

Mineraalivillaeristeisten ulkoseinärakenteiden koerakennuskokeet Future Spaces -hankkeessa

Eero Tuominen, Jaakko Hietikko ja Juha Vinha
Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

Tiivistelmä

Tampereen yliopiston Rakennusfysiikan tutkimusryhmä tekee osana Business Finlandin ja yritysten rahoittamaa Future Spaces -hanketta erilaisten seinärakenteiden tutkimusta. Tutkimuksessa verrataan Hervannan koerakennuksiin asennettujen erilaisten seinärakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa kahdella eri julkisivulla. Sekä etelä- että pohjoisjulkisivulle on asennettu viisi erilaista noin 1,2x2,5m² seinäelementtiä, jotka on anturoitu suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seuraamiseksi rakenteen eri kerroksissa. Kaikkiaan elementeissä on vertailtavana kaksi eri eristepaksuutta: 150 ja 300 mm, sekä kaksi eri julkisivuvaihtoehtoa molemmilla eristepaksuuksilla: paikalla muurattu tiilijulkisivu ja ponttilautaverhous. Muilta osin rakenteet ovat 150 tai 50+200+50 mm puurungollisia, lasivillaeristettyjä, höyrinsulkumuovilla varustettuja ja sekä rungon sisä- että ulkopinnassa on soveltuva kipsilevyverhous. Lisäksi on yksi tiili-villa-tiili, paikalla muurattu rakennetyyppi. Elementtien välistä rakennusfysikaalista toimintaa on verrattu toisiinsa. Kaikkiin elementteihin vaikuttaa sama sisäilman olosuhde ja ulkoilman sää. Kosteusteknisesti parhaiten toimiviksi rakenteiksi tämän tutkimuksen osalta osoittautuivat ohuemmin eristetyt rakennetyypit. Julkisivumateriaalilla ei tutkitulla aikajaksolla sen sijaan ollut merkittävää vaikutusta tuloksiin.

1. Johdanto

Tampereen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen Rakennusfysiikan tutkimusryhmä on osana laajempaa tutkimuskonsortiota saanut Business Finlandilta rahoitusta Future Spaces -hankkeelle. Osana hanketta tutkitaan RAPID U -hankkeessa koerakennukseen tehtyjen seinärakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa.

Koerakennuksiin voidaan asentaa etelä- ja pohjoisjulkisivuille noin 1,2 x 2,5 m² seinäelementtejä yhteensä 24 kpl ja noin 1,8 x 4 m² harjakattoelementtejä yhteensä 6kpl. Tässä hankkeessa tutkitaan yhteensä kymmentä toisessa hankkeessa rakennettua seinäelementtiä ja kuutta kattoelementtiä. Jokaista seinärakennetyyppiä on kaksi kappaletta, yksi etelä- ja pohjoisjulkisivulla ja siten eri elementtityyppejä on viisi kappaletta. Kattoelementtejä koskeva tutkimus on raportoitu osana toista artikkelia.

Seinäelementeissä on varioitu eristepaksuutta siten, että elementit edustavat Suomessa varsin tyypillisiä eri aikakausien rakenteita. Lisäksi on varioitu julkisivumateriaalia, koska tiedetään, että julkisivumateriaalilla voi olla merkittävä vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Elementtien kosteusteknistä toimintaa havainnoidaan kattavalla lämpötilan ja suhteellisen kosteuden anturoinnilla, jotta rakennetyyppien välisiä eroja kosteusteknisessä toiminnassa voidaan verrata. Rakenteen sisäisten olosuhteiden lisäksi seurattiin sisäilman olosuhteita ja ulkoilman säätä Vaisalan sääaseman avulla.

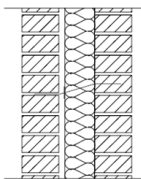
2. Tutkittavat elementit

2.1 Rakennetyypit

Tutkittavista rakenteista neljä on puurungollisia ja yksi tiilirungollinen rakenne. Rakennetyypit (W2-W5) ovat pientaloissa tyypilliset: puurunko k-k 600 mm jaolla, mahdollinen ristiinkoolaus, lasivillaeristys, höyrysulkumuovi kantavan rungon sisäpinnassa, sisäpinnan kipsilevyverhoaus, kipsituulensuoja, tuuletusrako ja ulkoverhousmateriaali. Tiilirungollinen rakenne (W1) on valittu Jaakko Tuikan diplomityön [1] laskennallisissa tarkasteluissa käytetystä tiili-villa-tiili rakenteesta, jossa kahden umpitiikerroksen välissä on mineraalivilla ja tuuletusrako. Rakenteessa ei ole tuulensuoja- tai höyrynsulkukerrosta. Tutkittavien elementtien materiaalit on hankittu rautakaupasta, ja elementit on rakentanut ja rakentamisen yhteydessä anturoinut Tampereen yliopiston tiloissa Jaakko Hietikko osana diplomityötään.

Puurungollisissa rakennetyypeissä on kaksi eristevariaatiota, joista ohuen eristeen tapauksessa 150 mm eristekerros on asennettu 150 mm puurungon väliin (W2, W4). Paksun eristeen tapauksessa on käytetty 200 mm puurunkoa, jonka molemmat pinnat on ristiinkoolattu ja eristetty, jotta 300 mm eristepaksuus saavutetaan (W3, W5). Näiden rakennetyyppien julkisivuina on sekä puu- että tiilijulkisivu toteutettuna 22 mm julkisivupaneelilla (W2, W3) tai 85 mm reikätiilellä (W4, W5). Tiiliverhoillusta rakenteesta on lisäksi mukana myös ECOSAFE-hankkeessa tutkittava kutterieristetty rakenne (E1), jonka avulla voi havainnoida lämmöneristeen kosteuskapasiteetin vaikutusta. Eri rakennetyyppien leikkauskuvat on esitetty kuvassa 1.

W1 Tiili-villa-tiili

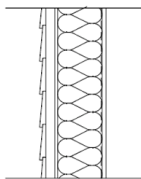


Rakenne ulkoa sisäänpäin:

1. Tiilimuuraus
2. Tuuletusväli
3. Lämmöneriste
4. Tiilimuuraus

Rakenteen laskennallinen referenssi U-arvo
U_{ref} = 0,288 W/m²K

W2 Puujulkisivu, ohut eristys

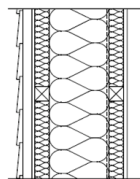


Rakenne ulkoa sisäänpäin:

1. Puuverhoaus
2. Tuuletusväli ja pystykoolaus
3. Tuulensuojakipsilevy
4. Lämmöneriste ja runkotolpat
5. Höyrynsulku
6. Kipsilevy

Rakenteen laskennallinen referenssi U-arvo
U_{ref} = 0,268 W/m²K

W3 Puujulkisivu, paksu eristys

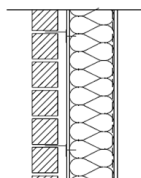


Rakenne ulkoa sisäänpäin:

1. Puuverhoaus
2. Tuuletusväli ja pystykoolaus
3. Tuulensuojakipsilevy
4. Lämmöneriste ja vaakakoolaus
5. Lämmöneriste ja runkotolpat
6. Höyrynsulku
7. Lämmöneriste ja vaakakoolaus
8. Kipsilevy

Rakenteen laskennallinen referenssi U-arvo
U_{ref} = 0,139 W/m²K

W4 Tiilijulkisivu, ohut eristys

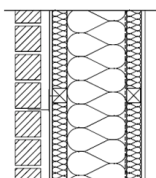


Rakenne ulkoa sisäänpäin:

1. Tiilimuuraus
2. Tuuletusväli ja pystykoolaus
3. Tuulensuojakipsilevy
4. Lämmöneriste ja runkotolpat
5. Höyrynsulku
6. Kipsilevy

Rakenteen laskennallinen referenssi U-arvo
U_{ref} = 0,247 W/m²K

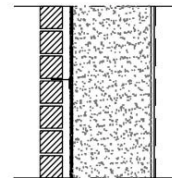
W5 Tiilijulkisivu, paksu eristys



Rakenne ulkoa sisäänpäin:

1. Tiilimuuraus
2. Tuuletusväli ja pystykoolaus
3. Tuulensuojakipsilevy
4. Lämmöneriste ja vaakakoolaus
5. Lämmöneriste ja runkotolpat
6. Höyrynsulku
7. Lämmöneriste ja vaakakoolaus
8. Kipsilevy

Rakenteen laskennallinen referenssi U-arvo
U_{ref} = 0,133 W/m²K



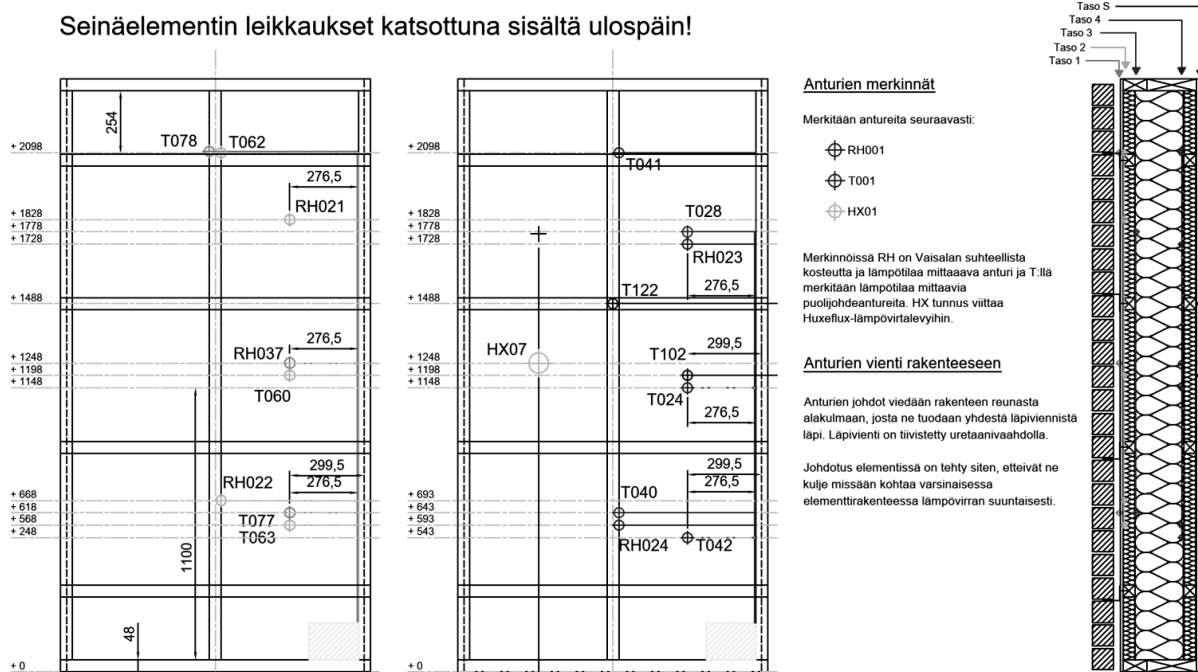
Rakennetyyppi E1

- | | |
|---------------------------|--------|
| Tiilimuuraus | 85 mm |
| Tuuletusväli | 30 mm |
| Kipsituulensuojalevy | 9 mm |
| Poikky kutterinpuueristys | 300 mm |
| Vaneri | 15 mm |
| Höyrynsulkumuovi | |

Kuva 1. Tutkittujen elementtien rakennetyypit

2.2 Anturointi

Kaikki elementit anturoitiin samalla tavalla, joskin tiilirunkoisessa elementissä on vähemmän rakenneosia ja siinä anturit on asennettu vain rakennekerrosten rajapintoihin ja siten antureita on kokonaisuutena vähemmän. Anturit on pääosin sijoitettu yhteen runkotolppaväliin, koska toisen runkotolppavälin tuulensuojalevyistä on suunniteltu tutkimuksen aikana otettavan näytteitä homeen kasvun analysoimiseksi. Anturityyppeinä on suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaauksessa käytetty Vaisalan HMP110 -antureita, pelkän lämpötilan mittaauksessa TI LM355 - puolijohdeantureita, ja lämpövuon mittaauksessa Hukseflux HFP01-antureita. Elementtien anturointi on esitetty kuvassa 2.



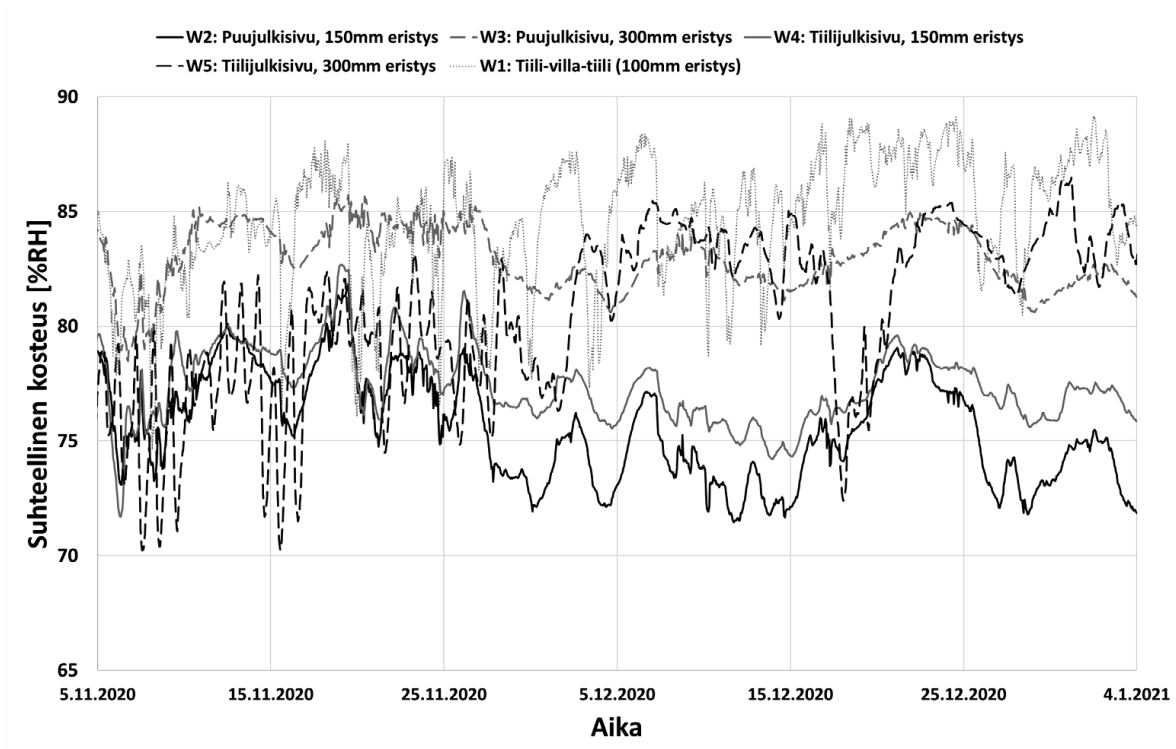
Kuva 2. W5-elementin anturoinnit, muissa elementeissä anturit vastaavissa sijainneissa

3. Tulokset

Tässä artikkelissa mittaustulosten esittely keskittyy tuulensuojalevyn sisäpinnan tulosten esittelyyn, koska tuulensuojalevyn sisäpinnassa, ei tulisi sallia homeen kasvulle otollisia olosuhteita. Tuulensuojalevyn ulkopinta on lähes ulkoilman olosuhteissa, eikä sen olosuhteisiin voi vaikuttaa. Tuulensuojan sisäpinnassa yleensä on myös rakennuksen runko, jonka homehtumista ei tulisi sallia. Syvemmillä rakenteissa lämpötila on tuulensuojan sisäpintaa korkeampi, joten suhteellinen kosteus jää lähes poikkeuksetta matalammaksi, koska ehjä höyrynsulku pienentää sisäilman kosteuden vaikutusta rakenteeseen.

3.1 Olosuhteet tuulensuojalevyn sisäpinnassa

Tuulensuojalevyn sisäpinnan suhteellisen kosteuden kuvaajat loppuvuodelta 2020 pohjoisseinältä on esitetty kuvassa 3. Suhteellisen kosteuden tasot eteläseinällä ovat auringon säteilyn myötä usein alhaisemmat, mutta rakenteiden järjestys kosteustasojen osalta pysyy pääosin samana.



Kuva 3. Suhteellinen kosteus eri elementtien tuulensuojalevyn sisäpinnassa.

Kuvasta 3 nähdään, että ohuemmin eristetyillä rakenteilla tuulensuojalevyn sisäpinnan suhteellinen kosteus pysyy huomattavasti matalampana kuin paksummin eristetyillä rakenteilla. Tämä on odotettavissa oleva tulos, koska paksumpi eristekerros viilentää rakenteiden ulko-osia vaikuttamatta ulko-osien absoluuttisen kosteuden tasoon. Tuloksista nähdäänkin selvästi, että suurilla eristepaksuuksilla rakenteen sietokyky ilmastonmuutokselle ja ulkoilman kosteustason nousulle on heikko.

Kokotiilinen rakenne on kaikista kostein, mutta siinä ei ole lainkaan homehtumiselle herkkiä materiaaleja, joten se ei välttämättä ole homeen kasvun kannalta heikoin rakenne. ECOSAFE-vertailurakenteen perusteella (ei kuvassa), voidaan lisäksi tehdä havainto, että eristeen suurempi kosteuskapasiteetti madaltaa kosteustasoa tuulensuojalevyn takapinnassa.

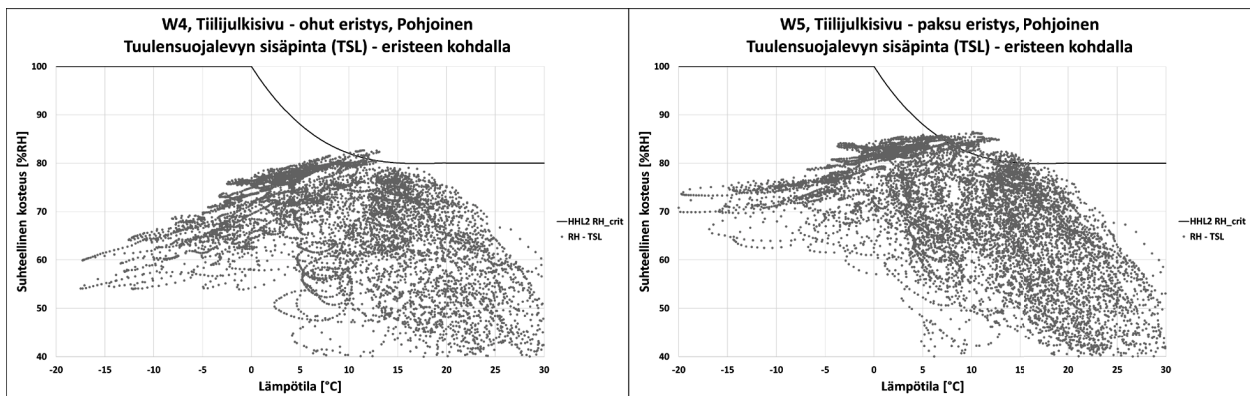
Puu- ja tiilijulkisivujen välinen ero jää lopulta pieneksi, mutta näkyy etenkin ohuemmalla eristepaksuudella puujulkisivun eduksi. Tämä kertoo tutkimusjaksolle osuneesta verrattain vähäisestä viistosateen määrästä, koska viistosaderasitettu tiilijulkisivu oletettavasti olisi vastaavaa puujulkisivua kosteammissa olosuhteissa. Viistosateen negatiivista vaikutusta lisäksi kompensoi tiilen suurempi lämpökapasiteetti, joka vähentää rakenteen jäähtymistä yöaikaan etenkin kylminä syysöinä, joita usein edeltää aurinkoinen päivä.

3.2 Homehtumiselle otollisten olosuhteiden esiintyvyys

Tuulensuojan sisäpinnan toteutuneille olosuhteille laskettiin homeindeksit Suomalaisen homemallin [2] avulla. Homeindeksit eivät odotetusti nousseet juurikaan ja niiden avulla rakenteita ei pysty asettamaan paremmuusjärjestykseen. Täytyy muistaa, että toteutetut rakenteet ovat varsin tyypillisiä ja edustavat Suomessa käytettyjä rakennetyyppejä. Niiden ulkopinnan homehtuminen ei nykyilmastossa ole odotettavissa satikka toivottavaa, mutta

ilmastonmuutoksen myötä olosuhteiden kriittisyys tulee kasvamaan ja nyt heikoiten toimivat rakenteet todennäköisesti muuttuvat ongelmarakenteiksi.

Suomalaisen homemallin mukaisesti laskettavassa homeindeksin kaavassa voidaan tunnistaa kriittinen kosteustaso (RH_{crit}), jonka jälkeen homehtuminen on mahdollista. Kriittinen kosteustaso riippuu materiaalin homehtumisherkkyysluokasta ja lämpötilasta. Kriittisen kosteustason ylittyessä alkaa homeen itämisaika, joka täyttyy, kun saavutetaan homeindeksin arvo 1. Kuvassa 4 on esitetty rakenteiden W4 ja W5 lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittapistepilvi ja kipsituulensuojalevyn homehtumisherkkyysluokan 1 kriittisen kosteustason käyrä. Mitä enemmän pisteitä on kriittisen kosteustason käyrän yläpuolella, sitä vähemmän rakennetyyppi kestää ilmaston muuttumisen aiheuttamaa kosteustason nousua. Myös mitä kauempana piste on kriittisen kosteustason käyrästä, sitä nopeammin homeindeksi alkaa kehittyä.



Kuva 4. Tiiliverhoillun ohuesti eristetyn rakenteen W4 ja vastaavan paksummin eristetyn rakenteen W5 lämpö- ja kosteustasot koko tutkimuksen ajalta.

Kuvan 4 pistepilvien kriittisen kosteustason ylittävien pisteiden lukumäärä ja sen perusteella laskettu tuntimäärä eri rakennetyypeissä on esitetty taulukossa 1. Lisäksi on laskettu alkuvuoden 2021 ajalta suhteellisen kosteuden ja lämpötilan keskiarvot.

Taulukko 1. Kriittisten kosteusolosuhteiden esiintyminen tuulensuojalevyn sisäpinnassa

Rakenne	W1	W2	W3	W4	W5
Homehtumisen kannalta kriittisen rajan RH_{crit} ylittävät mittaukset koko tutkimusajalta	459 h	24 h	444 h	42 h	328 h
Keskiarvotettu suhteellinen kosteus tuulensuojalevyn sisäpinnassa ajalta 1.1.-30.4.2021	66 %RH	59 %RH	67 %RH	67 %RH	79 %RH
Keskiarvotettu lämpötila tuulensuojalevyn sisäpinnassa ajalta 1.1.-30.4.2021	3,8 °C	4,5 °C	3,4 °C	5,3 °C	2,0 °C

Taulukon 1 tuloksissa havaitaan sama tulos kuin kuvan 3 kuvaajista. Ohuempi eristepaksuus pitää lämpötilan tuulensuojalevyn sisäpinnassa selvästi korkeampana, joka puolestaan laskee ilman suhteellista kosteutta. Suurempi lämpövuoto talvisin korostaa tätä ilmiötä, joka näkyy selvästi taulukon 1 tuloksissa.

Kaikkien rakenteiden osalta ilman absoluuttinen kosteuspitoisuus tuulensuojalevyn takapinnassa on hyvin lähellä ulkoilman olosuhdetta. Siksi hyvän kosteusteknisen toiminnan takaamiseksi suuremmilla eristevahvuuksilla tuulensuojalevyn tulisi olla lämpöä eristävä, jotta olosuhteet levyn sisäpinnassa eivät yltäisi homeen kasvun kannalta kriittisiin olosuhteisiin. Ilmaston muuttuessa kosteuskuormaltaan rankemmaksi, tämä vaatimus tulee jatkossa korostumaan.

Taulukon 1 tuloksista ja kuvasta 4 havaitaan myös tiilijulkisivun korkeat kosteustasot viileänä aikana. Homehtumisen kannalta kriittinen kosteustaso RH_{crit} nousee kylmällä ja siksi eri julkisivutyyppeiden välillä ei näy homehtumiselle otollisten olosuhteiden näkökulmasta eroa. Keskiarvolämpötilat ja suhteelliset kosteudet kuitenkin osoittavat, että tiilijulkisivullinen rakenne on pääosin kosteammassa ja viileämmässä oloissa. Jos erot rakenteiden välillä pysyvät samoina, mutta koko rakenteen lämpötila ilmastonmuutoksen myötä leudontuvien talvien mukana nousee (kuvan 4 pistepilvet siirtyvät oikealle), tulee tiilijulkisivun kanssa ongelmat vastaan paljon puujulkisivua aikaisemmassa vaiheessa.

4. Yhteenveto

Business Finlandin ja yritysten rahoittamassa Future Spaces -hankkeessa tutkitaan mineraalivillaeristeisten seinärakenteiden kosteusteknistä toimintaa koerakennuksilla, jossa rakenteisiin kohdistuu nykyilmaston mukainen säärasitus ja yhtäläinen sisäilman olosuhde. Vertailtavana oli tiili- ja puujulkisivu sekä kaksi eri eristepaksuutta puurunkorakenteisena ja yksi paikalla muurattu tiili-villa-tiili rakenne.

Tutkimuksessa havaittiin, että eristerokoksen paksuuntuminen vaikuttaa merkittävästi kosteusolosuhteiden kriittisyyteen lähellä rakenteen ulkopintaa, tuulensuojalevyn eristeen puoleisessa pinnassa. Vastaavasti havaittiin, että tiilijulkisivullisissa rakenteissa kosteustasot olivat korkeammat kuin puujulkisivullisissa rakenteissa. Homehtumisriskiin julkisivumateriaalilla ei ollut merkittävää vaikutusta, koska kosteat olosuhteet painottuvat viileään aikaan, jolloin homeen kasvu on kosteustasosta riippumatta vähäistä.

Absoluuttinen kosteus lähellä rakenteen ulkopintaa riippuu lähinnä ulkoilman olosuhteista. Näin ollen rakenteiden kosteustekninen toiminta paranee, kun kriittisiksi katsotut osat rakenteesta ovat lämpimämmässä. Käytännössä suositeltavin ratkaisu on lämpöä eristävän kerroksen asentaminen tuulensuojalevyn ulkopintaan tai lämpöä eristävän tuulensuojamateriaalin käyttö. Vertailu toiseen samaan aikaan käynnissä olevaan ECOSAFE -hankkeen elementtiin osoittaa, että kosteustasoa pystyy vähäisesti alentamaan myös lämmöneristeen kosteuskapasiteettia lisäämällä.

Tutkimuksessa oli käytössä vain kipsituulensuojalevy, joten eri tuulensuojamateriaalien toimivuutta käytännössä ei pystytä arvioimaan näiden tulosten perusteella. Kaikissa rakenteissa on tähän asti ollut ehjä höyrynsulkukalvo, joten rakenteiden vikasietoisuutta ei vielä ole saatu testattua. Tiili-villa-tiili rakenteen ominaisuudet olivat monilta osin poikkeavat vastaaviin puurunkoisiin rakenteisiin verrattuna. Kyseisen rakenteen korkeammat kosteustasot eivät automaattisesti tarkoita huonompaa kosteusteknistä toimivuutta, koska rakenne ei sisällä lainkaan herkästi homehtuvia materiaaleja. Hanke jatkuu ja ainakin vikasietoisuutta pyritään testaamaan tuottamalla hallittua sisäilman kosteuden vuotoa rakenteeseen.

Lähdeluettelo

- [1] Tuikka, J. 2019. Seinärakenteiden U-arvon in-situ mitattavuuden laskennallinen arviointi
- [2] Vinha, J. Viitanen, H. Lähdesmäki, K. Peuhkuri, R. Ojanen, T. Salminen, K. Paajanen, L. Strander, T. Iitti, H. Julkaisematon. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehtumisriskin laskennallinen arviointi