

Kipsilevytuulensuojallisten puurunkoisten ulkoseinärakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta

Teemu Jokela, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha
Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

Tiivistelmä

Puurankarunkoinen ulkoseinärakenne, jossa tuulensuojalevynä käytetään kipsilevyä, on tyypillinen rakennetyyppi pientaloissa. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin laskentatarkastelujen avulla tällaisten rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan esittää keinoja, joiden avulla puurankarunkoisten ulkoseinärakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta paranee. Näitä keskeisiä keinoja ovat sisäpinnan ilma- ja vesihöyrytiiviyys, lämmöneristyksen sijoittaminen kantavien rakenteiden ulkopuolelle, auringonsäteilyn hyödyntäminen, viistosateen haitallisten vaikutusten ehkäiseminen sekä ilmavuotojen välttäminen.

1. Johdanto

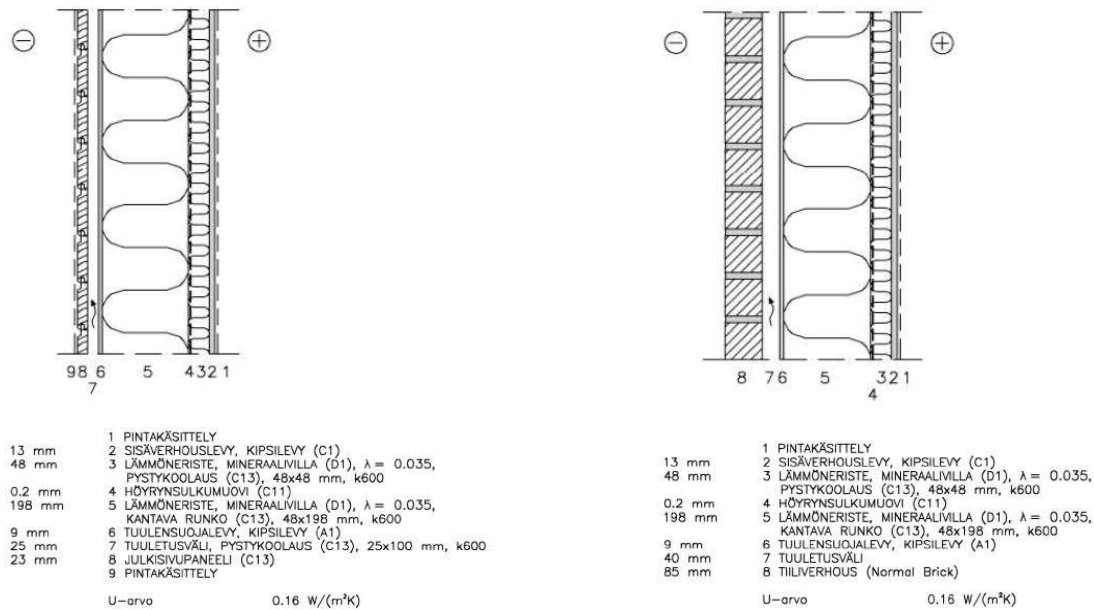
Puurunkoiset ulkoseinät ovat yksi keskeinen erityisesti pientalorakentamisessa käytettävistä rakennetyypeistä. Rakennetyypissä on tavanomaista käyttää kipsilevyä tuuletusväliä vasten olevana tuulensuojalevynä, joka samalla toimii rakenteen jäykistämässä. Kantavien puurakenteiden sekä niihin suoraan kosketuksissa olevien lämmöneristeiden ja tuulensuojalevyn lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa olisi mahdollista parantaa lisäämällä lämmöneristystä tuulensuojan ulkopuolelle, mutta toisaalta tämä lisää rakentamiseen menevää aikaa ja kustannuksia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella rakennusfysikaalisten laskentatarkastelujen avulla kipsilevytuulensuojallisten puurankaseinien lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ja verrata tuloksia aikaisempiin FRAME-hankkeen [1] tuloksiin. Tässä artikkelissa esitetyt asiat perustuvat Teemu Jokelan diplomityöhön [2], joka sisältää aiheesta nyt esitettyä kokonaisuutta laajemman ja yksityiskohtaisemman kuvauksen. Diplomityö sai rahoitusta Knauf Oy:ltä.

2. Lähtötiedot ja menetelmät

Tarkastelujen lähtökohtana olleet lauta- ja tiiliverhotut puurankarunkoiset ulkoseinät on esitetty kuvassa 1. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekniset simuloinnit tehtiin Delphin 5.8.3 -ohjelmalla ja rakenteiden toimivuuden arviointi perustui Tampereen teknillisen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmässä kehitettyyn rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointimenetelmään [1], jota täydennettiin eräiden puuttuvien lähtötietojen osalta.

Pitkäaaltoinen säteily on kosteuden haihtumisen ohella ainut ilmiö, joka pystyy viilentämään rakenteen ulko-osien lämpötilan ulkoilman lämpötilaa kylmemmäksi. Kyseistä suuretta ei kuitenkaan ole ollut saatavilla rakennusfysikaalisten testivuosiin [1,3] osana, joten sen arvot määritettiin työn alussa kirjallisuudessa esitettyjen kokeellisten mallien avulla. Tästä määrittämisestä on saatavilla tarkempi kuvaus alkuperäisjulkaisussa [2] sekä Rakennusfysiikka 2019 -seminaarin artikkelissa [4].

Tuuletusvälin ilmanvaihtuvuudella voi tietyissä tilanteissa olla keskeinen vaikutus rakenteen ulko-osien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden laskeminen



(a) USP1

(b) UST1

Kuva 1. Tarkasteltujen ulkoseinärakenteiden perustapaukset.

on iteratiivinen prosessi, koska ilmavirran nopeus riippuu lämpötilaerojen aiheuttaman nosteen mukaisesta paine-erosta, mutta toisaalta lämpötilaerot riippuvat ilmavirran nopeudesta. Nyt käytetty laskentaohjelma ei kuitenkaan sisällä tällaista iteratiivista ratkaisua, joten laskelmia varten tuuletusvälin ja ulkoilman välinen lämpötilaero kiinnitettiin julkaisussa [5, s. 197] esitettyjen tulosten mukaiseksi. Tämän jälkeen tuuletusvälin ilmanvaihtuvuus eri tilanteissa määritettiin julkaisussa [6] esitetyn menetelmän avulla, ottaen lämpötilaeron lisäksi huomioon tuulen vaikutus ilmanvaihtuvuuteen.

Pitkääaltoisen säteilyn ja tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden lisäksi laskentatarkastelujen lähtötietoja tarkennettiin paine-erojen ja ilmavuotojen mallintamisen osalta. Näihin liittyvät menetelmät on esitetty Topi Moision diplomityössä [7] sekä Rakennusfysiikka 2019 -seminaarissa esitettävässä rinnakkaisartikkelissa [8].

Tarkastellut tilanteet kattoivat eri julkisivumateriaaleja, tuuletusvälin paksuus- ja koolausvaihtoehtoja, tuulensuojia, rakenteen U-arvoja ja lämmöneristetyyppejä, höyrynsulun vesihöyrynvastuksia, sisäpuolisen koolauksen vaihtoehtoja sekä rakennusaikaisen kosteuden ja ilmavuotojen vaikutuksia.

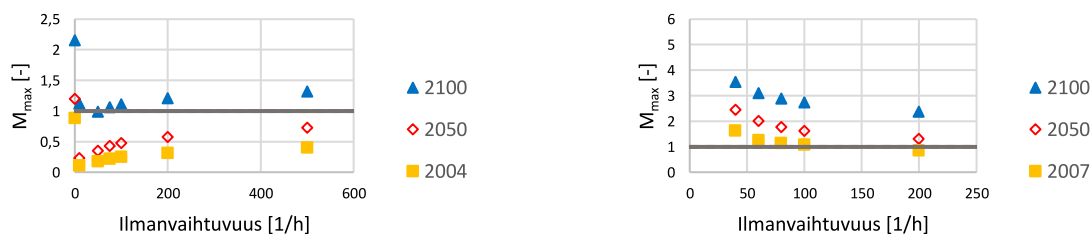
3. Tulokset

Kipsilevyn sisäpinnan tulokset on pääasiassa esitetty homeutumisherkkyyssluokassa 2. Tampereen teknillisessä yliopistossa (nyk. Tampereen yliopisto) tehtyjen viimeaikaisten homeutumiskokeiden perusteella on kuitenkin olemassa viitteitä siitä, että tavanomainen tuulensuojakipsilevy voi homehtua voimakkaammin verrattuna homeutumisherkkyyssluokan 2 materiaalille määritettyihin laskennallisiin arvoihin. Tästä johtuen joissakin tuloskuivissa on esitetty tuulensuojakipsilevyn homeutumista myös homeutumisherkkyyssluokassa 1.

3.1 Julkisivuverhous ja tuuletusväli

Julkisivumateriaalilla oli laskentatarkastelujen perusteella huomattava vaikutus puurankarakenteen ulko-osien käyttäytymiseen. Vettä imevä, pinnoittamaton tiiliverhous tuotti rakenteiden ulko-osiin huomattavasti maalattua ja vettä heikommin imevää lautaverhousta kriittisemmät olosuhteet. Tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden kasvattaminen paransi tilannetta tiiliverhotun ulkoseinän tapauksessa, mutta heikensi tilannetta puuverhotussa ulkoseinässä, lukuun ottamatta aivan pienimpiä lautaverhouksen ilmanvaihtuvuuksia.

Tulevaisuuden (2050 ja 2100) ilmasto-olosuhteisiin tarkoitettuja testivuotia käytettäessä puurankarakenteet käyttäytyivät nykyilmastoa heikommin. Lautaverhotuissa seinissä homeindeksille asetettu raja-arvo $M_{max} < 1$ ylittyi 2100-ilmastoa kuvaavissa olosuhteissa, mutta tiiliverhouksen tapauksessa raja-arvo ylittyi jo nykyilmaston olosuhteissa. Edellä esitetyt tulokset on havainnollistettu kuvassa 2.



(a) USP1

(b) UST1

Kuva 2. Julkisivumateriaalin, tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden ja rakennusfysikaalisten testivuotien valinnan vaikutuksia lauta- ja tiiliverhotussa ulkoseinässä.

Tiiliverhouksella ilmanvaihtuvuuden kasvattaminen oli aina hyväksi. Lautaverhouksella oli optimikohta maltillisen ilmanvaihtuvuuden kohdalla. Alkuperäisjulkaisussa [2] on esitetty tarkemmin laskennalliset arviot tuuletusväliä tapahtuvan ilmanvaihtuvuuden määräksi. Lautaverhouksen takana lasketut ilmanvaihtuvuuksien vuosikeskiarvot vaihtelivat välillä 135,0 – 524,3 1/h ja tiiliverhouksen takana välillä 11,0 – 27,4 1/h.

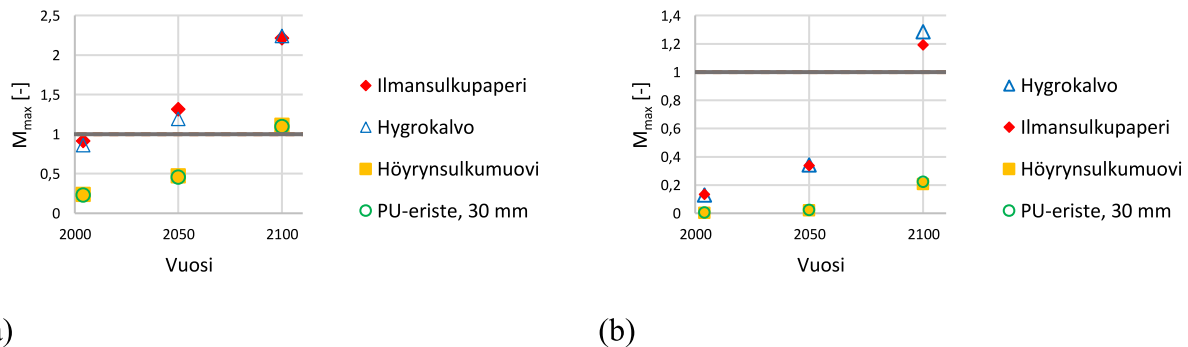
Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että tiiliverhouksissa tulisi suosia nykyistä suuremman ilmanvaihtuvuuden sallivia ratkaisuja, kun taas lautaverhotuissa rakenteissa optimaalinen ilmanvaihtuvuus voisi olla hieman nykyistä pienempi. Sadevuotojen estämiseksi lautaverhottujen ulkoseinien ilmanvaihtuvuuden pienentäminen tulisi tehdä ensisijaisesti pienentämällä virtausaukkoja, ei ohentamalla tuuletusväliä.

Verhouslaudan paksuntaminen, julkisivupinnan auringonsäteilyn absorptiokertoimen kasvattaminen ja puurankaa leveämmän pystysuuntaisen koolauslaudan käyttäminen olivat rakenteen toiminnalle eduksi, verrattuna ohueen verhouslautaan, pienen julkisivupinnan auringonsäteilyn absorptiokertoimeen ja pystyrangan levyisen riman käyttämiseen.

3.2 Rakennusaikainen kosteus, sisäpinnan vesihöyrynvastus ja rakenteen U-arvo

Tarkasteltaessa tilannetta testivuotien mukaisiin sisä- ja ulkoilman olosuhteisiin tasaantuneissa tilanteissa, sisäpinnan vesihöyrynvastuksen pienentäminen salli suuremman kosteuskuorman sisäilmasta rakenteeseen diffuusiolla, jolloin suhteellinen kosteus rakenteen sisällä nousi ja vastaavasti homeindeksi kasvoi. Toisin sanoen korkean vesihöyrynvastuksen höyrynsulkujen

käyttäminen tuotti sekä lauta- että tiiliverhotulle rakenteelle alhaisimmat homeindeksin maksimi-arvot. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 3.

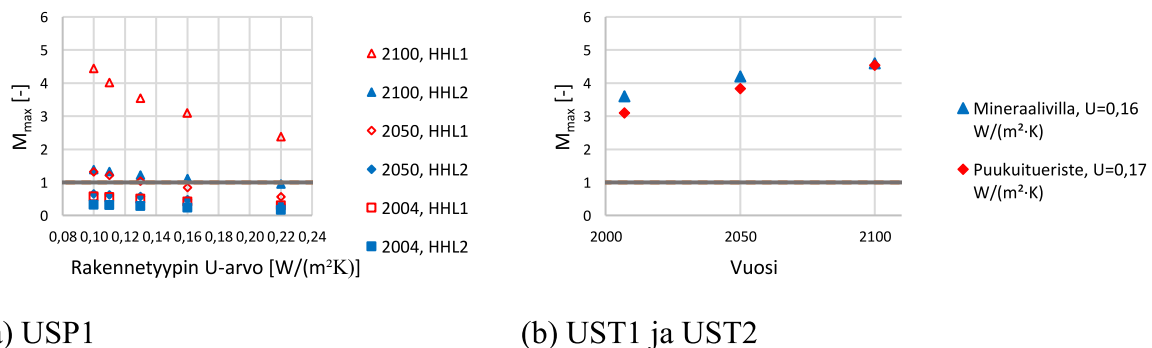


Kuva 3. Erilaisten höyrynsulkujen vaikutus homeindeksin maksimi-arvoihin tuulensuojakipsilevyn sisäpinnassa (a) ja runkotolpan ulkonurkassa (b) lautaverhotussa ulkoseinässä.

Tulokset höyrynsulkumuovin ja 30 mm paksun alumiinilaminaattipintaisen PU-eristeen tapauksissa olivat homeindeksin maksimi-arvon näkökulmasta käytännössä samat. PU-eriste korvasi myös höyrynsulkumuovin tapauksessa käytetyn sisäpuolisen mineraalivillaeristeen. Sisäpinnan korkeamman vesihöyrynvastuksen käyttämisestä saatavat edut olivat ymmärrettäviä, koska sisäilmaan oli määriteltä ympäri vuoden vaikuttava kosteuslisä ulkoilmaan nähden.

Rakenteen U-arvon vaikutusta tarkasteltiin tarkemmin pitämällä rakenneosia muutoin samana, mutta kasvattamalla runkotolpan paksuutta ja runkotilassa olevaa lämmöneristekerrosta. Nyt tehdyissä tarkasteluissa lautaverhotun rakenteen kriittisin piste oli tuulensuojalevyn sisäpinnassa ja siellä homeindeksin maksimi-arvo pysyi nykyilmastossa alle asetetun raja-arvon $M_{max} < 1$, kun rakenteessa ei ollut rakennusaikaista kosteutta tai ilmapuotoja.

U-arvon pienentäminen kasvatti homeindeksin maksimi-arvoja sekä nykyisessä että tulevaisuuden ilmastossa, ja vaikutus oli pienehkö 2050-ilmastossa (0,9 -> 1,3), mutta huomattava 2100-ilmastossa (3,1 -> 4,5), kun U-arvo muuttui arvosta 0,16 W/(m²·K) arvoon 0,10 W/(m²·K). Nyt tehtyjen tarkastelujen perusteella siis matalan U-arvon kipsilevytuulensuojalliset, lautaverhotut puurankaseinät olisi hyväksytty vertailukauden 1980-2009 mukaisessa ilmastossa, mutta ei enää tulevaisuuden ilmastossa. Lämmöneristetyypillä (mineraalivilla tai puukuitueriste) oli tiiliverhotussa rakenteessa vain pieni vaikutus. Näitä tekijöitä on havainnollistettu kuvassa 4.

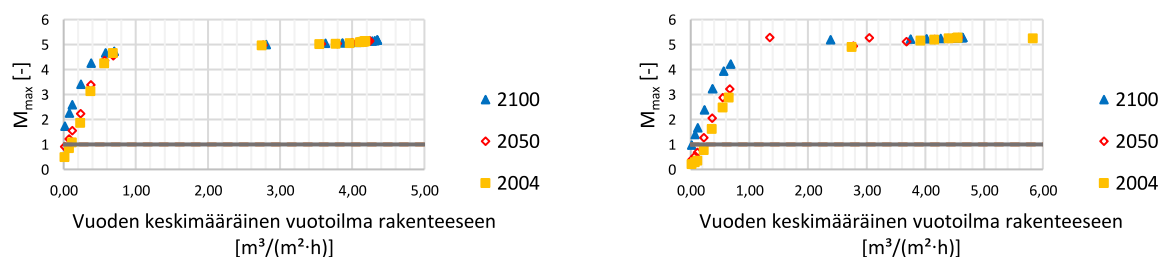


Kuva 4. a) U-arvon, ilmastomuutoksen ja tuulensuojan homeutumisherkkyyssluokan vaikutus tuulensuojalevyn sisäpinnan homeindeksin maksimi-arvoon puuverhotussa puurankaseinässä. b) Lämmöneristetyypin ja ilmastomuutoksen vaikutus tiiliverhotussa puurankaseinässä tuulensuojalevyn sisäpinnassa.

Lautaverhotussa rakenteessa puukuitueriste oli toimivampi. Puukuitueristeen toimintaa lautaverhotussa ulkoseinärakenteessa on kuvattu tarkemmin alkuperäislähteessä [2].

3.3 Ilmavuodot

Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan vikasietoisuuden edistäminen on laaja ja tärkeä aihe. Tässä tutkimuksessa aihetta tutkittiin puurankarakenteisiin kohdistuvien ilmavuotojen osalta. Seuraavassa kuvassa (kuva 5) on esitetty eri tapauksista laskettu homeindeksin maksimiarvo tuulensuojan pinta-alaa kohti lasketun vuotoilmavirran funktiona.



(a) Kipsilevyn sisäpinta, mineraalivilla

(b) Kipsilevyn sisäpinta, puukuitueriste

Kuva 5. Ilmavuotojen vaikutus lautaverhottuun puurankaulkoseinään.

Tulosten perusteella ilmavuodot rakenteeseen heikensivät rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa jo hyvin pienillä ilmavirtauksilla tarkastelluista tapauksista ja pystyivät kasvattamaan tuulensuojalevyn sisäpinnan homeindeksin arvoa huomattavasti. Ilmavuototilanteessa puurankaseinän U-arvolla (tuulensuojan sisäpuolisella lämmöneristeen määrällä) ei ollut juurikaan vaikutusta homeindeksin maksimiarvoihin tuulensuojan sisäpinnassa, vaan ilmavuodot nostivat homeindeksin maksimiarvon korkealle koko rakenteen U-arvosta riippumatta.

Kun tuulensuojakipsilevyn ulkopuolella käytettiin erillistä 50 mm paksua mineraalivillatuulensuojalevyä, esiintyi homeindeksin maksimiarvoissa yllättävä ilmiö: Tuulensuojakipsilevyn ilmanläpäisevyyttä kasvatettaessa homeindeksin maksimiarvot tuulensuojakipsilevyn sisäpinnassa kasvoivat aluksi lisälämmöneristämättömän tapauksen tavoin, mutta alkoivat tämän jälkeen lopulta laskea kohti nollaa. Varmaa syytä tälle ilmiölle ei nyt tehtyjen tarkastelujen puitteissa selvitetty, mutta oletuksena on, että ilmavirtausten kuljettaman lämmön ja kosteuden suhteelliset osuudet poikkesivat toisistaan siten, että ilmavirtauksen mukana siirtyvän lämmön määrä kasvoi rakenteeseen siirtyvän kosteuden määrää nopeammin. Tällöin rakenteeseen siirtyvä lämpö pystyi siis lopulta kompensoimaan rakenteeseen siirtyvän ylimääräisen kosteuden vaikutukset. Ilmiö esiintyi kuitenkin vain lisäeristetyssä tapauksessa (lisäeristämättömän sijaan), jolloin keskeisenä johtopäätöksenä oli, että tuulensuojakipsilevyn ulkopuolinen lisälämmöneristys paransi rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa myös rakenteeseen olevien ilmavuotojen tapauksessa.

Tulokset vastasivat Mäkitalon (2012) [9] tuloksia hyvin, paitsi 2100-ilmastossa runkotolpan ulkonurkan osalta, jota voi selittää eri laskentaohjelman (ja eri materiaaliominaisuuksien) käyttäminen, sekä tuuletusvälin koolauspuun puuttuminen.

4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kipsilevytuulensuojallisten puurankaseinien lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä rakennusfysikaalisten laskentatarkastelujen avulla. Saadut tulokset vastasivat aikaisemmin aiheesta tehtyjä tuloksia pääosin hyvin, mutta yksityiskohdissa esiintyi myös poikkeuksia johtuen muun muassa eri laskentaohjelmista ja käytetyistä lähtötiedoista.

Lauta- ja tiiliverhottujen rakennetyyppien rakennusfysikaalista toimintaa heikensivät ennustetun ilmastonmuutoksen aiheuttamat ulkoilman olosuhteet, ilmavuodot rakenteen läpi, rakennusaikainen kosteus sekä tiiliverhouksen kyky imeä kosteutta. Näitä tekijöitä tulisi hallita eri keinoin riippuen koko rakenteen yksityiskohdista. Hyvä sisäpinnan ilma- ja vesihöyrytiivisyys, lämmöneristyksen sijoittaminen kantavien rakenteiden ulkopuolelle, auringonsäteilyn hyödyntäminen, viistosateen haitallisten vaikutusten ehkäiseminen, tuuletusvälin ilmanvaihtuvuuden varmistaminen sekä ilmavuotojen välttäminen ovat keskeisiä keinoja rakennetyypin rakennusfysikaalisen toimivuuden parantamiseksi.

Lähdeluettelo

- [1] 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. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka., no. 159, Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos, Tampere.
- [2] Teemu Jokela (2018) Kipsilevytuulensuojallisten puurunkoisten ulkoseinien rakennusfysikaalinen toiminta. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma, rakennesuunnittelu. 113 s. + 29 liites. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201811262762>
- [3] <https://ilmatiiteenlaitos.fi/rakennusfysiikan-ilmastolliset-testivuodet>, viitattu 19.8.2019.
- [4] Jokela et al. (2019) Pitkääaltoisen säteilyn mallit. Rakennusfysiikka 2019.
- [5] Vinha, J. (2007) Hygrothermal performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method Determining the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. PhD Thesis. Tampere University of Technology, publication 658, 338 p. + 10 app. p.
- [6] Falk & Sandin (2013) Ventilated rainscreen cladding: Measurements of cavity air velocities, estimation of air change rates and evaluation of driving forces. Building and Environment, vol. 59, pp. 164-176.
- [7] Topi Moisio (n.d.) Puurankarunkoisten ulkoseinien liitosten lämpö- ja kosteustekninen toiminta. Diplomityö. Tampereen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma, rakennesuunnittelu. xx s. + yy. liites. (*julkaistaan 2019*)
- [8] Moisio et al. (2019) Paine-erojen laskenta ja ilmavuotojen mallintaminen. Rakennusfysiikka 2019.
- [9] Mäkitalo, M. (2012) Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma. 134 s. + 37 liites.