

Mineraalivillaeristeisten yläpohjarakenteiden 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 yläpohjarakenteiden tutkimusta. Tutkimuksessa verrataan Hervannan koerakennuksiin asennettujen erilaisten yläpohjarakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa. Kahteen koerakennukseen asennetaan yhteensä kuusi erilaista noin 1,8x4m² tuuletustilallista harjakattoista yläpohjaelementtiä, jotka on anturoitu suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seuraamiseksi rakenteen eri kerroksissa. Kaikkiaan elementeissä on vertailtavana kaksi eristevaihtoehtoa: mineraalivilla ja sellueriste, sekä kaksi eri aluskatevaihtoehtoa molemmilla eristevaihtoehdoilla: lämpöä eristävä ja kalvomainen aluskate. Lisäksi on kaksi mineraalivillaeristeistä yläpohjaelementtiä, joissa on molemmissa lämpöä eristävä aluskate. Näissä elementeissä on rajoitetut ilmanvaihtoreitit ja tarkoituksena on verrata eri ilmanvaihtuvuuksien vaikutuksia tuuletustilan olosuhteisiin. Artikkelia kirjoitettaessa mittadataa on kertynyt kolmesta mineraalivillaelementistä, joissa on mukana molemmat aluskatevariaatiot ja yksi rajoitetun ilmanvaihdon elementti. Elementtien välistä rakennusfysikaalista toimintaa on verrattu toisiinsa. Kaikkiin elementteihin vaikuttaa sama sisäilman olosuhde ja ulkoilman sää. Kosteusteknisesti parhaiten toimiva rakenne tähän mennessä kertyneen datan perustella on rajoitetun ilmanvaihdon elementti, jossa oletettavasti on kaikista kolmesta rakenteesta vähäisin ilmanvaihtuvuus.

1. Johdanto

Tampereen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen Rakennusfysiikan tutkimusryhmä on osana laajempaa tutkimuskonsortiota saanut Business Finlandilta rahoitusta Future Spaces -hankkeelle. Osana hanketta tutkitaan koerakennukseen rakennettavien yläpohjarakenteiden 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 RAPID U -hankkeessa rakennettua seinäelementtiä ja kuutta kattoelementtiä. Artikkelin kirjoitushetkellä mittadataa on ollut käytettävissä kolmesta kattoelementistä. Seinäelementtejä koskeva tutkimus on raportoitu osana toista artikkelia.

Kattoelementeissä on varioitu kahta eri eristelaatua, jotka ovat yleisesti käytössä Suomessa: kivimineraalivilla ja sellueriste. Eristeet on valittu siten, että eristeen kosteuskapasiteeteissa on eroavaisuutta. Lisäksi on varioitu aluskatemateriaalia, koska aiemman FRAME-hankkeen [1] tutkimustulosten valossa tiedetään, että aluskatemateriaalilla voi olla merkittävä vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Tämän lisäksi on rakennettu elementtejä, joissa tavanomaisen räystääs- ja harjatuuletuksen tilalla on ilmanvaihtoputket, joiden ilmavirtauksia pyritään mittaamaan ja tarvittaessa säätämään, jotta saadaan tietoa eri ilmanvaihtuvuuksien vaikutuksista yläpohjan tuuletustilan olosuhteisiin.

Elementtien kosteusteknistä toimintaa havainnoidaan kattavalla lämpötilan ja suhteellisen kosteuden anturoinnilla, jotta rakennetyyppien välisiä eroja kosteusteknisessä toiminnassa voidaan verrata. Rakenteen sisäisten olosuhteiden lisäksi seurataan sisäilman olosuhteita ja ulkoilman säätä Vaisalan sääaseman avulla.

2. Tutkittavat elementit

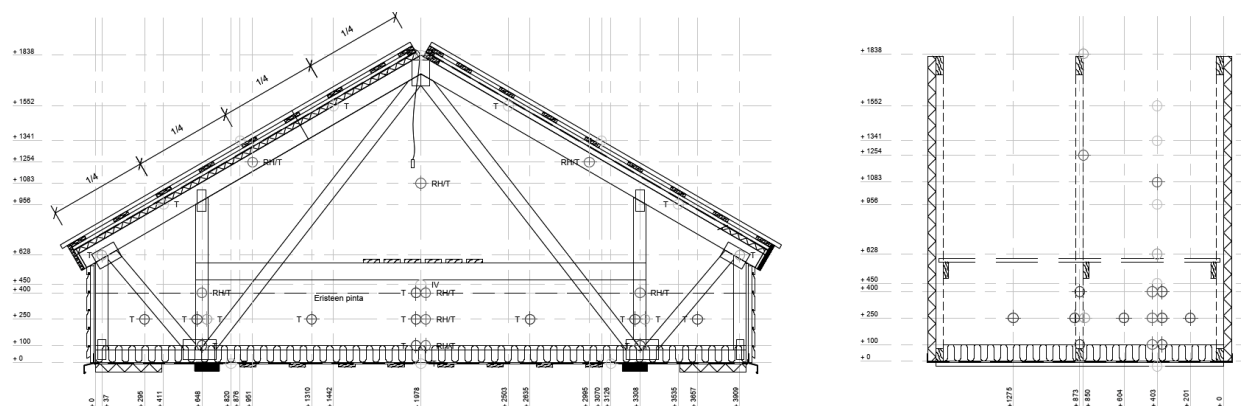
2.1 Rakennetyypit

Tutkittavat rakenteet ovat tavanomaisia naulalevyristikollisia yläpohjia. Rakenteissa on sisäpinnassa harvalauditus, höyrynsulkumuovi, 15 mm havuvanerilevy, ristikon alapaarteiden väliin asennettu 100 mm levyriste ja levyristeen päälle puhaltamalla asennettu irtoeriste, jonka paksuus on valittu siten, että laskennallisesti saavutetaan U-arvo 0,09 W/m²K. Ristikoiden yläpaarteiden päälle on asennettu aluskate, korokeripa, ruodelauditus ja trapetsipeltikate. Yläpohjan seinärakenne puolestaan on puuverhoilu, tuuletusväli ja tuulensuojalevy. Rakenteet on tuuletettu aluskatteen ja tuulensuojalevyn välisellä raolla räystäällä ja harjalla eri lappeiden aluskatteiden reunojen välisellä raolla. Tuuletus rakennuksen pituussuunnassa on estetty osastoimalla eri elementit toisistaan 50 mm XPS levyllä, joka on tiivistetty höyrynsulkumuoviin, tuulensuojalevyyn ja aluskatteeseen.

Rajoitetun ilmanvaihdon elementeissä tuuletusraot on tukittu XPS-levyillä ja uretaanivaahdolla. Ilmanvaihtoreitit on tehty elementin molempien ristikkovälien puoliväliin 100 mm ilmanvaihtoputkesta sekä räystäällä että harjalla. Yhteensä 0,5 m pitkiä ilmanvaihtokanavia on 6 kpl / elementti.

Tässä artikkelissa käsitellään kolmea jo asennettua rakennetta, joissa kaikissa on mineraalivillaeeriste. Erona rakenteissa on joko aluskate tai tuuletus: yhdessä rakenteessa on kalvomainen diffuusioavoin muovialuskate (YP2, kuva 1 oikea lape) ja kahdessa eristävä 30 mm XPS-levystä toteutettu aluskate. Toinen eristävällä aluskatteella varustettu elementti on toteutettu täysin kalvoaluskatetta vastaavilla tuuletusreiteillä (YP1, kuva 1 vasen lape) ja toinen on toteutettu yllä esitellyllä ilmanvaihdon tuuletuskanavistolla (YP3).

Tutkittavien elementtien eristemateriaalit on saatu eristevalmistajilta ja irtoeristeet on asennettu valtuutetun asentajan toimesta. Elementtien rakentaminen on tehty ostopalveluna. Anturit ja levyristeet on asentanut Tampereen yliopiston tiloissa tutkimusapulainen Jaakko Hietikko.



Kuva 1. Tutkittujen elementtien rakenneleikkaus ja anturointi

2.2 Anturointi

Aluskatetta ja eristemateriaalia edustavat elementit anturoidaan toisiaan vastaavasti kuvan 1 mukaisesti. Rajoitetun ilmanvaihdon elementeissä antureita on merkittävästi vähemmän; anturointi on keskitetty mittaamaan tuuletustilan olosuhteita. Näissä elementeissä ilmavirtauksia mitataan paitsi elementin keskeltä myös ilmanvaihtokanavista. Jokaisen kanavan puolivälissä on HD403TS2 kuumalanka-anemometri, jolla pyritään mittaamaan ilmavirtausta putkessa. Vastaava anturityyppi on käytössä jokaisen eri elementin tuuletustilan keskellä kuvan 1 mukaisesti.

Suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mittaavat anturit on pääosin sijoitettu yhteen ristikkoväliin, jotta saadaan mahdollisimman tarkkaa tietoa lämpö- ja kosteusolosuhteista yksittäisessä ristikkovälissä. Lämpötilaa mitataan jonkin verran myös toisesta ristikkovälistä, tavoitteena havainnoida mahdollista sisäisen konvektion aiheuttamaa lämpötilakentän epälineaarisuutta eristeen ja elementin sisällä. Anturityyppeinä on suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittauksessa käytetty Vaisalan HMP110 -antureita ja pelkän lämpötilan mittauksessa TI LM355 -puolijohdeantureita. Yhteensä rajoittamattoman ilmanvaihdon elementeissä on 8 kpl HMP110 -antureita, 34 kpl TI LM355 -antureita ja yksi ilmavirtausanturi.

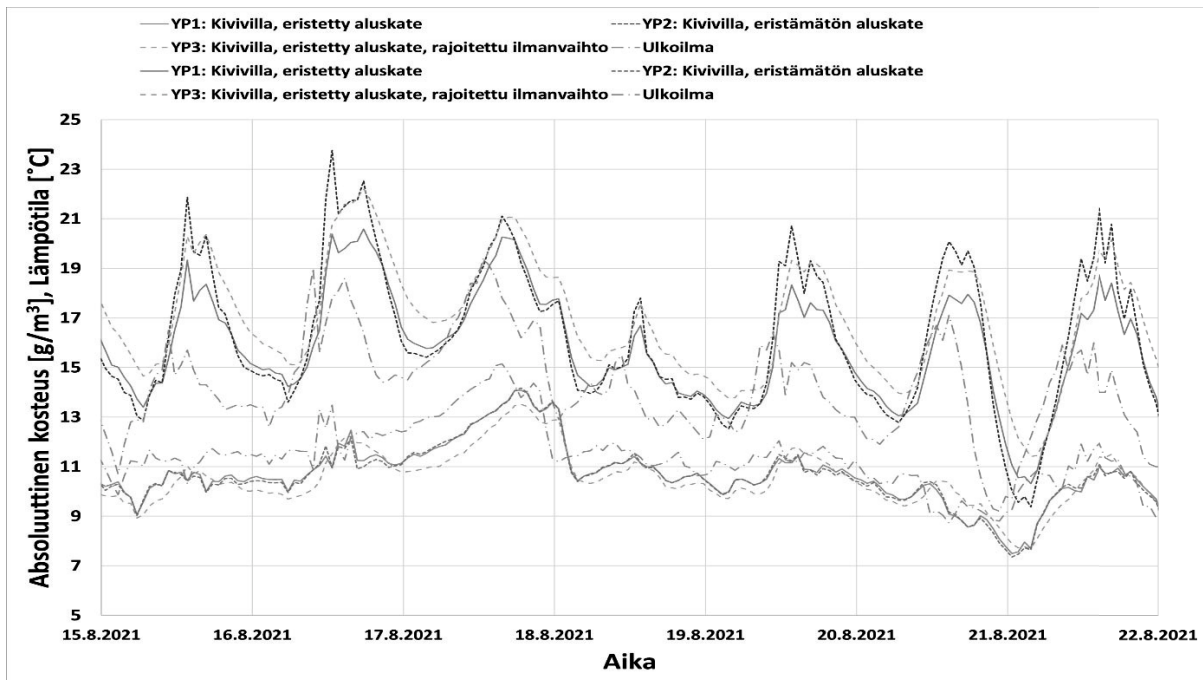
3. Tulokset

Tässä artikkelissa mittaustulosten esittely keskittyy tuuletustilan olosuhteisiin, koska niissä eri tuuletusratkaisujen ja aluskatteiden erot tulevat selkeimmin näkyviin. Tuuletustilan olosuhteiden odotetaan laskennan tulosten perusteella olevan kriittisiä hyvin eristetyin yläpohjan tapauksessa, kun rakenteen läpi virtaava lämpö ei riitä pitämään tuuletustilaa selkeästi ulkoilmaa lämpimämpänä. Koska tuuletustilassa on avoin eristepinta, ei tuuletustilassa tulisi esiintyä homeen kasvulle otollisia olosuhteita; mahdollinen homeen kasvu avohuokoisen eristeen yläpinnassa tarkoittaa itiöiden verrattain vapaata kulkeutumista rakenteen sisään ja sieltä edelleen ilmavuotoreittejä pitkin sisäilmaan.

3.1 Ulkoilman ja tuuletustilan väliset erot

Absoluuttinen kosteus ja lämpötila eri elementtien tuuletustilassa ja ulkoilmassa on esitetty kuvassa 2. Kuvasta nähdään, että tuuletustilan olosuhteet seuraavat ulkoilman olosuhdetta muutaman tunnin viiveellä. Lämpötila tuuletustilassa on jokseenkin ulkoilmaa korkeampi kaikilla eri elementeillä ja absoluuttinen kosteus puolestaan matalampi. Matalampi absoluuttisen kosteuden taso tarkoittaa käytännössä, että ulkoa tuuletustilaan virtaavasta ilmasta sitoutuu kosteutta tuuletustilan kosteutta sitoville pinnoille. Kuvasta voidaan myös havaita, että absoluuttinen kosteus eri aluskatevariaatioilla (YP1 ja YP2) on täysin sama, josta voidaan arvioida ilmanvaihtuvuuden olleen yhtäläisen. Eristetyllä aluskatteella on kuitenkin saavutettu korkeammat lämpötilat yöaikaan päivälämpötilan jäädessä alhaisemmaksi. Rajoitetun

ilmanvaihdon elementissä kosteustaso on pääosin muita alhaisempi ja lämpötila lähes jatkuvasti korkeammalla, mikä viittaisi muita elementtejä vähäisempään ilmanvaihtuvuuteen.



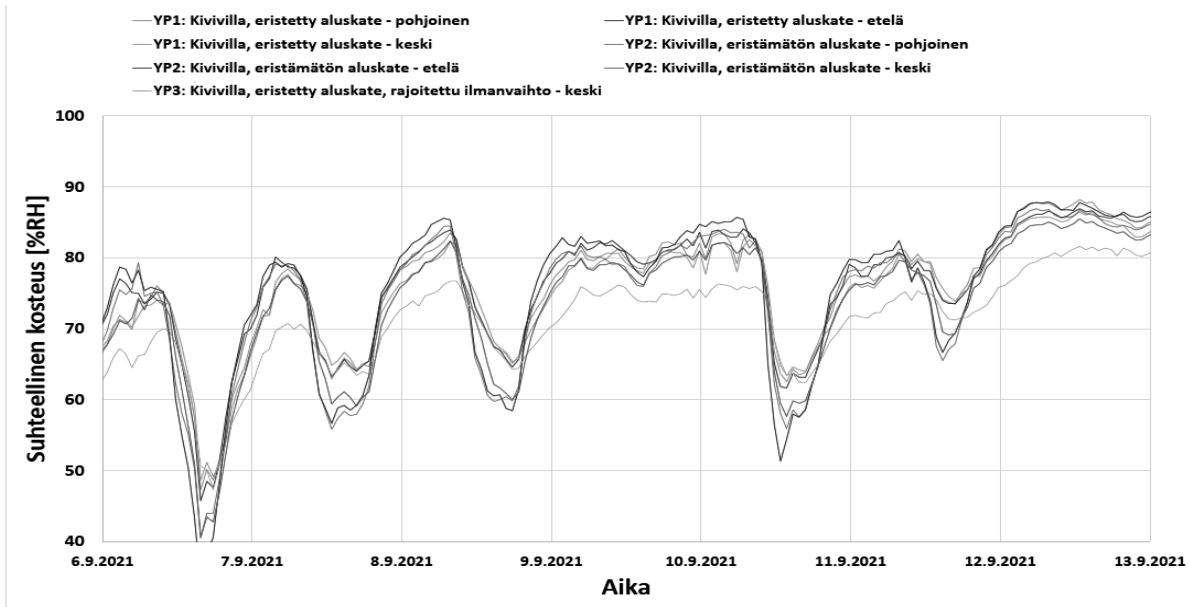
Kuva 2. Absoluuttinen kosteus ja lämpötila tuuletustilassa ja ulkoilmassa. Absoluuttiset kosteudet ovat neljä alemmaa käyrää.

3.2 Elementtien väliset erot

Edellisen luvun mukaisesti ulkoilman absoluuttinen kosteus on pääosin tuuletustilan ilman kosteutta suurempi. Se johtaa yhdessä lämpötilaerojen kanssa siihen, että tuuletustilan suhteellinen kosteus pysyy kaikilla rakenteilla lähes koko ajan ulkoilman suhteellista kosteutta matalampana. Erot suhteellisessa kosteudessa puhalluseristeen yläpinnasta mitattuna on esitetty kuvassa 3. Kuvasta voidaan havaita rajoitetun ilmanvaihdon elementin yöaikaiset merkittävästi muita elementtejä matalammat suhteellisen kosteuden tasot, jopa 10 %-yksikköä.

Muissa elementeissä on keskialueen lisäksi anturi etelä- ja pohjoisreunalla (kuva 1). Kuvasta 3 voidaan havaita, että suhteellinen kosteus on eri aluskatteilla yöaikaan samalla tasolla, mutta päivällä eristämättömällä aluskatteella saavutetaan matalampi suhteellinen kosteus. Tämä on seurausta aiemmin havaitusta päiväaikaisesta lämpötilan noususta. Vähäiset muutaman %-yksikön erot voidaan havaita myös etelä- ja pohjoislaapteen välillä, mutta eroavaisuus muuttuu vuorokaudenaikojen mukana eikä tuota siten etelä- ja pohjoispuolelle merkitsevää eroa. Vastaavat havainnot voidaan tehdä ristikon yläpaarteisiin asennetuista antureista, mutta niissä suhteellisen kosteuden erot jäävät tätäkin pienemmiksi todennäköisesti parrepuun eristettä suuremman kosteuskapasiteetin ja lämpökapasiteetin vuoksi.

Nyt käytössä olevassa kesä- ja syyskauden datassa on tilanne, että rakenne on kesän jäljiltä kuiva. Tässä tilanteessa viilenevä ulkoilma ja yöaikaiset korkeat ilmakesteydet aiheuttavat yläpohjan kostumista. Elementtien väliset erot voivat tasoittua, kun talven jäljiltä tullaan tilanteeseen, jossa rakenteeseen mahdollisesti kertyneen kosteuden tulee poistua. Ylipäänsä mittausjaksolle ei osunut merkittävää määrää hyvin kylmiä ja kosteita ulko-olosuhteita, joka tasoittanee elementtien välisiä eroja.

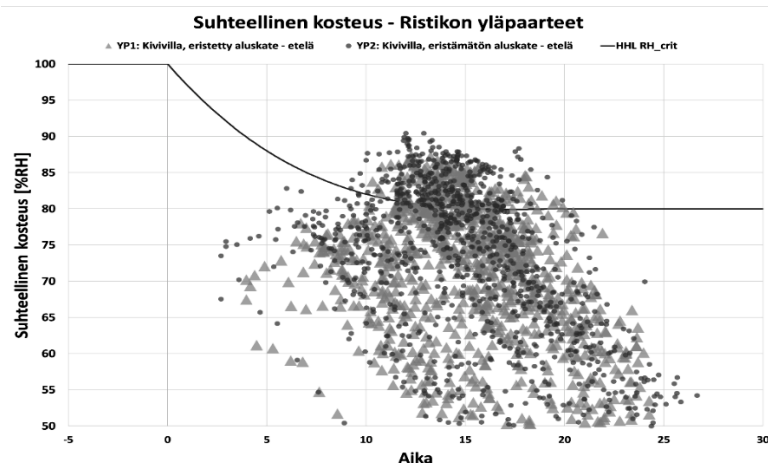


Kuva 3. Suhteellinen kosteus eristeen pinnalla elementin etelä- ja pohjoisreunalla sekä keskellä.

3.3 Olosuhteiden kriittisyys

Ristikoiden yläpaarteesta mitatuille olosuhteille laskettiin homeindeksit Suomalaisen homemallin [2] avulla. Homeindeksit eivät odotetusti nousseet juurikaan ja niiden avulla rakenteita ei pysty asettamaan paremmuusjärjestykseen. Osittain matalat homeindeksit ovat seurausta lyhyestä laskentajaksosta. Täytyy myös huomioida, että rakenteiden homehtuminen ei nykyilmastossa ollut odotettavissa, mutta ilmastomuutoksen myötä olosuhteiden kriittisyys tulee kasvamaan ja tämä on ongelma erityisesti heikoiten nykyilmastossa toimiville ratkaisuille.

Suomalaisen homemallin mukaisesti laskettavassa homeindeksin kaavassa voidaan tunnistaa kriittinen kosteustaso (RH_{crit}), jonka jälkeen homehtuminen on mahdollista. Kriittinen kosteustaso riippuu materiaalin homehtumisherkkyyssluokasta ja lämpötilasta. Kuvassa 4 on esitetty rakenteiden YP1 ja YP2 lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittapistepilvi ja ristikon yläpaarteen homehtumisherkkyyssluokan 1 kriittisen kosteustason käyrä. Mitä enemmän pisteitä on kriittisen kosteustason käyrän yläpuolella, sitä vähemmän rakennetyyppi kestää ilmastomuutoksen aiheuttamaa kosteustason nousua.



Kuva 4. Eristävällä ja kalvomaisella aluskatteella varustettujen yläpohjien lämpö- ja kosteustasot koko tutkimuksen ajalta.

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

Taulukko 1. Kriittisten kosteusolosuhteiden esiintyminen yläpaarteissa. YP3 osalta yläpaarteesta ei ole suhteellisen kosteuden mittaustuloksia ja laskenta on tehty tuuletustilan kosteuden perusteella, joka muiden elementtien perusteella on paarteen tilannetta hivenen kriittisempi.

Rakenne (P = pohjoispuoli, E = eteläpuoli)	YP1 – P	YP1 – E	YP2 - P	YP2 – E	YP3
Homehtumisen kannalta kriittisen rajan RH_{crit} ylittävät mittaukset	188 h	188 h	227 h	271 h	73 h
Keskiarvotettu suhteellinen kosteus	69,2 %RH	68,7 %RH	70,7 %RH	71,3 %RH	65,7 %RH
Keskiarvotettu lämpötila	17,3 °C	17,3 °C	16,6 °C	16,6 °C	18,5 °C

Taulukon 1 ja kuvan 4 tuloksista havaitaan, että eristävällä aluskatteella saadaan tuotettua kosteusturvallisemmat olosuhteet yläpohjan tuuletustilaan. Rajoitetun ilmanvaihdon yläpohjassa kosteusturvallisuus on muita paremmalla tasolla ja syy lienee pienempi ilmanvaihtuvuus. Ilmanvaihtuvuuden rajoittaminen sisältää riskin, koska esimerkiksi Antti Forssin diplomityön [3] laskennallisista tuloksista nähdään, että ilmanvaihtuvuuden laskettua rakenteelle ominaisen rajan alle, alkavat kosteusolosuhteet muuttua uudelleen kriittisempään suuntaan.

Ilmaston muuttuessa kuvan 4 pistepilvet todennäköisesti siirtyvät oikealle ja ylös, jolloin olosuhteiden kriittisyys kasvaa nykyisestä. Siksi olisi tärkeää, että nykytilanteessa ei oltaisi vielä aivan kriittisellä rajalla kiinni.

4. Yhteenveto

Business Finlandin ja yritysten rahoittamassa Future Spaces -hankkeessa tutkitaan ristikkorakenteisten tuulettuvien yläpohjaelementtien kosteusteknistä toimintaa koerakennuksilla, jossa rakenteisiin kohdistuu nykyilmaston mukainen säärasisä ja yhtäläinen sisäilman olosuhde. Tässä artikkelissa käsiteltiin ensimmäisiä mittaustuloksia, joissa on mukana kaksi aluskatevariaatiota: lämpöä eristävä ja kalvomainen, sekä yksi lämpöä eristävällä aluskatteella varustettu rajoitetun ilmanvaihdon elementti.

Tutkimuksessa havaittiin, että lämpöä eristävällä aluskatteella on positiivinen vaikutus tuuletustilan olosuhteisiin. Lisäksi havaittiin, että rajoitetun ilmanvaihdon elementtiin muodostui kosteusturvallisempi olosuhde, joka todennäköisesti on seurausta vähäisemmästä ilmanvaihtuvuudesta.

Lähdeluettelo

- [1] Vinha, J. et al. Tutkimusraportti 159. Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa
- [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
- [3] Forss, A. 2021. Kutterinlastu- ja purueristeiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta nykyisissä ja tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa.