n kehittämän Suomalaisen homemallin avulla. Rakenteisiin asennettujen kosteusantureiden mittaamat suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot ovat saatavilla laitevalmistajan sivuilta Excel-tulosteena. Näistä Excel-tulosteista suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot siirrettiin Suomalaisen homemallin Excel-laskentapohjaan, jonka avulla tarkasteltiin homeen kasvuriskiä jokaisessa kosteusanturin pisteessä yksittäin. Laskentapohjaan syötettiin mallinnusta vastaavat materiaalien homehtumisherkkyysluokan sekä taantuma-luokan arvot. Kosteusantureiden mittaamien suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvojen avulla lasketut homeindeksien arvot ovat esitetty taulukoissa 6, 7 ja 8.

Taulukko 6. Homeindeksit huone 110.

Kosteusanturi	Materiaali	HHL	Homeindeksin arvo
1	PU-eriste	3	0,09
2	PU-eriste	3	0
3	XPS	3	0,004
4	Kalkkihiekkatiili	3	0,084

Taulukko 7. Homeindeksit huone 155.

Kosteusanturi	Materiaali	HHL	Homeindeksin arvo
1	PU-eriste	3	0
2	PU-eriste	3	0
3	XPS	3	0
4	Kalkkihiekkatiili	3	0

Taulukko 8. Homeindeksit huone 178.

Kosteusanturi	Materiaali	HHL	Homeindeksin arvo
1	PU-eriste	3	0,003
2	PU-eriste	3	0
3	XPS	3	0
4	Kalkkihiekkatiili	3	0,081

Suurin homeindeksin arvo saavutetaan huoneen 110 kosteusanturin 1 mittaamalla arvoilla. Tämä vastaa suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvioiden perusteella tehtyä oletusta, sillä kyseisessä pisteessä suhteellisen kosteuden arvot ovat jatkuvasti muiden huoneiden ja pisteiden arvoja suurempia.

Kuitenkin mitattu homeindeksin maksimiarvo $M = 0,09$ on selkeästi pienempi, kuin aikaisemmassa opinnäytetyössä tehtyjen mallinnusten perusteella voitiin olettaa. Tehtyjen tarkastelujen perusteella tämä johtuu mallinnuksen ja mittauksen välisestä suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvojen eroista. Mallinnetuissa laskentatarkasteluissa suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvot ovat korkeampia ja jatkuvampia kuin mitatuissa tuloksissa. Kun tarkasteltavassa pisteessä suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat pitkäjaksoisesti korkealla, homeen kasvun riski nousee selvästi. Kun otetaan huomioon homeindeksin sallittu maksimiarvo $M < 1$, voidaan todeta, että tehtyjen tarkastelujen perusteella rakenteisiin ei ole toistaiseksi syntynyt riskiä homeen kasvulle.

Lisäksi on otettava huomioon, että kosteusantureiden mittauksessa esiintyvät ajoittaiset, paikoitellen hyvin pitkäkestoisetkin, mittauskatkot voivat vääristää homeindeksin laskennan tuloksia. Myös tarkasteltavan ajanjakson pituusero mallinnuksen ja mittauksen välillä voi aiheuttaa eroa tulosten välillä. Homemallista saatuihin laskentatuloksiin tulee suhtautua varauksellisesti, sekä on muistettava, että arvot ovat vain suuntaa antavia.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella peruskorjatun valesokkeli- ja ulkoseinä-rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Tarkastelu tehtiin peruskorjauksen yhteydessä ulkoseinä-rakenteeseen asennettujen kosteusantureiden avulla. Antureita oli asennettu kolmeen huonetilaan, joissa ennen peruskorjausta on havaittu kosteusvaurioita. Kosteusanturit mittaavat tarkastelupisteen suhteellista kosteutta ja lämpötilaa tunnin välein. Mitatut tulokset luettiin laitevalmistajan internetlinkin kautta. Mitattujen tuloksien avulla tarkasteltiin myös rakenteiden homehtumisriskiä VTT:n ja TTY:n kehittämän Suomalaisen homehallin laskentataulukolla.

Kosteusanturien mittaamia tuloksia ja niiden avulla arvioitua homehtumisriskiä verrattiin peruskorjauksen suunnittelun yhteydessä suoritettuihin rakennusfysikaalisiin mallinnuksiin. Mallinnus oli toteutettu Wufi®-simulointiohjelmalla, jolla voidaan mallintaa rakenteiden rakennusfysikaalista käyttäytymistä muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. Wufi®-simulointien perusteella oli myös arvioitu rakenteiden homehtumisriskiä Suomalaisen homehallin avulla.

Kosteusanturien mittaamia tuloksia analysoitaessa havaittiin, että mitatut tulokset vastaavat suurpiirteittäin suunnittelun yhteydessä tehtyjä simulointeja. Kriittisin tarkastelupiste mittausten ja simulointien perusteella sijoittui betonisen ulkokuoren ja lämmöneristeiden väliseen ilmatilaan. Simuloinnissa käytetyt ilmasto-olosuhteet ovat homeen kasvun ja kosteuden kondensoitumisen kannalta suotuisampi kuin todellisen mittausjakson aikana vallinneet ilmasto-olosuhteet. Tästä johtuen mitatut arvot ovat rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta parempia, kuin simulointien perusteella odotettiin.

Kun kosteusanturien mittaamia arvoja verrattiin huoneiden välillä keskenään, havaittiin, että arvot vaihtelevat. Vaihtelun aiheuttaa tarkasteltavan huonetilan ulkoseinän rakenneliittymät. Kahden huoneen mittauspisteiden osalla ulkoseinässä on ikkunat. Kolmannessa mittauspisteessä ikkunoita ei ole. Ikkunallisissa tiloissa ulkoseinä-rakenteen il-maväli on ikkunan liitoskohdassa avoimessa yhteydessä ulkoilmaan. Tämä yhteys aiheuttaa il-maväliin pienen ilmanvaihtuvuuden, joka parantaa rakenteen kuivumista. Tilassa, jossa ei ole ikkunoita, il-maväliin ei aiheudu ilmanvaihtuvuutta ja suhteellinen kos-teus il-mavälissä on jatkuvasti koholla.

Toistaiseksi vaurioita rakenteisiin ei ole syntynyt, mutta tuulettumaton ilmaväli aiheuttaa rakenteeseen riskin kosteuden kondensoitumiselle sekä homeen kasvulle. Ilmavälin tuuletusta tulisi parantaa tiloissa, joissa ulkoseinälinjalla ei ole ikkunoita, jolloin riskit pienevät. Myös rakenteisiin asennettujen kosteusanturien mittaamien tuloksien seuraamista tulee jatkaa säännöllisin väliajoin, jotta mahdollisesti syntyvät ongelmat havaitaan aikaisessa vaiheessa tai voidaan estää kokonaan.

LÄHTEET

Ilmatieteen laitos 2014 Rakennusfysiikan ilmastolliset testivuodet. Viitattu 16.3.2018 <http://ilmatieteenlaitos.fi/rakennusfysiikan-ilmastolliset-testivuodet>.

RF SensIT 2018 Palvelut ja teknologia. Viitattu 7.4.2018 <http://rfsensit.fi/palvelut-ja-teknologia/>.

RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje. 4. painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ruutikainen, P. 2017. Valesokkeli- ja ulkoseinärakenteen rakennusfysikaalinen mallintaminen. Opinnäytetyö. Rakennustekniikka. Talonrakennustekniikka. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.4.2018 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130208/Ruutikainen_Pekka.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys ry 2018a. Terveelliset tilat. Kosteusvauriot. Kosteustekninen toiminta. Kosteuden siirtyminen. Viitattu 12.3.2018 <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>.

Sisäilmayhdistys ry 2018b. Terveelliset tilat. Kosteusvauriot. Kosteustekninen toiminta. Rakenteiden lämpötekniikka. Viitattu 15.3.2018 <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka>.

Sisäilmayhdistys ry 2018c. Terveelliset tilat. Kosteusvauriot. Mikrobit. Mikrobikasvun edellytykset. Viitattu 6.3.2018 <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>.

Tampereen teknillinen yliopisto 2017. Suomalainen homemalli. Viitattu 7.4.2018 <http://www.tut.fi/fi/tutkimus/tutkimusalat/rakennustekniikka/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/index.htm>.

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. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti 159. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennustekniikka. Viitattu 4.3.2018 [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/ilmastonmuutoksen-ja-lammoe-neristyksen-lisayksen-vaikutukset-vaipparakenteiden-kosteusteknisessa-toiminnassa-ja-rakennusten-energiankulutuksessa\(9092ab78-5ecf-4dc1-a53f-8eb20ad62d3c\)/export.html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/ilmastonmuutoksen-ja-lammoe-neristyksen-lisayksen-vaikutukset-vaipparakenteiden-kosteusteknisessa-toiminnassa-ja-rakennusten-energiankulutuksessa(9092ab78-5ecf-4dc1-a53f-8eb20ad62d3c)/export.html).

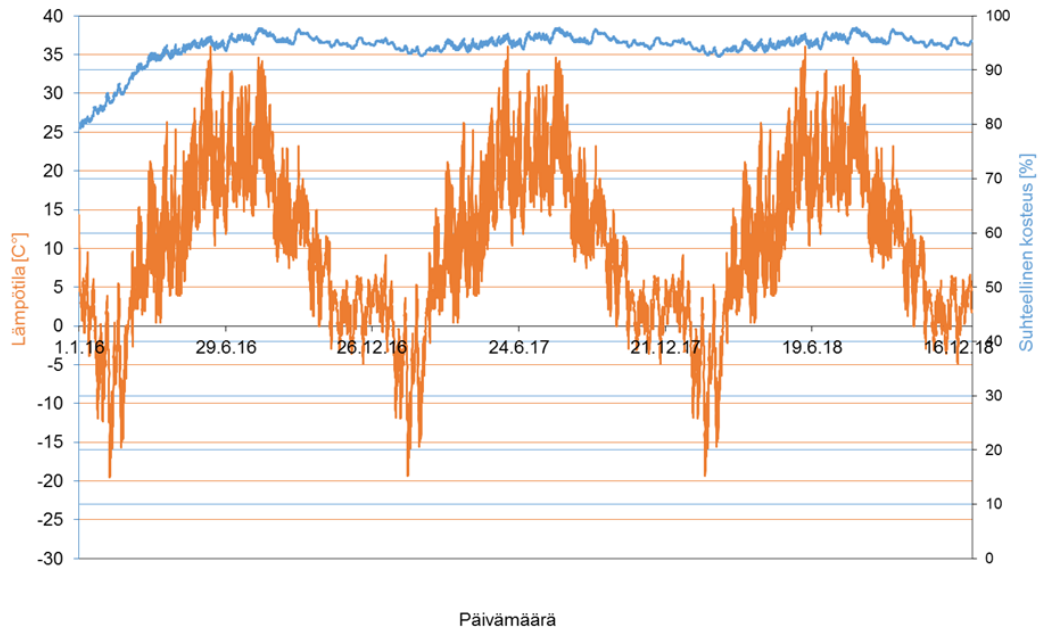
Wufi®. 2018a. Software. What is Wufi? Viitattu 21.4.2018 <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>.

Wufi®. 2018b. Wufi 2D. Viitattu 8.4.2018 <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/>.

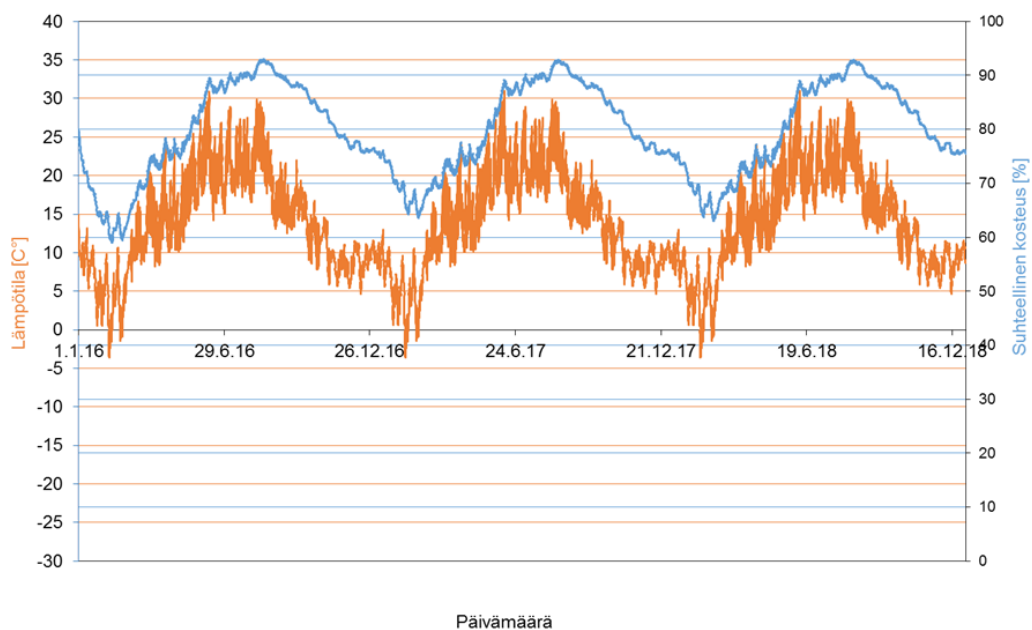
Wufi®. 2018c. Wufi Pro. Viitattu 8.4.2018 <https://wufi.de/en/software/wufi-pro/>.

Liite 1. Mallinnetut suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat.

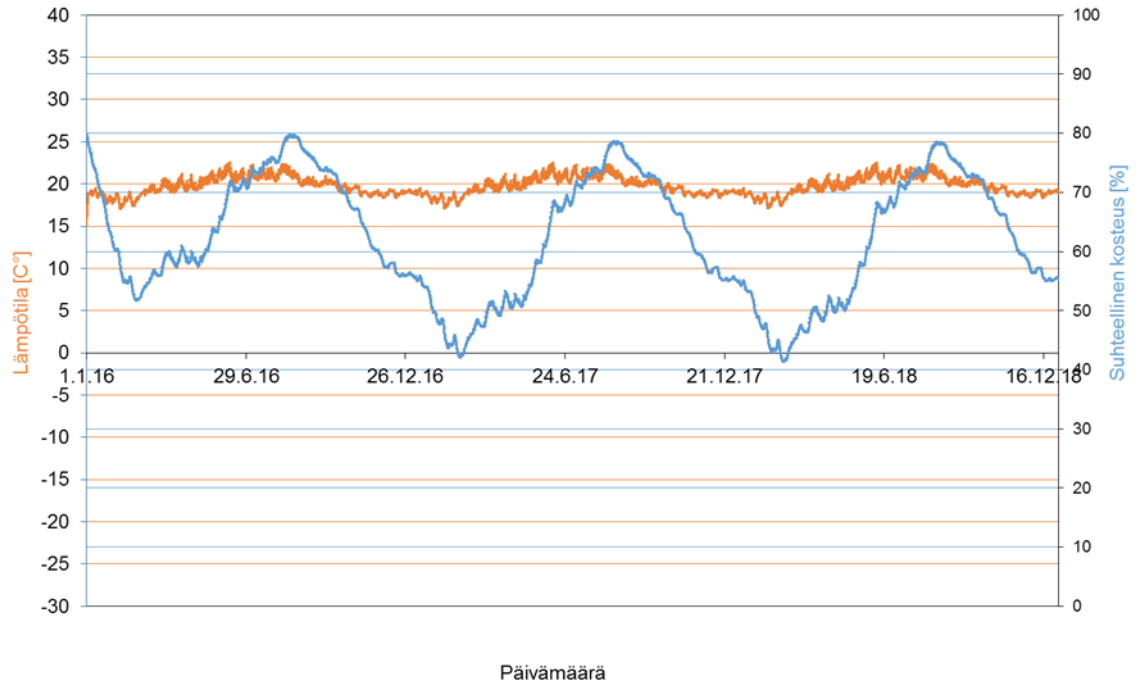
Tarkastelupiste 1, tuuletusväli, ei tuuletusta.



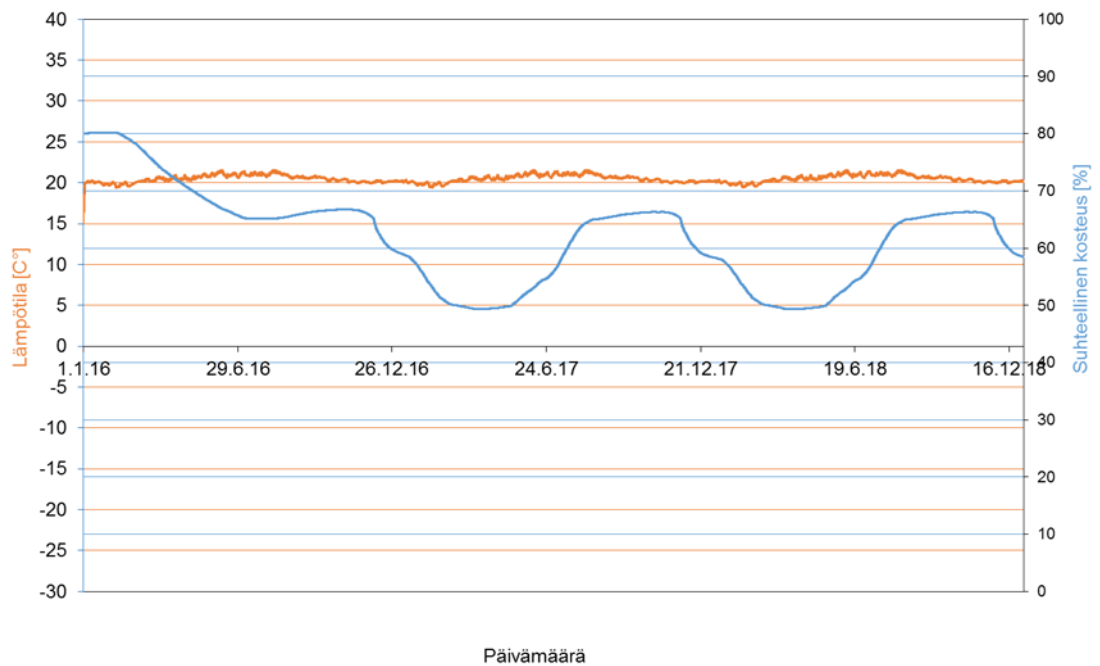
Tarkastelupiste 2, eristekerrosten väli, ei tuuletusta.



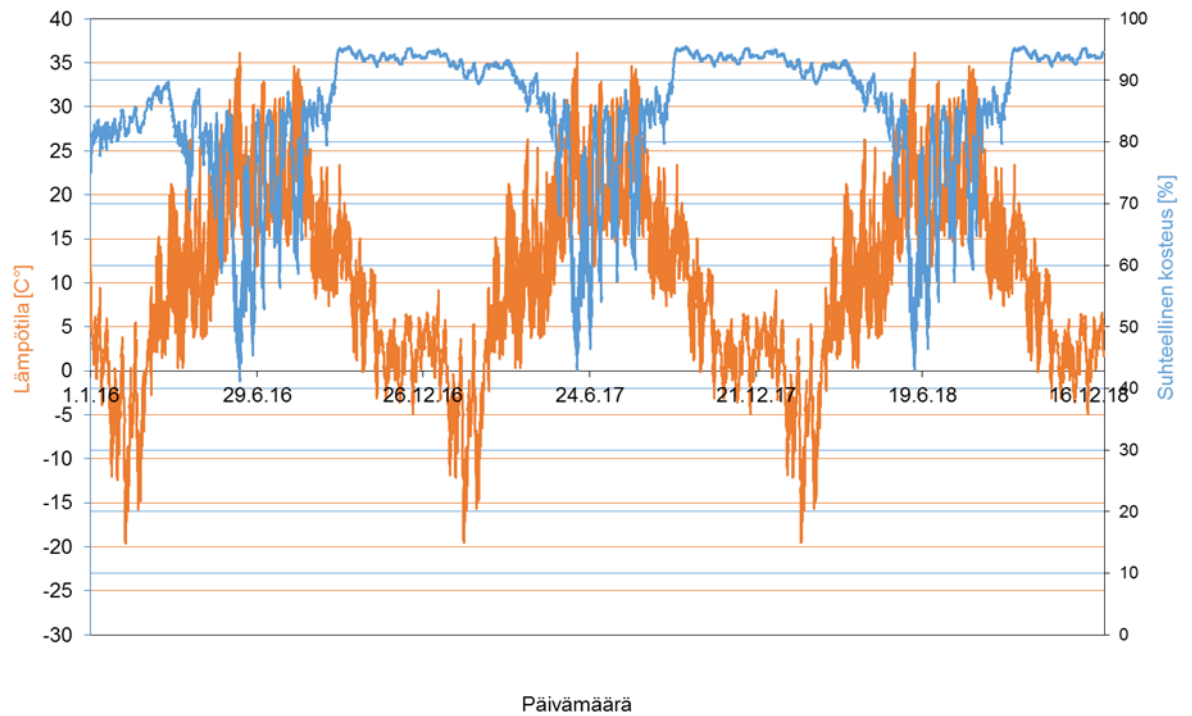
Tarkastelupiste 3, sisäpuolisen eristeen sisäpinta, ei tuuletusta.



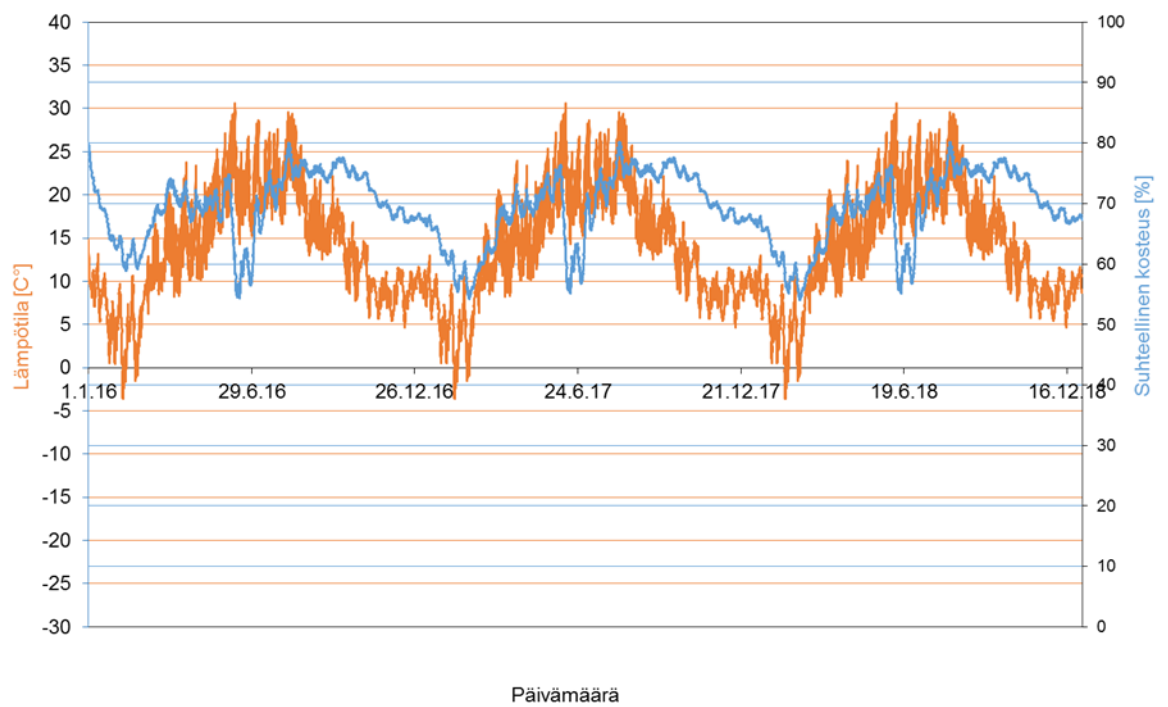
Tarkastelupiste 4, tilien ja höyrynsulkumuovin väli, ei tuuletusta.



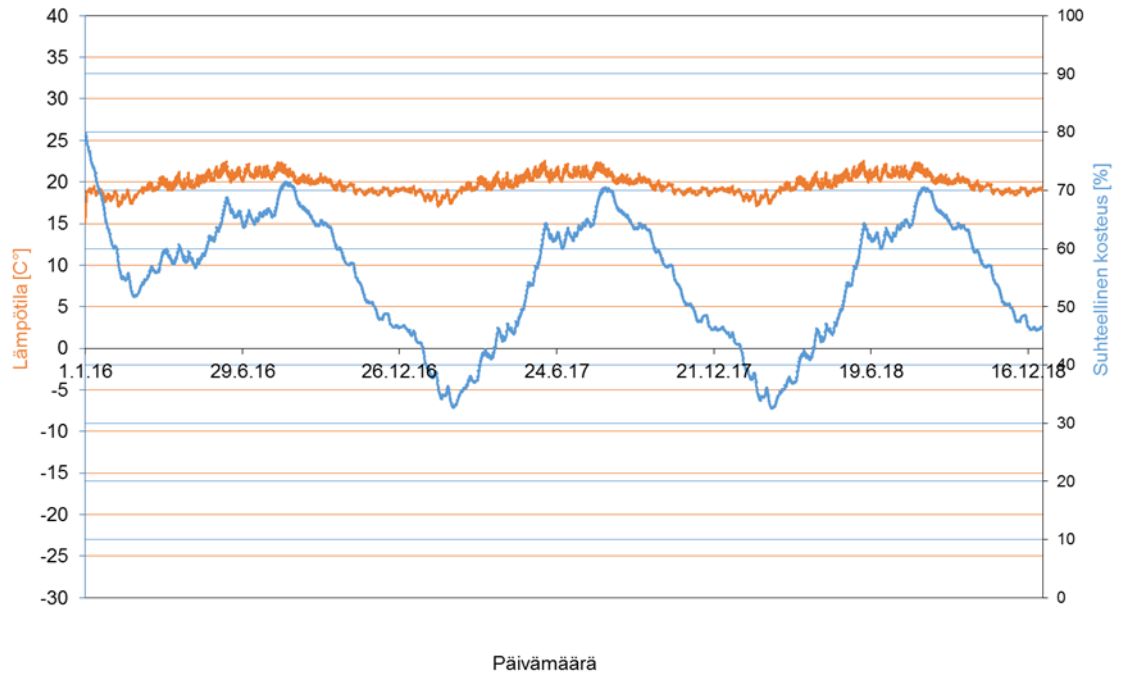
Tarkastelupiste 1, tuuletusväli, ilmanvaihtuvuus 10 1/h.



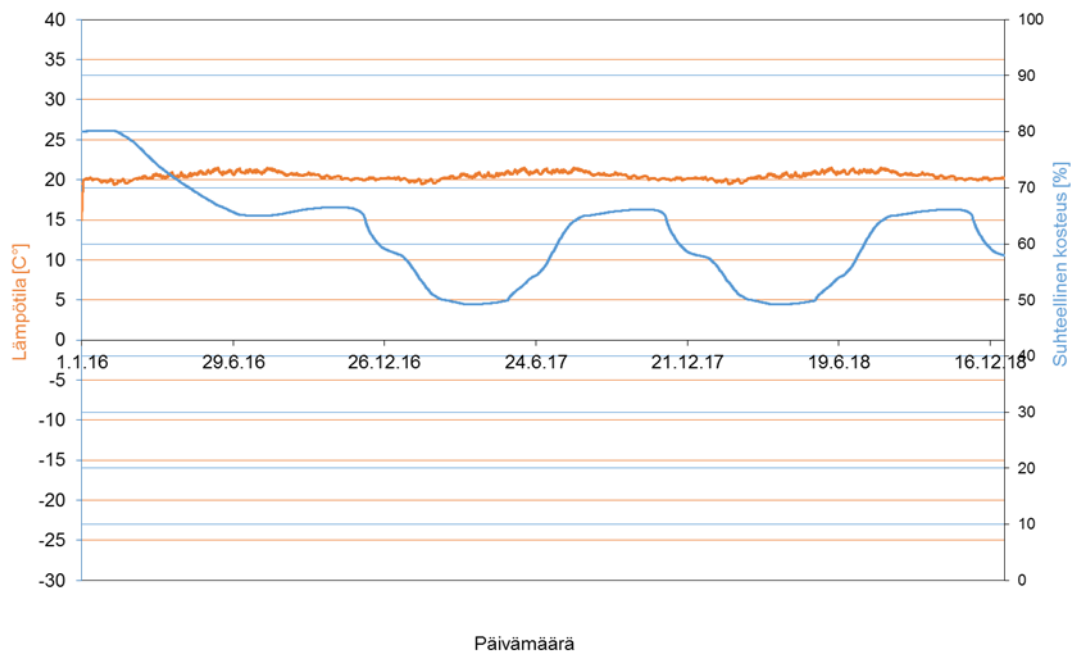
Tarkastelupiste 2, eristekerrosten väli, ilmanvaihtuvuus 10 1/h.



Tarkastelupiste 3, sisäpuolisen eristeen sisäpinta, ilmanvaihtuvuus 10 1/h.

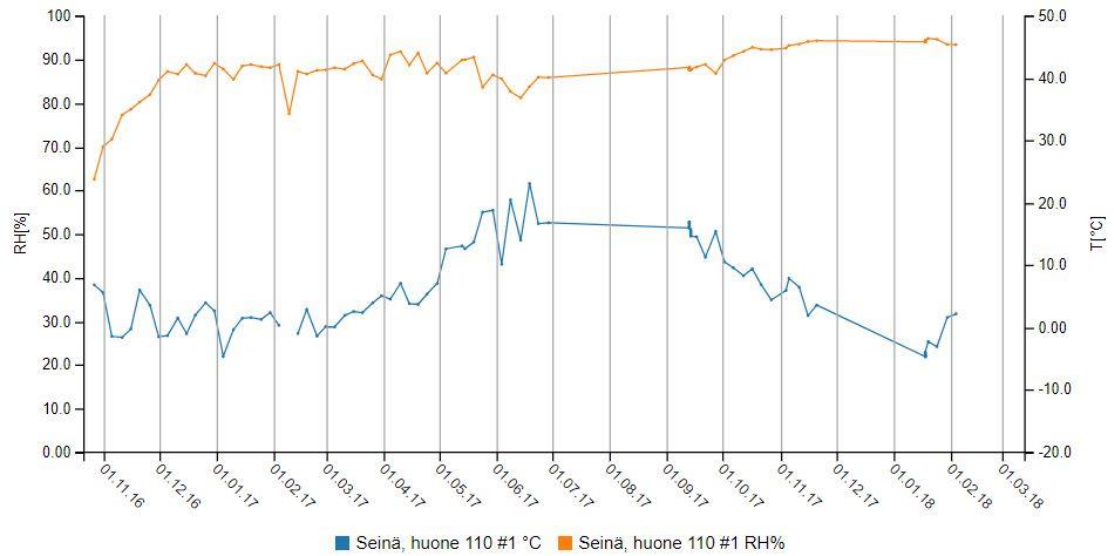


Tarkastelupiste 4, tiilen ja höyrynsulkumuovin väli, ilmanvaihtuvuus 10 1/h.

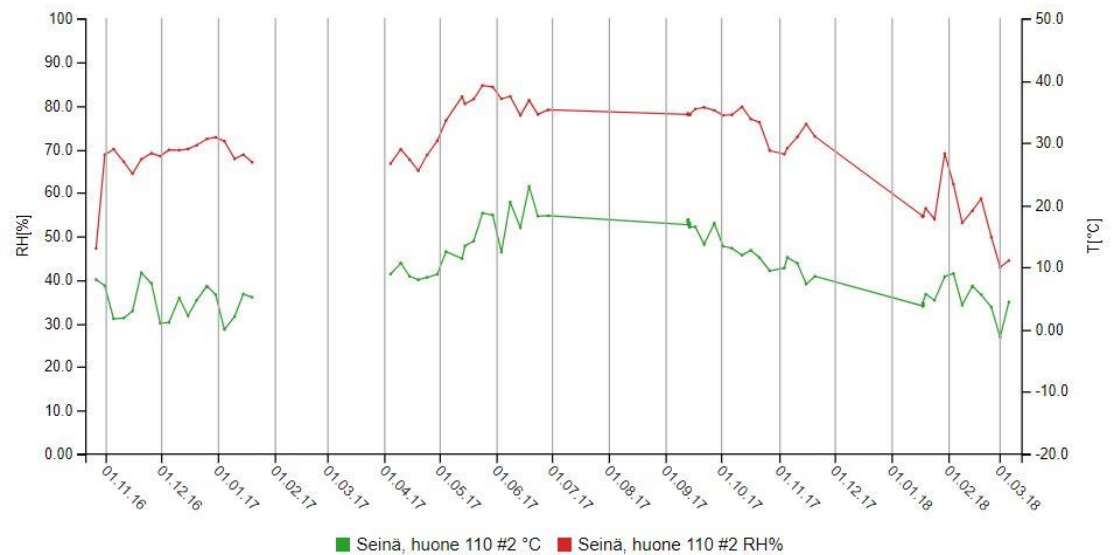


Liite 2. Kosteusantureiden mittaamat suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat.

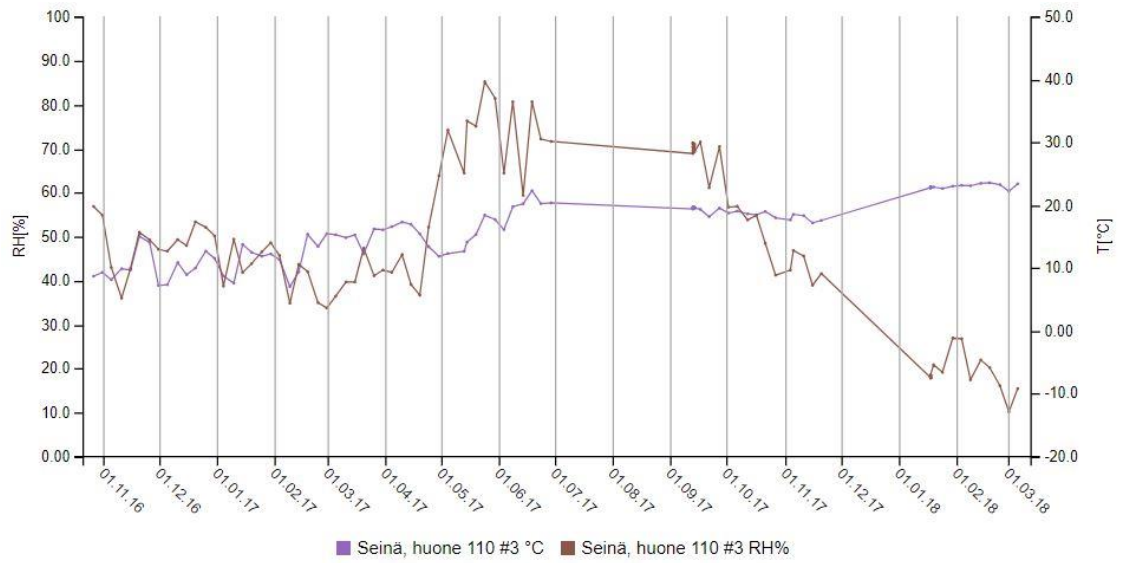
Huone 110, kosteusanturi 1, tuuletusväli.



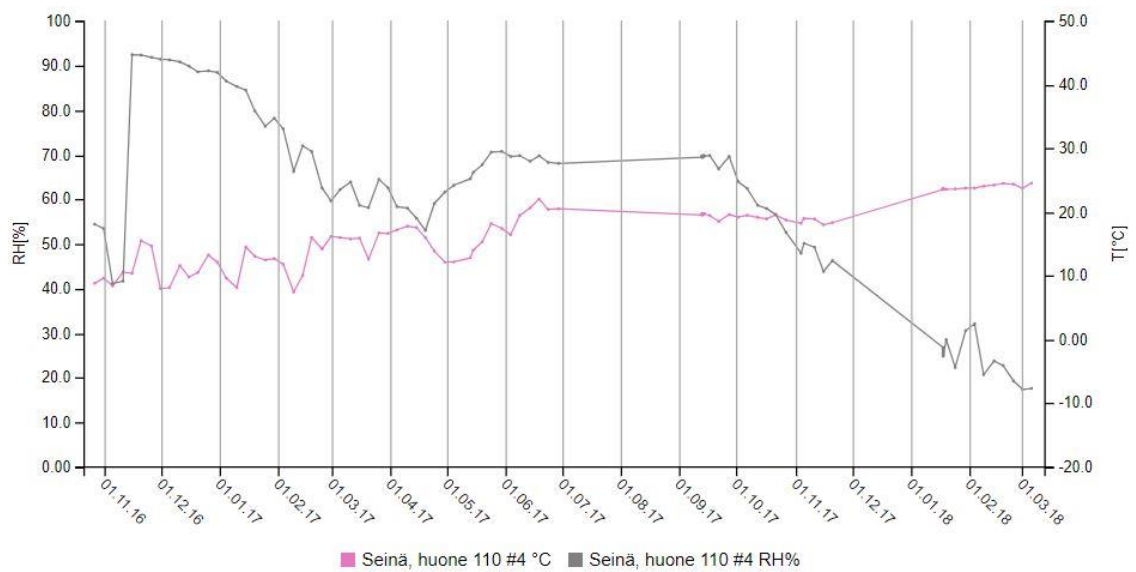
Huone 110, kosteusanturi 2, eristekerrosten väli.



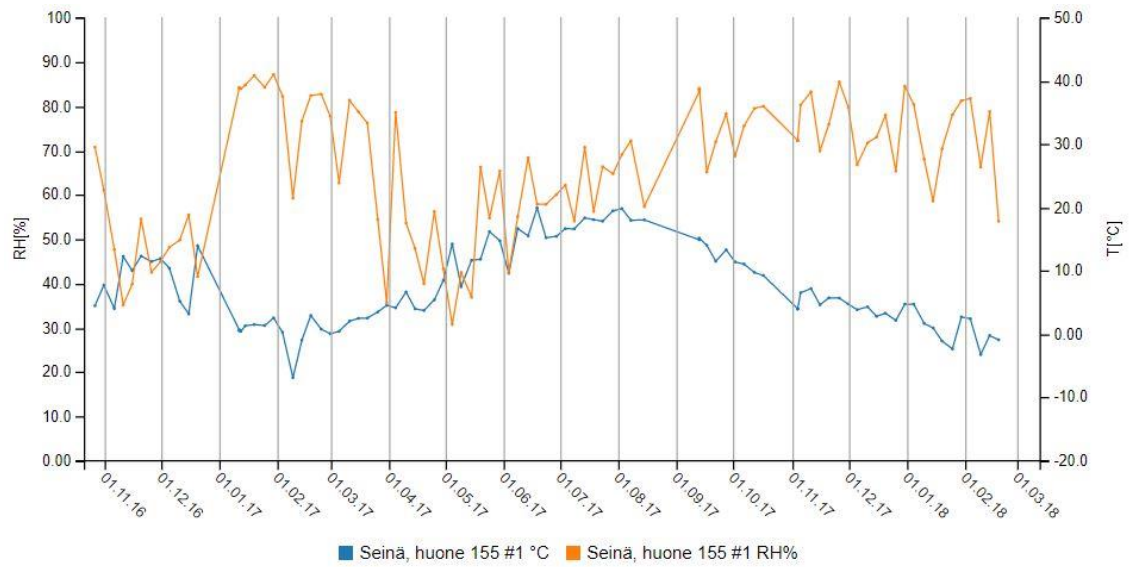
Huone 110, kosteusanturi 3, sisäpuolisen eristeen sisäpinta.



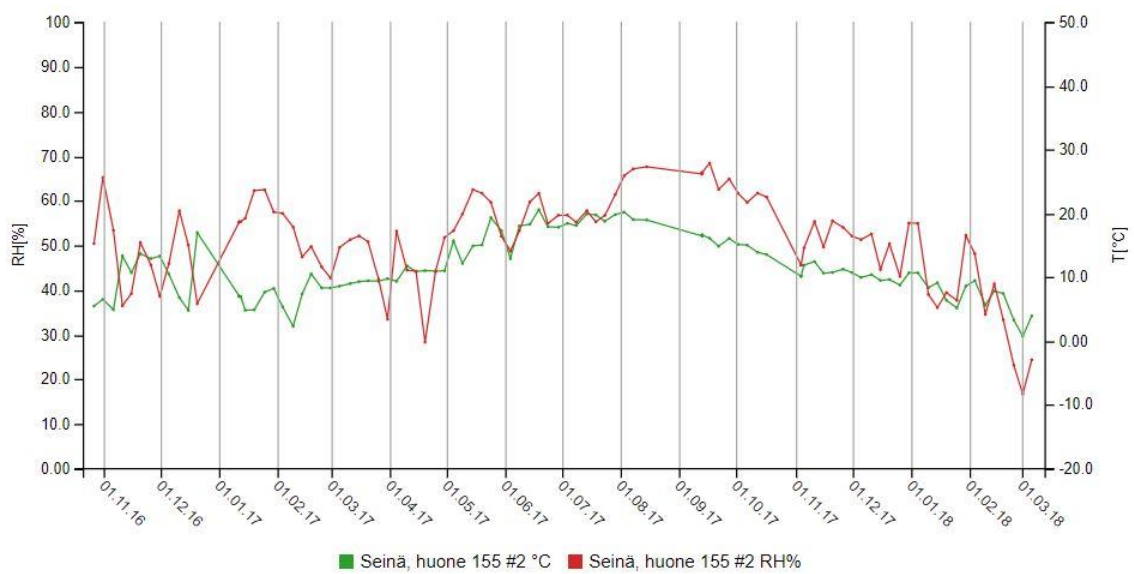
Huone 110, kosteusanturi 4, tiilen ja höyrynsulkumuovin väli.



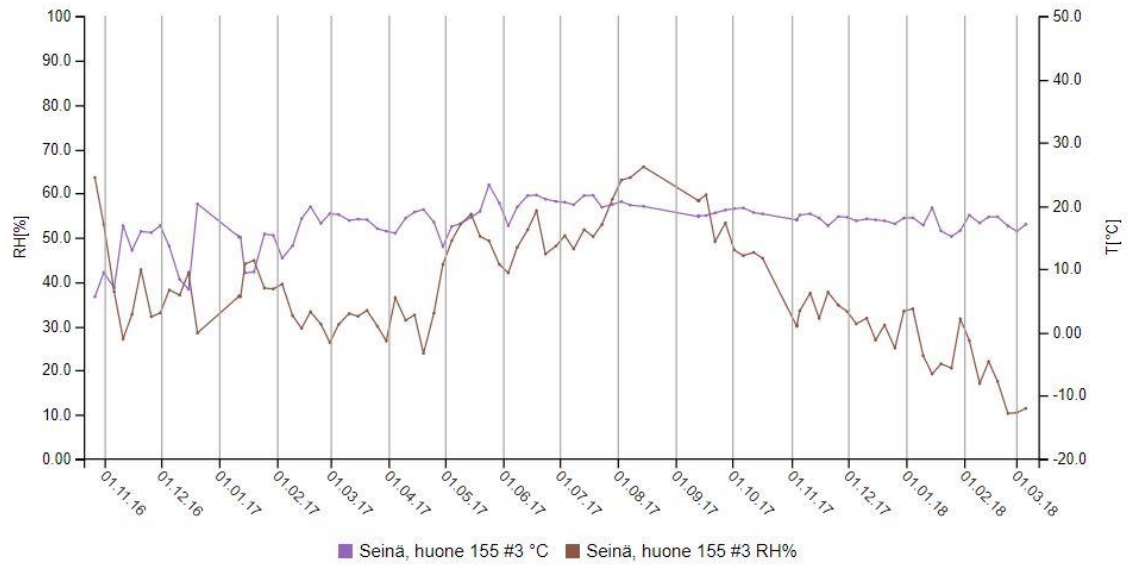
Huone 155, kosteusanturi 1, tuuletusväli.



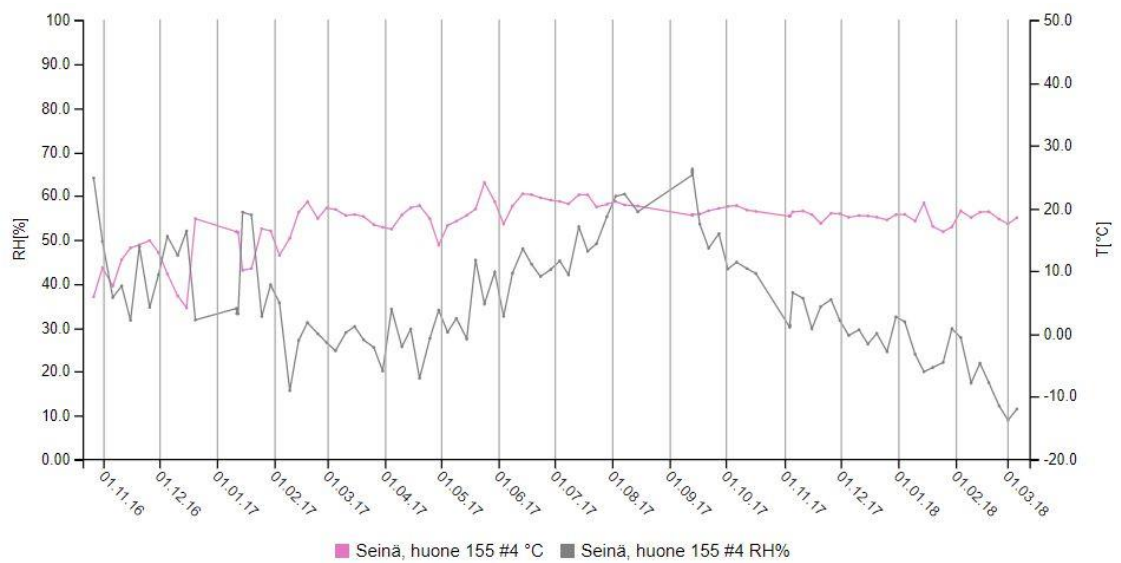
Huone 155, kosteusanturi 2, eristekerrosten väli.



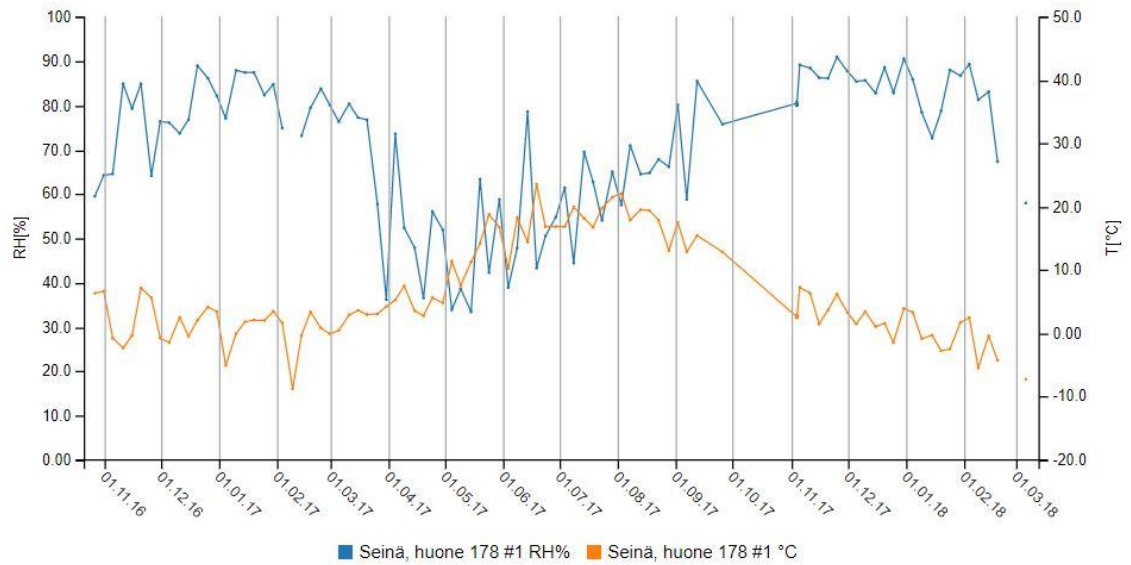
Huone 155, kosteusanturi 3, sisäpuolisen eristeen sisäpinta.



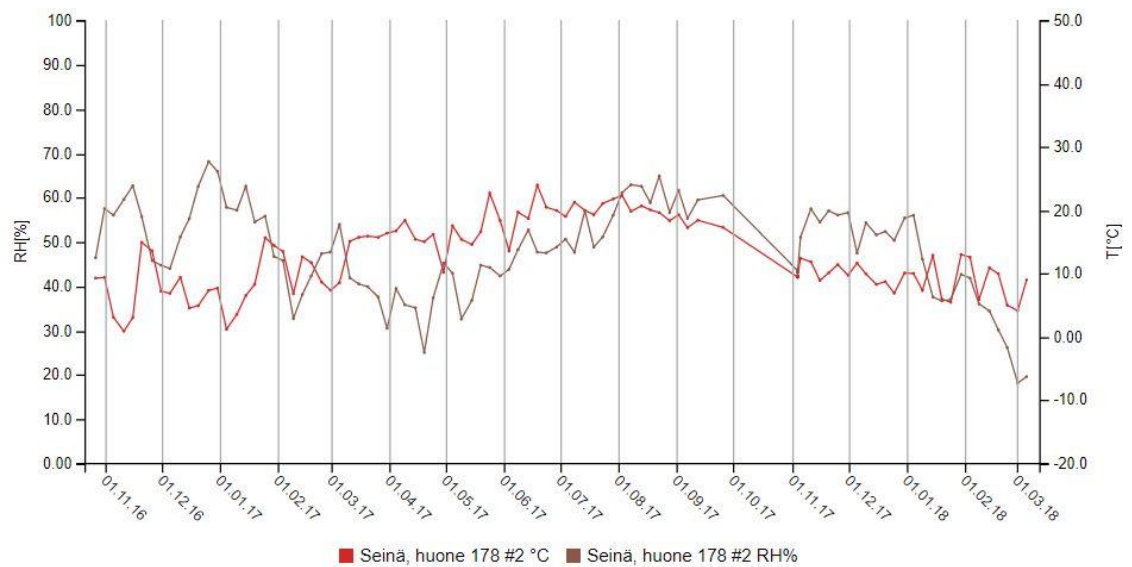
Huone 155, kosteusanturi 4, tiilen ja höyrynsulkumuovin väli.



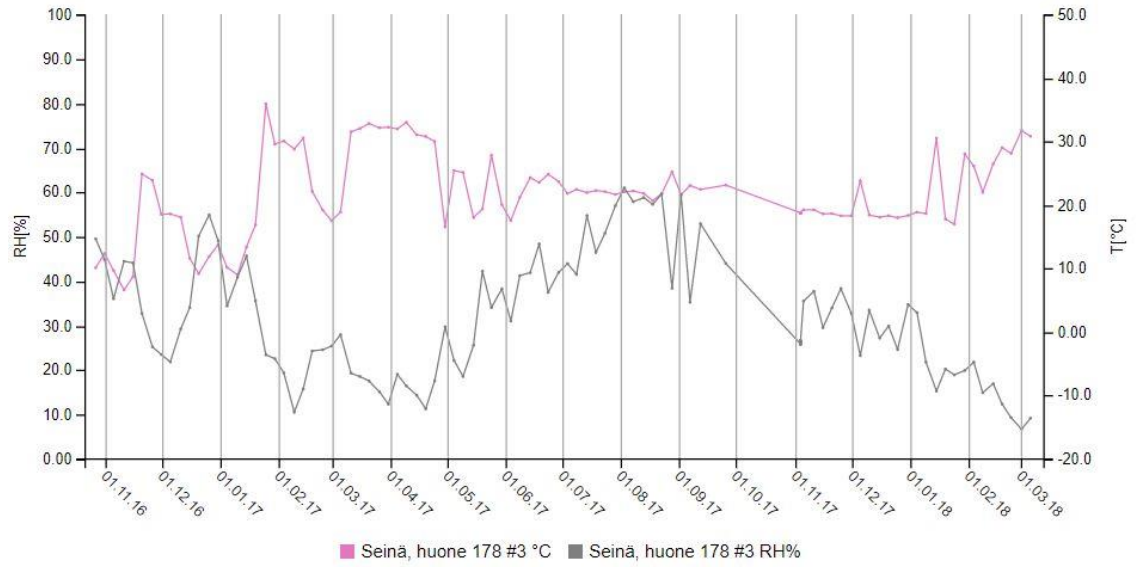
Huone 178, kosteusanturi 1, tuuletusväli.



Huone 178, kosteusanturi 2, eristekerrosten väli.



Huone 178, kosteusanturi 3, sisäpuolisen eristeen sisäpinta.



Huone 178, kosteusanturi 4, tiilen ja höyrynsulkumuovin väli.

