Maanvastaisten seinien lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Anssi Laukkarinen, Roosa Heiskanen ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa käsitellään maanvastaisten seinien rakennusfysikaalista toimivuutta ja esitellään niiden laskentatarkastelujen tuloksia. Maanvastaisiin seiniin vaikuttavat sisä- ja ulkoilman sekä maan olosuhteet yhtä aikaa, aiheuttaen toisiinsa nähden ristiriitaisia vaatimuksia rakenteiden suunnittelulle. Maanvastaisten rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa parantavia toimenpiteitä ovat muun muassa sadekuormien ohjaaminen rakennuksesta pois, kapillaarikatkokerroksen käyttäminen ja toimiva salaojitus, maanvastaisen seinän lämmön- ja kosteudeneristyksen asettaminen kantavan seinän ulkopuolelle sekä anturan kautta tapahtuvan diffuusiovirran katkaiseminen. Jos sisäpuolista lämmöneristystä on tarpeen käyttää, tarkastelluista tapauksista parhaiten toimi enintään 50 mm paksu, tehokkaasti kapillaarista vettä siirtävä kalsiumsilikaattieriste.

1. Johdanto

1.1 Yleistä

Maanvastaisella seinällä tarkoitetaan tässä artikkelissa ulkoseinää, joka rajoittuu toiselta puoleltaan maahan ja toiselta puoleltaan lämpimiin huonetiloihin. Maanvastainen seinä toimii yleensä maanpaineseinänä siirtäen maamassasta aiheutuvat vaakasuuntaiset kuormat anturoille, väliseinille ja muille kantaville rakenteille. Seinärakenne saattaa rajoittua yläosastaan osittain ulkoilmaan, jolloin seinän ylä- ja alaosiin kohdistuvat erilaiset lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan rasitukset.

Vanhemmissa pientaloissa on rakennusten alla olevia kellaritiloja voitu käyttää kylmävarastoina, mutta uudemmissa rakennuksissa ja remonttien yhteydessä näitä tiloja on voitu ottaa myös normaaliin asumiskäyttöön. Kellaritiloihin on voitu rakentaa jälkikäteen myös esimerkiksi sauna- ja peseytymistiloja.

Maanvastaisten seinien toteutuksessa on esiintynyt erilaisia puutteita, kuten kapillaarikatkokerroksen puuttuminen perusmaan ja maanvastaisten rakenteiden välistä, puutteita salaojissa tai niiden toimivuudessa, seinän vedeneristyksen vuotamista, materiaalien homehtumisen mahdollistavia lämmöneristysratkaisuja ja erilaisten ihmisille haitallisten aineiden käyttöä rakennusmateriaaleissa. Näistä on voinut seurata homeenkasvua seinärakenteissa, pintojen värimuutoksia, maalien irtoilua tai haitallisten aineiden irtoamista sisäilmaan.

Tämän artikkelin tarkoituksena on kuvata laskentatuloksia ja suosituksia maanvastaisten seinärakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Artikkeli perustuu COMBI-hankkeen osana tehtyyn Roosa Heiskasen diplomityöhön, joka sisältää yksityiskohtaisemmat kuvaukset laskentatarkastelujen taustoista, toteutuksesta ja tuloksista [1].

1.2 Olosuhteet maassa

Maanvastaisten seinien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan vaikuttavat olennaisesti olosuhteet maassa seinän ulkopuolella. Siirryttäessä yksiulotteisessa lämmönjohtumistapauksessa maanpinnalta syvemmälle maahan, ulkoilman vuosittaiset lämpötilavaihtelut vaimenevat ja lähestyvät lopulta maanpinnan pintakerroksen vuosikeskiarvoa. Tarkasteltavasta tapauksesta riippuen lämpötilaolosuhteet ovat tasaantuneet lähelle vuosikeskiarvoa noin 4,5…12,5 metrin syvyydellä maanpinnasta [2, 3].

Rakennus mahdollisine kellarikerroksineen muodostaa maanpinnalle lämmönlähteen, jonka vaikutus on suurin heti rakennuksen vieressä ja vaimenee sekä vaaka- että pystysuunnassa rakennuksesta poispäin. Rakenteiden lämpöteknisiä laskelmia ohjeistava standardi SFS-EN ISO 10211 [4] määrittelee simulointimallin reunojen etäisyydeksi rakennuksesta vähintään 2,5*b*, jossa *b* on rakennuksen leveys. Tällöin esimerkiksi 8 m leveälle rakennukselle simulointimallissa tulisi olla vähintään 20 m maata sekä rakennuksen ala- että ulkopuolella. Laskentamallin reunoilla käytetään edellä mainitussa standardissa adiabaattireunaehtoa, eli että kyseisten reunojen yli ei tapahdu energian siirtymistä.

Standardissa SFS-EN ISO 13370 [3] esitetään menetelmä ajasta riippuvia simulointeja varten, jossa analyyttisesti tai numeerisesti lasketusta koko alapohjan lämpöhäviöstä lasketaan ohuen maakerroksen alapuolinen tehollinen lämpötila. Tämä lämpötila on tarkoitettu asetettavaksi simulointimallissa lattian alapuoliseksi reunaehdoksi.

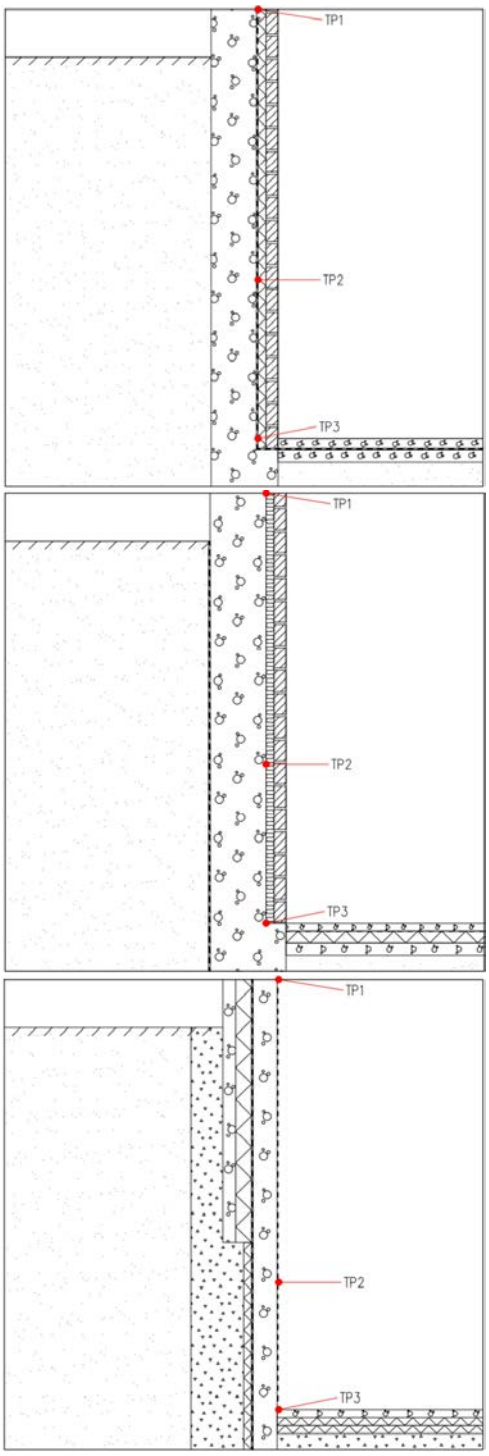
Ilmassa ja maassa oleva kosteus kiertää siten, että sateena taivaalta tuleva vesi pyrkii valumaan maamassojen läpi peruskallion päällä olevaan pohjavesikerrokseen asti, kun taas kapillaariset voimat ja haihtuminen maan pinnasta pyrkivät samaan aikaan nostamaan vettä maasta pois. Näiden lisäksi korkeuserot maan pinnalla ja maassa voivat aiheuttaa veden valumista matalampaa korkeusasemaa kohti. Maan huoneilman olosuhteita viileämpien lämpötilojen ja edellä mainittujen merkittävien kosteuskuormien seurauksena suhteellinen kosteus maassa on Suomen oloissa tyypillisesti 100 % RH tai hyvin lähellä sitä [5]. Suhteellisen kosteuden ollessa jatkuvasti hyvin korkea, aiheuttavat lämpötilaerot vesihöyryn diffuusiovirtauksia matalampaa lämpötilaa kohti.

2. Menetelmät

2.1 Tarkasteltujen rakenteiden, tarkastelupisteiden ja laskennan lähtötietojen kuvaus

Työssä tarkasteltujen rakenteiden perustyypit on esitetty kuvassa 1. Laskentatarkastelut tehtiin rakennusfysikaalisiin simulointeihin soveltuvalla Delphin 5.8.3 -ohjelmalla. Laskentamallit pyrittiin ensin tekemään yhdistettyinä lämpö- ja kosteusmalleina, mutta tapausten kaksiulotteisen geometrian ja numeerisesti haastavien olosuhteiden vuoksi laskenta jouduttiin jakamaan kunkin rakenteen osalta kahteen osaan: Ensimmäisessä vaiheessa laadittiin kustakin rakenteesta lämpöteknisen toiminnan malli, jossa oli seinä- ja lattiarakenteiden lisäksi kolme metriä perusmaata rakennuksen sivulla ja alapuolella.

Kakkosvaiheessa laskentamalli muodostettiin vain seinä- ja lattiarakenteesta, mutta tällä kertaa yhdistettynä lämpö- ja kosteusmallina. Rakenteiden maata vasten olevien pintojen lämpötiloiksi määritettiin ykkösvaiheen laskelmasta tallennetut rakenteiden pintalämpötilat. Jatkuva vesikontakti hidasti laskentaa niin paljon, että kapillaarinen kosteuden siirtyminen rakenteisiin jätettiin laskentatarkasteluista pois.



Maanvastainen seinä 1959

Sisäpuolinen vedeneristys ja lämmöneristys

Materiaalikerrokset laskentamallissa sisältä ulos:

1. Tiilimuuraus 75 mm
2. Lastuvillalevy 50 mm
3. Bitumisively
4. Betoni 350 mm
5. Perusmaa

Kosteudeneristyskerros kulki yhtenäisenä lattian ja seinän kautta. Sisäpuolisten korjausten tapauksessa seinän kosteussulku poistettiin. Ulkopuolisten korjausten yhteydessä ulkopuolelle lisättiin kosteussulku.

Maanvastainen seinä 1963

Ulkopuolinen vedeneristys ja sisäpuolinen lämmöneristys

Materiaalikerrokset laskentamallissa sisältä ulos:

1. Tiilimuuraus 75 mm
2. Mineraalivilla + koolaus 50 mm, koolausta ei huomioitu laskelmissa
3. Betoni 350 mm
4. Bitumisively
5. Perusmaa

Seinän kosteussulku kulki laskentamallissa seinän ulkopinnassa seinän alareunasta maanpinnan tasalle asti. Lattiassa ei ollut erillistä kosteussulkua.

Maanvastainen seinä 1990

Ulkopuolinen vedeneristys ja lämmöneristys

Materiaalikerrokset laskentamallissa sisältä ulos:

1. Betoni 150 mm
2. Bitumikermi
3. EPS-eriste; paksuus maanpinnasta yhden metrin syvyyteen asti 100 mm, jonka jälkeen 50 mm
4. Betoninen kuorielementti; maanpinnasta yhden metrin syvyydelle
5. Salaojasora, vähintään 200 mm
6. Perusmaa

Seinän kosteudeneristyskerros kulki laskentamallissa kantavan seinän ulkopinnassa seinän alareunasta ulkoilmaa vasten olevan osan yläreunaan asti.

Kuva 1. Laskennallisesti tarkastelujen rakenteiden perustyypit ja tarkastelupisteet. Seinän keskellä oleva tarkastelupiste (TP2) oli noin 1,4 metrin syvyydellä maanpinnasta. Tarkastelupiste TP3 oli lattian yläpinnan tasolla.

Maan suhteelliseksi kosteudeksi asetettiin 100 % RH. Sisäilman olosuhteina käytettiin lämpötilaa 21 °C ja RIL-107-2012, kosteusluokan 2 mukaista kosteuslisää (5 g/m^3 talvella ja 2 g/m^3 kesällä). Ulkoilman olosuhteina käytettiin rakennusfysikaalisten testivuosien mukaisia arvoja. Laskennan aloituslämpötila oli 7 °C sekä suhteellinen kosteus vanhoissa rakenteissa 97 % RH ja maassa 99 % RH. Uusien materiaalien ja vanhojen kuivatettavien rakenteiden alkutilanteen suhteelliseksi

kosteudeksi asetettiin 80 % RH (ulkoilman vuosikeskiarvo). Materiaaliominaisuuksina käytettiin lähteen [6] liitteen 2 mukaisia arvoja, joita täydennettiin kalsiumsilikaattilevyjen osalta lähteen [7] mukaisilla tiedoilla.

Laskennasta saatuja lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoja arvioitiin vertailemalla eri tapausten tuloksia toisiinsa kuvaajien avulla sekä suomalaisen homemallin [8] avulla laskettujen homeindeksin maksimiarvojen perusteella. Laskentajakso oli viisi vuotta ja homeindeksin maksimiarvo laskettiin viimeisen vuoden tunnittaisista tuloksista.

3. Tulokset

Taulukoihin 1-3 on koottu otos lähteessä [1] esitetyistä laskentatuloksista ja niissä on pyritty kuvaamaan eri kosteuslähteiden vaikutuksia eri lämmöneristeitä ja niiden sijoittelua käytettäessä. Taulukossa 1 on esitetty homeindeksin maksimiarvoja vuoden 1959 esimerkkitapauksesta.

Taulukko 1. Homeindeksien maksimiarvoja vuoden 1959 esimerkkitapauksesta. up = seinän ulkopinta, sp = seinän sisäpinta.

Tapaus	**Rajapinnan materiaalit**		**Tarkastelupiste**		
		HHL	**1**	**2**	**3**
lähtötilanne	bitumi + lastuvilla	2	5,3	0,3	0,0
eristämätön (sisäpuoliset rak. purettu)	betoni + sisäilma	3		~0	
up EPS 100 mm, sp säilytetty	bitumi + lastuvilla	2		~0	
up EPS 100 mm, sp purettu	betoni + sisäilma	3		~0	
sp EPS 50 mm	betoni + EPS	3	2,2	2,8	3,4
sp CaSi 1, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,3	0,0	2,8
sp CaSi 2, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,0	0,0	0,3
sp kevytbetoni 50 mm	betoni + kevytbetoni	2/3	1,0	0,0	3,4

Sisäpuolista vedeneristettä käytettäessä sisäilmasta diffuusiolla kulkeutuva kosteus on maanvastaisen seinän sisäpinnassa olevan lastuvillalevyn suurin kosteuslähde. Homeindeksi levyn ulkopinnassa oli korkein ulkoilmaa vasten olevan seinän osan kohdalla, koska kyseisessä kohdassa alhainen lämpötila aiheutti suhteellisen kosteuden nousemisen korkealle tasolle. Sisäpuolisten rakenteiden purkaminen mahdollisti sisäpinnan kuivumisen, mutta lämmöneristämätön rakenne heikentää lämpöviihtyisyyttä. Ulkopuolinen lisälämmöneristys ja kosteussulku paransivat rakenteen toimintaa riippumatta siitä, purettiinko vanha rakenne vai ei.

Taulukossa 2 on esitetty homeindeksin maksimiarvoja vuoden 1963 esimerkkitapauksesta.

Taulukko 2. Homeindeksien maksimiarvoja vuoden 1963 esimerkkitapauksesta. up = seinän ulkopinta, sp = seinän sisäpinta.

Tapaus	**Rajapinnan materiaalit**		**Tarkastelupiste**		
		HHL	**1**	**2**	**3**
lähtötilanne	betoni + mineraalivilla	3	1,9	1,6	3,4
eristämätön (sisäpuoliset rak. purettu)	betoni + sisäilma	3		~0	
up EPS 100 mm, sp säilytetty	betoni + mineraalivilla	3	0,0	0,0	2,9
up EPS 100 mm, sp purettu	betoni + sisäilma	3		~0	
sp EPS 50 mm, RH alussa 97 %	betoni + EPS	3	2,0	2,2	3,4
sp EPS 50 mm, RH alussa 80 %	betoni + EPS	3	1,5	0,0	3,4
sp CaSi 1, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,2	0	2,7
sp CaSi 2, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,0	0,0	0,3
sp kevytbetoni 50 mm	betoni + kevytbetoni	2/3	0,6	0,0	3,4

Lähtötilanteessa seinän yläosassa homeindeksin maksimiarvon tippuminen vuoden 1959

tapaukseen verrattuna johtui todennäköisesti suurelta osin homehtumisherkkyysluokan muuttumisesta. Seinän alaosassa homeindeksin maksimiarvojen kasvaminen on todennäköisesti johtunut kosteussulun siirtämisestä, joka on mahdollistanut kosteuden nousemisen maasta anturan kautta seinän alaosaan ja sisäpuolisen lämmöneristeen pintaan asti.

Sisäpuolisena eristyksenä enintään 50 mm paksu CaSi 2 -kalsiumsilikaattieriste tuotti homeindeksin Mmax < 1 olevat tulokset. EPS-eristettä on käytetty esimerkkinä solumuovieristeestä, mutta muutama vertailulaskelma tehtiin myös XPS-eristeellä. Tapauksessa, jossa seinän alaosaan nousee kosteutta maasta, XPS-eristeen tai muun vastaavan tiiviimmän materiaalin käyttäminen lähtökohtaisesti hidastaa kosteuden siirtymistä diffuusiolla sisäilmasta seinärakenteeseen, mutta toisaalta hidastaa maasta siirtyvän kosteuden kuivumista seinästä sisäilmaan. EPS-eristeen korvaaminen XPS-eristeellä tai kyseisten eristetyyppien paksuuden muuttaminen ei siis olennaisesti muuttanut laskelmista tehtyjä päätelmiä.

Seinän alkutilanteen suhteellinen kosteus vaikutti tuloksiin, mutta pitkällä aikavälillä (5–10 vuotta) olosuhteet tasaantuvat samoihin olosuhteisiin riippumatta alkutilanteesta. Tällöin rakennusaikaisen kosteuden kuivattaminen on hyödyllistä vain siinä tilanteessa, että käytönaikaiset kosteusolosuhteet ovat rakennusaikaista tilannetta kuivemmat.

Taulukossa 3 on esitetty homeindeksin maksimiarvoja vuoden 1990 esimerkkitapauksesta.

Taulukko 3. Homeindeksien maksimiarvoja vuoden 1990 esimerkkitapauksesta.

Tapaus	**Rajapinnan materiaalit**		**Tarkastelupiste**		
		HHL	**1**	**2**	**3**
lähtötilanne	betoni + sisäilma	3		~0	
sp EPS 50 mm, ak 97 % RH	betoni + EPS	3	0,0	0,0	0,8
sp EPS 50 mm, ak 80 % RH	betoni + EPS	3	0,0	0,0	0,6
sp CaSi 1, 50 mm	betoni + CaSi	3		~0	
sp CaSi 2, 50 mm	betoni + CaSi	3		~0	
sp kevytbetoni 50 mm	betoni + kevytbetoni	2/3		~0	

Homeindeksin maksimiarvot olivat sisäpuolisia lämmöneristeitä käytettäessä alhaisempia kuin vuoden 1963 esimerkkitapauksissa, joka oletettavasti johtui samaan aikaan käytetystä ulkopuolisesta lämmöneristyksestä.

Kolmea eri esimerkkitapausta tarkasteltiin myös sisäpuolisella 50 mm paksulla CaSi 2 -eristeellä tulevaisuuden ilmastossa (Jokioinen 2050). Laskentatulosten perusteella homeindeksien maksimiarvot olivat käytännössä samansuuruiset molemmissa ilmasto-olosuhteissa. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että kriittisten tarkastelupisteiden olosuhteet olivat vahvasti kytköksissä sisäilman olosuhteisiin ja maasta tuleviin kosteuskuormiin, jolloin ulkoilman olosuhteiden muuttamisen vaikutus jäi hyvin pieneksi.

4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin laskennallisesti maanvastaisten seinien rakennusfysikaalista toimintaa. Ajasta riippuvien lämpö- ja kosteusteknisten ilmiöiden huomioon ottamisen ja laskenta-ajan kohtuullistamisen yhdistämiseksi tarkasteltavat rakenteet jouduttiin simuloimaan kahdessa osassa, jolloin ensin laskettiin rakenteiden reunojen lämpötilaolosuhteet, joita sitten käytettiin geometrialtaan pienemmän, mutta yhdistetyn lämpö- ja kosteusmallin reunaehtoina.

Ulkoilma, sisäilma ja maa vaikuttavat maanvastaisiin seiniin eri tavoin, jolloin koko rakenteiden

toimivuuden varmistamiseksi joudutaan muun muassa ottamaan huomioon vastakkaisiin suuntiin vaikuttavia kosteuslähteitä. Eristämättömän, massiivisen betonirakenteen sisäpinnoilla homeindeksien maksimiarvot pysyivät alhaisella tasolla, mutta tällaisen rakenteen pintalämpötilat voivat laskea liian alhaisiksi ja lämpöhäviöt liian suuriksi.

Tarkastelluista tapauksista parhaiten toimivat ne, joissa sekä lämmön- että kosteudeneriste olivat kantavan rakenteen ulkopuolella, jolloin sisäilmaa vasten olevat rakenteet jäivät näiden lämpimälle ja kuivalle puolelle.

Jos lämmön- ja kosteudeneristeitä ei kuitenkaan ole jostain syystä mahdollista asettaa rakenteen kantavan rakenteen ulkopuolelle, on toissijaisena vaihtoehtona käyttää sisäpuolista lisälämmöneristystä. Tällöin homeen kasvun käynnistymisen raja-arvon (Mmax < 1) toteutti tarkastelluista tapauksista vain enintään 50 mm paksu, tehokkaasti kapillaarista kosteutta siirtävä kalsiumsilikaattieriste (A_w = 1,1 kg^2/(m^{2}s^{0,5}); μ = 3,8; $K_{l,eff}$ = 2,3E-8 s; λ_{dry} = 0,069 W/(mK)).

Nyt tehdyissä laskentatarkasteluissa ei ollut mukana maasta kapillaarisesti nousevaa vettä, vaan ainoastaan diffuusiovirta jatkuvasta 100 % RH olosuhteista. Rakenteisiin kapillaarisesti nouseva vesi voi aiheuttaa vielä nyt tarkasteltuja tapauksia merkittävästi suuremman kosteuskuorman, joten esimerkiksi sadevesien poisjohtamisesta ja salaojien toimivuudesta tulee pyrkiä varmistumaan rakennusten ylläpidon ja korjausten yhteydessä. Myös kosteuden nousua maasta anturan ja perusmuurin kautta tulisi pyrkiä estämään.

Lähdeluettelo

[1] Heiskanen, Roosa (2016) Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lisälämmöneristäminen. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24185.

[2] Hagentoft, Carl-Eric (2001) Introduction to Building Physics, Studentlitteratur AB, Lund, Sweden, 379 s.

[3] SFS-EN ISO 13370 (2017) Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods. Finnish Standards Association SFS, Helsinki, Finland.

[4] SFS-EN ISO 10211 (2017) Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations. Finnish Standards Association SFS, Helsinki, Finland.

[5] Rantala, Jukka & Leivo, Virpi (2009) Heat, Air, and Moisture Control in Slab-on-ground Structures, Journal of Building Physics, Vol. 32, Iss. 4, pp. 335–353. http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1744259108093919.

[6] J. Vinha, A. Laukkarinen, M. Mäkitalo, S. Nurmi, P. Huttunen, T. Pakkanen, P. Kero, E. Manelius, J. Lahdensivu, A. Köliö, K. Lähdesmäki, J. Piironen, V. Kuhno, M. Pirinen, A. Aaltonen, J. Suonketo, Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2013, 354 p. Saatavilla osoitteesta: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2949-8.

[7] Vainio, Maarit (2016) Kalsiumsilikaattilevyjen ja ontelolaattojen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma, 67 s. + 19 liites. p. http://URN.fi/URN:NBN:fi:tty-201611244761

[8] T. Ojanen, H. Viitanen, R. Peuhkuri, K. Lähdesmäki, J. Vinha, K. Salminen, Mold growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials, ASHRAE Buildings XI Conference, Dec. 5-9, 2010 Cleawater Beach, Florida, pp. 1–10.