

Kosteusturvaa ja optimoitua energiansäästöä tilojen ylläpitoon älykkäällä kuivanapitolämmityksellä

Juha Vinha^{1,2}, Teemu Jokela¹, Juhani Heljo² ja Juho Kantanen²

¹ Tampereen yliopisto

² MoistMaster Oy

Tiivistelmä

Älykkäässä kuivanapitolämmityksessä tilan lämpötila ja suhteellinen kosteus pidetään sellaisina, että tiloihin ei synny kosteusvaurioita, joita ovat home- ja mikrobikasvu, kosteuden kondensoituminen ja metallien korrosio. Suhteellisen kosteuden noustessa tilaa lämmitetään tarpeen mukaan, jolloin suhteellinen kosteus saadaan laskemaan turvalliselle tasolle. Turvallinen suhteellisen kosteuden taso vaihtelee lämpötilan mukaan, jolloin tilojen lämmitys voidaan tehdä mahdollisimman pienellä energiankulutuksella.

Tässä artikkelissa kuvataan älykkään kuivanapitolämmityksen periaatetta ja tarkastellaan sen vaikutusta ympäröivien vaipparakenteiden homeutumisiin. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että sisätilojen lisäksi älykkäällä kuivanapitolämmityksellä voidaan suojata myös ympäröiviä vaipparakenteita samalla tavalla kuin nykyisin käytössä olevalla peruslämmityksellä, jossa lämpötila pidetään vakiona.

1. Johdanto

Suomessa ja muissa maissa on paljon ajoittain käyttämättömiä tai varastokäytössä olevia tiloja, joita pidetään joko peruslämmössä (eli vakioilämpötilassa) tai täysin lämmittämättöminä. Peruslämmössä olevat tilat kuluttavat tarpeettoman paljon lämmitysenergiaa ja toisaalta täysin lämmittämättömissä tiloissa on riski kosteusvaurioille, joka lisääntyy ilmastonmuutoksen edetessä. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi vapaa-ajanrakennukset, talousrakennukset, varastot, asuntoautot ja -vaunut, ullakot ja kellarit sekä autotallit.

Tiloja voidaan lämmittää myös siten, että lämpöenergian kulutus on vähäinen, mutta tilojen olosuhteet ovat silti kosteusturvalliset. Tätä lämmitystapaa kutsutaan kuivanapitolämmitykseksi. Kun lämpöenergian kulutusta säädetään tiloissa optimoidusti vain tarpeen mukaan, voidaan puhua älykkästä kuivanapitolämmityksestä.

Tutkimus kuivanapitolämmityksestä alkoi Tampereen teknillisessä yliopistossa jo vuonna 2007 ja sen peruseriaatteet julkaistiin ensimmäisen tutkimuksen tuloksena vuonna 2010 [1] ja sen jälkeen myös vertaisarvioituissa konferenssiartikkeleissa 2017 ja 2019 [2] ja [3]. Tutkimuksia jatkettiin laajassa Business Finlandin rahoittamassa tuotekehitysprojektissa 2018–2020. Tutkimuksien pohjalta perustettiin MoistMaster Oy niminen yritys huhtikuussa 2021. Ensimmäinen älykäs tilojen kuivanapitosäädin tuli markkinoille maaliskuussa 2022.

2. Älykkään kuivanapitolämmityksen toimintaperiaate

Liian korkeasta ilman suhteellisesta kosteudesta aiheutuu seuraavia kosteusvaurioita:

- Home- ja mikrobikasvu
- Kosteuden kondensoituminen

- Metallien korrosio, kuten raudan ruostuminen

Korkea suhteellinen kosteus aiheuttaa lisäksi mm. erilaisten kemiallisten yhdisteiden päästöjen lisääntymistä sekä kosteusmuodonmuutoksia.

Näiden lisäksi kosteusvaurioita aiheuttavat erilaiset rakenteissa tapahtuvat kosteusvuodot ja kapillaarinen kosteuden siirtyminen, mutta niitä ei tarkastella tarkemmin tässä yhteydessä.

Korkean ilman suhteellisen kosteuden aiheuttamat kosteusvauriot on mahdollista välttää pitämällä suhteellinen kosteus riittävän alhaisena. Eri vaurioitumisilmiöille on omat suhteellisen kosteuden raja-arvot eri lämpötiloissa, joita ei saa ylittää.

Suhteellista kosteutta voidaan alentaa monella tavalla: lämmittämällä, kuivattamalla ja ilmaa vaihtamalla. MoistMaster -kuivanapitosäädin (kuva 1) alentaa tilan suhteellista kosteutta lämmittämällä. Suhteellisen kosteuden alentaminen tilaa lämmittämällä perustuu siihen, että lämpimämpään ilmaan mahtuu enemmän vesihöyryä, jolloin tilassa oleva vesihöyrypitoisuus muodostaa sinne alemman suhteellisen kosteuden. Tämä säätötapa toimii silloin, jos tilassa ei ole kosteustuottoa.



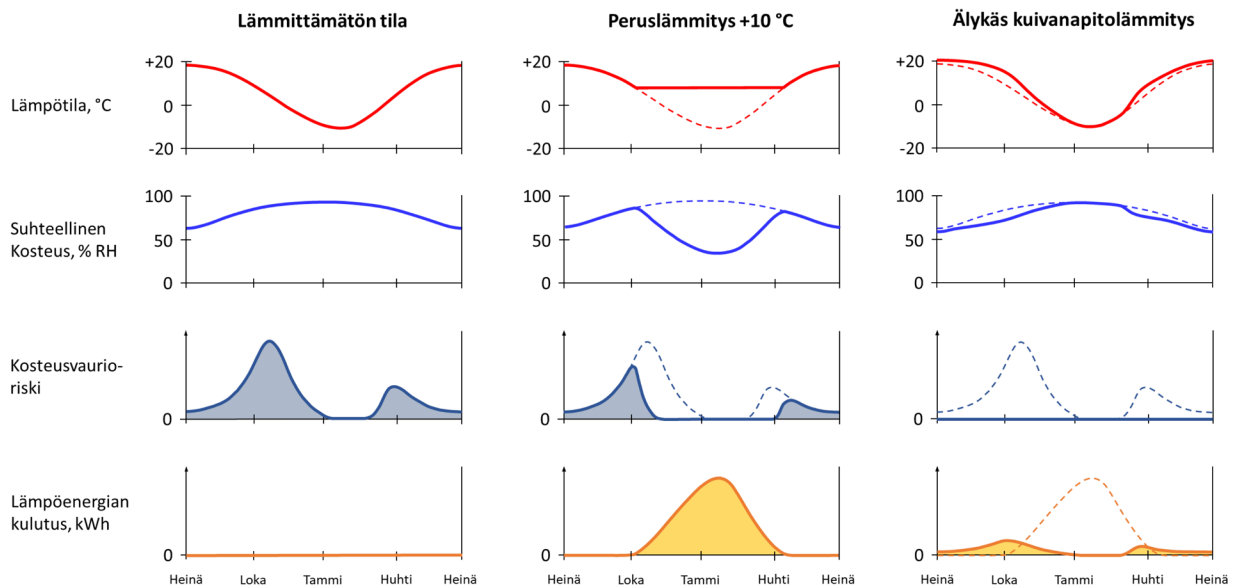
Kuva 1. MoistMaster® E10 LD kuivanapitosäädin. Säädin mittaa tilan lämpötilaa ja suhteellista kosteutta ja kytkee siihen liitettyyn lämmityslaitteeseen virran, kun suhteellinen kosteus ylittää sallitun raja-arvon. [4]

Suhteellisen kosteuden alentaminen pelkästään ilmaa vaihtamalla ei varmista tilassa kosteusturvallisia olosuhteita, koska ilmanvaihdon mukana ulkoa tulevassa ilmassa vesihöyrypitoisuus voi olla ajoittain niin korkea, että se synnyttää tilaan kosteusvaurioriskin. Ilmanvaihto voidaan kuitenkin tarvittaessa yhdistää tilan kuivanpitolämmitykseen, jolloin sitä voidaan käyttää sellaisissakin tiloissa, joissa on ajoittain kosteustuottoa. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi autotallit, joihin tuodaan välillä märkiä ja lumisia ajoneuvoja.

Kuivatuksen haasteena on, että kuivaimen vesisäiliöön kertyvä vesi täytyy välillä poistaa. Tällöin tilassa täytyy käydä säännöllisesti, ellei vettä ole johdettu esimerkiksi letkulla viemäriin. Suhteellisen kosteuden alentaminen lämmittämällä ei sen sijaan vaadi näitä käyntejä.

2.1 Tilan olosuhteet eri lämmitystavoilla

Kuvassa 2 on esitetty tarkasteltavan tilan olosuhteet, kosteusvaurioriski ja energiankulutus eri tilanteissa. Kuvan vasemmassa reunassa on esitetty lämmittämätön tila, keskellä peruslämmitetty tila ja oikealla älykkäästi kuivanapitolämmitetty tila.



Kuva 2. Periaatekuva olosuhteiden vaihtelusta, kosteusvaurioriskistä ja lämpöenergian kulutuksesta lämmittämättömässä tilassa, peruslämmitettyssä tilassa (+10 °C) ja älykkäästi kuivanapitolämmitettyssä tilassa vuoden ajanjaksolla.

Kuvasta 2 nähdään, että lämmittämättömässä tilassa lämpötila ja suhteellinen kosteus muuttuvat ulkoilman olosuhteiden mukaisesti. Olosuhteiden muutos tapahtuu sisätilassa viiveellä, johon vaikuttavat mm. tilan ilmanvaihto, lämmöneristys ja pintamateriaalien kosteuskapasiteetti. Tällaisissa tiloissa esiintyy ajoittain kosteusvaurioriskin (home- ja mikrobikasvu, kosteuden kondensoituminen ja metallien korroosio) aiheuttavia olosuhteita varsinkin loppukesästä ja syksyllä, mutta myös keväällä. Ilmastonmuutoksen edetessä nämä riskit lisääntyvät. Tässä tapauksessa tilan lämmitykseen ei kulu kuitenkaan energiaa.

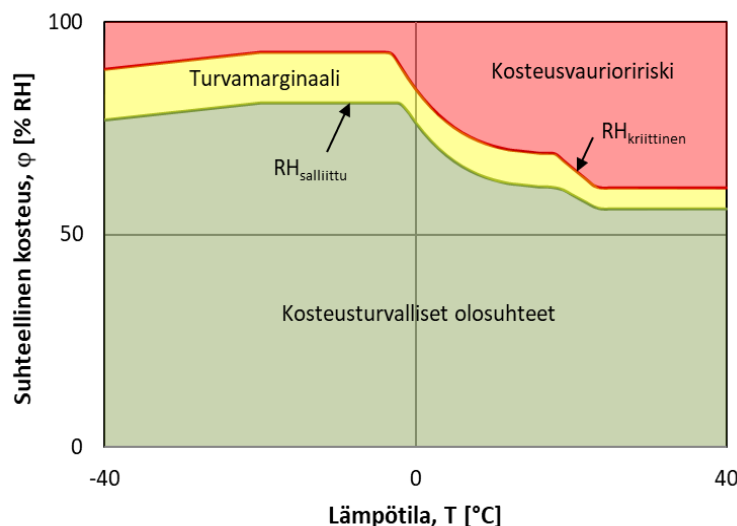
Peruslämmitettyssä tilassa lämpötila pidetään talvikauden ajan koko ajan valitussa lämpötilassa. Kuvan 2 esimerkkiin lämpötilaksi on valittu +10 °C. Talvikaudella suhteellinen kosteus laskee tällaisessa tilassa oleellisesti ulkoilmaa alhaisemmaksi. Sen sijaan loppukesästä ja alkusyksystä sekä myös loppukevällä voi esiintyä kosteusvaurioriskin aiheuttavia olosuhteita, koska tilan sisälämpötila on säädettyä peruslämpötilaa korkeampi, mutta suhteellinen kosteus on kuitenkin korkea. Peruslämmitystä käytettäessä talvella kuluu paljon lämpöenergiaa, joka on suurelta osin tarpeetonta, koska home- ja mikrobikasvua ei tapahdu pakkasolosuhteissa ja raudan ruostuminenkin on silloin vähäistä.

Älykkäässä kuivanapitolämmityksessä tilaa lämmitetään ainoastaan silloin, kun se on tarpeellista. Lämmitysjaksot sijoittuvat siten tyypillisesti loppukesään, syksyyn ja keväälle. Kuivanapitolämmityksessä riittää, että tilan lämpötilaa nostetaan näinä ajanjaksoina tyypillisesti

muutaman asteen verran ulkolämpötilaa korkeammaksi. Pakkasolosuhteissa, jolloin ei esiinny yleensä kosteusvaurioriskiä, tilaa ei ole tarvetta lämmittää lainkaan. Näin ollen tilan lämmittäminen kuluttaa energiaa lähinnä syys- ja kevätkaudella. Älykkäässä kuivanapitolämmityksessä energiankulutus on tyypillisesti n. 5–20 % peruslämmityksen energiankulutuksesta [5]. Jos tilassa on kuitenkin pidettävä lämpötila yli 0 °C esimerkiksi vesikalusteiden vuoksi tai muuten nesteiden jäätyneen ehkäisemiseksi, ei energiansäästöä ole saavutettavissa, jos peruslämmössä käytetään samaa vakiolämpötilaa.

2.2 Älykkään kuivanapitolämmityksen säätötavat

Kriittinen suhteellisen kosteuden arvo ($RH_{\text{kriittinen}}$), jonka yläpuolella syntyy kosteusvaurioriski, muuttuu lämpötilan funktiona (kuva 3). Tästä syystä MoistMaster kuivanapitosäätimessä myös suhteellisen kosteuden sallittu yläraja-arvo (RH_{sallittu}) muuttuu lämpötilan funktiona, jolloin lämmitysenergian kulutus voidaan optimoida mahdollisimman pieneksi. Kosteusvaurioriskin aiheuttavan suhteellisen kosteuden ja sallitun suhteellisen kosteuden välillä käytetään turvamarginaalia, joka voi myös muuttua lämpötilan muuttuessa. Tämä säätötapa on myös patentoitu Suomessa [6].



Kuva 3. Periaatekuva kriittisen suhteellisen kosteuden ja sallitun suhteellisen kosteuden vaihtelusta eri lämpötiloissa. MoistMaster kuivanapitosäätimessä näiden arvojen väliin jätetään turvamarginaali, joka voi myös vaihdella lämpötilan funktiona.

Säätötapoina on käytetty ns. *optimiturvasäätöä*, joka ehkäisee tiloissa home- ja mikrobikasvun sekä kosteuden kondensoitumisen. Toisena säätövaihtoehtona on käytetty ns. *lisäturvasäätöä*, joka ehkäisee myös metallien korroosiota, kuten raudan ruostumisen. Tässä säätötavassa suhteellisen kosteuden sallitut raja-arvot ovat jonkin verran alhaisemmat kuin optimiturvasäädössä.

3. Kuivanapitolämmityksen vaikutus ympäröiviin rakenteisiin

Tampereen yliopistossa on tarkasteltu myös MoistMasterin käyttämien säätötapojen (optimiturva ja lisäturva) vaikutusta sisätilaa ympäröivien rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Tarkasteluja on tehty laskennallisesti sekä nykyisissä että tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Tuloksia on verrattu myös +10 °C ja +15 °C peruslämmityksen vaikutukseen rakenteiden toiminnassa. Tarkasteluissa on käytetty Suomalaista homemallia [7–9] ja määritetty homeindeksin maksimi-arvo puurunkorakenteisissa ulkoseinissä tuulensuojan sisäpinnassa sekä

tuulettetussa yläpohjarakenteessa kattoristikon yläpaarteissa erilaisilla lämmöneristyspaksuuksilla vuoden ajanjaksolla. Tarkastelut on tehty rakennusfysiikan mitoitusvuoden Jokioinen 2050 ja Jokioinen 2100 olosuhteissa. Viime vuosien ulkoilman olosuhdemittauksissa on havaittu, että kosteusrasitetuimmat nykyilmaston vuodet vastaavat jo Jokioisten 2050 olosuhteita.

Laskentatarkasteluissa sama mitoitusvuosi laskettiin kaksi kertaa peräkkäin, joista viimeiseltä vuodelta laskettiin homeindeksin maksimi-arvo tammikuun alusta joulukuun loppuun.

Laskentatuloksia tarkasteltaessa on todettu, että homeindeksi on saavuttanut maksimi-arvonsa ennen joulukuun loppua. Laskentatarkasteluissa on käytetty Delphin 5.9 ohjelmaa.

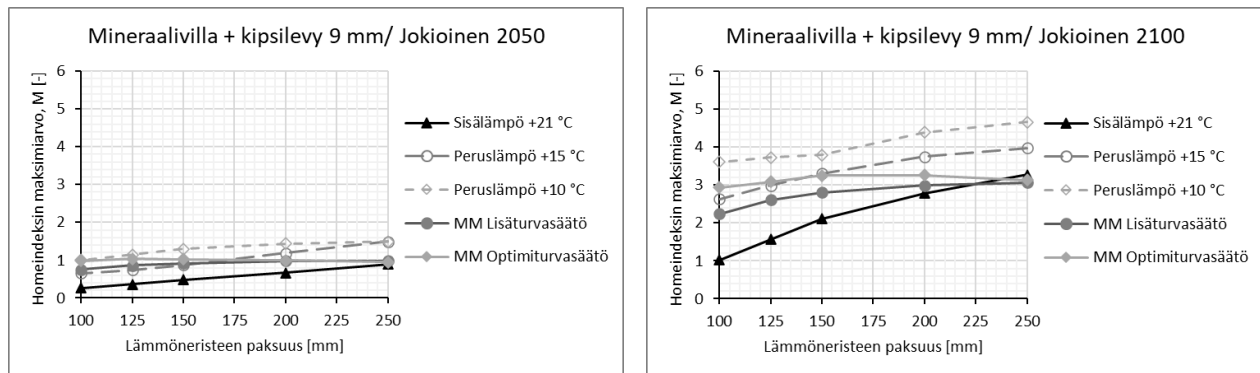
3.1 Ulkoseinärakenteiden tarkastelut

Ulkoseinärakenteissa käytetty rakennetyyppi on seuraava ulkoa sisälle päin:

- puuverhous 23 mm
- tuuletusväli 25 mm, puukoolaus 50×25 mm
- tuulensuojalevy (kipsilevy 9 mm/ huok. kuitulevy 12 mm/ 25 mm/ min.villalevy 25 mm)
- lämmöneriste 100–250 mm (mineraalivilla), jossa puurunko k600
- höyrynsulkumuovi 0,2 mm
- kipsilevy 13 mm

Viistosateen imeytyminen puuverhoukseen on jätetty tarkasteluissa pois, koska Tampereen yliopiston koerakennuksilla tehdyissä viimeaikaisissa tutkimuksissa [10] on todettu sen parantavan laskentatulosten tarkkuutta verrattaessa niitä ulkoseinärakenteista mitattuihin tuloksiin. Mineraalivillan lämmönjohtavuutena on käytetty laskelmissa arvoa 0,035 W/(mK).

Kuvassa 4 on esitetty homeindeksin maksimi-arvot 9 mm kipsilevyn sisäpinnassa eri lämmöneristyspaksuuksilla Jokioisten 2050 ja 2100 olosuhteissa. Kipsilevyn homehtumisherkkyysluokka on ollut tarkasteluissa HHL1.

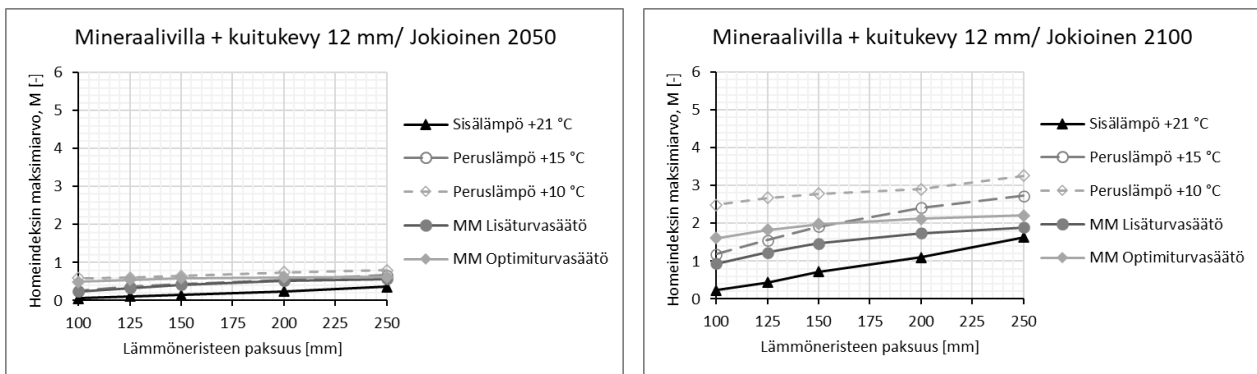


Kuva 4. Homeindeksin maksimi-arvot tuulensuojalevyn sisäpinnassa puuverhotussa puurunkoisessa ulkoseinärakenteessa, jossa lämmöneristeenä on käytetty mineraalivillaa ja tuulensuojana 9 mm kipsilevyä.

Kuvasta 4 havaitaan, että nykyilmastoa vastaavassa Jokioisten 2050 ilmastossa kipsilevyn sisäpinnassa homeindeksin maksimi-arvo on hyväksyttävän raja-arvon > 1 (ei homekasvua) tuntumassa tai alapuolella, jos sisällä on normaali huonelämpötila tai jos käyttämättömän tilan lämmittämiseen käytetään MoistMaster optimiturvaa tai lisäturvaa. Sen sijaan $+10\text{ °C}$ ja $+15\text{ °C}$ peruslämmitystä käytettäessä homeindeksin maksimi-arvo nousee selvemmin tämän arvon yläpuolelle suuremmilla lämmöneristyspaksuuksilla.

Tarkasteltaessa rakenteen toimintaa Jokioisten 2100 olosuhteissa tuulensuojakipsilevyn sisäpinnassa esiintyy homeenkasvua kaikissa tarkastelluissa tapauksissa lukuun ottamatta 100 mm lämmöneristeellä tehtyä ulkoseinää normaalissa sisälämpötilassa. MoistMaster optimiturvaa käytettäessä homeindeksin maksimi-arvot jäävät alemmiksi kuin +10 °C peruslämmitystä käytettäessä ja vastaavasti MoistMaster lisäturvaa käytettäessä alemmiksi kuin +15 °C peruslämmitystä käytettäessä. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että 9 mm kipsilevy on riskialtis tuulensuojaratkaisu vuosisadan loppupuolen kosteusrasituksissa, joka on todettu jo monissa muissakin tutkimuksissa [11].

Kuvassa 5 on esitetty homeindeksin maksimi-arvot 12 mm huokoisen kuitulevyn sisäpinnassa eri lämmöneristyspaksuuksilla Jokioisten 2050 ja 2100 olosuhteissa. Huokoisen kuitulevyn homehtumisherkkyysluokka on ollut tarkasteluissa HHL1.



Kuva 5. Homeindeksin maksimi-arvot tuulensuojalevyn sisäpinnassa puuverhotussa puurunkoisessa ulkoseinärakenteessa, jossa lämmöneristeinä on käytetty mineraalivillaa ja tuulensuojana 12 mm huokoista kuitulevyä.

Kuvasta 5 nähdään, että nykyilmastoa vastaavissa Jokioisten 2050 olosuhteissa homeindeksin maksimi-arvot jäävät vielä alle hyväksyttävän raja-arvon > 1 kaikissa tarkasteluvaihtoehdoissa. Jokioisten 2100 olosuhteissa homeindeksin maksimi-arvot ovat yleisesti ottaen yli hyväksytyn raja-arvon lukuun ottamatta ohuemmillä lämmöneristyspaksuuksilla toteutettuja ulkoseinärakenteita normaalissa sisälämpötilassa. Tässäkin tapauksessa MoistMaster optimiturväsäädöllä homeindeksin maksimi-arvot jäävät selvästi alemmiksi kuin +10 °C peruslämmityksellä ja vastaavasti MoistMaster lisäturväsäädöllä alemmiksi kuin +15 °C peruslämmityksellä. Myöskään 12 mm huokoinen kuitulevy ei ole riittävän hyvin lämpöä eristävä tuulensuojamateriaali vuosisadan loppupuolen ilmasto-olosuhteissa.

Laskentatarkasteluja tehtiin myös 25 mm huokoisella kuitulevyllä ja 25 mm mineraalivillatuulensuojalla. Näissä tapauksissa homeindeksin maksimi-arvot pysyivät kaikissa laskentavaihtoehdoissa alle 1 myös Jokioisten 2100 ilmastossa, joten nämä tuulensuojat ovat hyväksyttäviä vaihtoehtoja, kuten todetaan myös uudessa RIL 107 kirjassa [12].

3.2 Yläpohjarakenteen tarkastelut

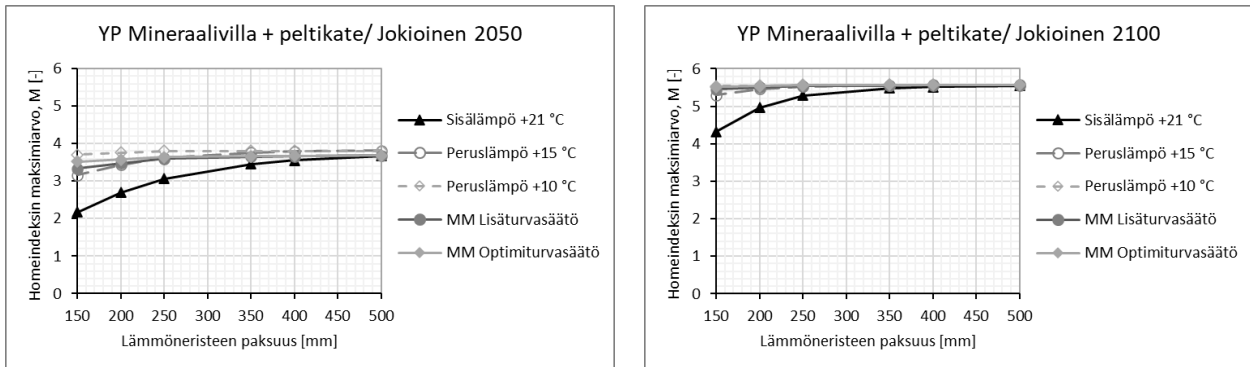
Yläpohjarakenteen rakennetyyppi on seuraava ulkoa sisälle päin:

- peltikate 0,6 mm
- tuuletustila 50 mm
- aluskate 1 mm
- tuuletusväli 1000 mm, jossa kattoristikot k900 ja yläpaarre 50×150 mm
- lämmöneriste 150–500 mm (mineraalivilla), jossa kattoristikon alapaarre 50×120 mm

- höyrynsulkumuovi 0,2 mm
- kipsilevy 13 mm

Ilmanvaihtuvuus tuuletusvälissä oli 2,0 l/h. Mineraalivillan lämmönjohtavuutena on käytetty laskelmissa arvoa 0,035 W/(mK).

Kuvassa 6 on esitetty homeindeksin maksimi-arvot kattoristikon yläpaarten sisänurkassa eri lämmöneristyspaksuuksilla Jokioisten 2050 ja 2100 olosuhteissa. Kattoristikon homehtumisherkkyysluokka on ollut tarkasteluissa HHL1.



Kuva 6. Homeindeksin maksimi-arvot kattoristikon yläpaarten sisänurkassa puurakenteisessa tuuletetussa yläpohjassa, jossa lämmöneristeenä on käytetty mineraalivillaa.

Kuvasta 6 voidaan todeta, että tarkasteluihin valitun tuuletetun yläpohjan tuuletustilassa on homeen kasvulle otolliset olosuhteet jo nykyistä ilmastoa vastaavissa Jokioisten 2050 olosuhteissa riippumatta valitusta lämmöneristepaksuudesta tai sisätilan lämpötilasta. Tämä on ymmärrettävää, koska sisältä pääsee siirtymään vähemmän lämpöä yläpohjaan ja toisaalta ilmanvaihtokerroin on niin suuri, että tuuletustilan olosuhteet ovat lähellä ulkoilman olosuhteita. Homehtumisriski kasvaa entisestään siirryttäessä Jokioisten 2100 ilmastoon. Näissä olosuhteissa homeindeksin maksimi-arvot indikoivat erittäin voimakasta home- ja mikrobikasvua kattoristikoidissa. Tuuletetun yläpohjan tapauksessa MoistMaster optimisäätö ja lisäturvasäätö eivät eroa merkittävästi +10 °C ja +15 °C peruslämmityksestä homehtumisriskin osalta.

Homeindeksin hyväksyttävänä raja-arvona käytetään myös puurunkoisessa tuuletetussa yläpohjassa arvoa < 1 [13], mikä tarkoittaa sitä, että niissä tarvitaan selkeitä rakenteellisia muutoksia, jotta tavoitteeseen voidaan päästä myös vuosisadan loppupuolen ilmasto-olosuhteissa. Tuuletustilan olosuhteita voidaan merkittävästi parantaa mm. pienentämällä sen ilmanvaihtokerrointa (suositeltava arvo 0,5–1,0 l/h), käyttämällä lämmöneristeenä hygroskooppista materiaalia ja lisäämällä vesikatteen alle lämpöä eristävä aluskate [14]. Myös kattoristikoiden päälle laitettava umpilaudoituus sekä kosteutta kestävämpään höylätyn kuusen käyttö puuosissa parantavat puurakenteiden kosteusteknistä toimintaa.

4. Yhteenveto

Älykkäällä kuivanpitolämmityksellä voidaan ylläpitää tiloissa kosteusturvallisia olosuhteita oleellisesti pienemmällä energiankulutuksella verrattuna nykyisin yleisesti käytettävään peruslämmitykseen. Älykäs kuivanpitolämmitys lämmittää tiloja ainoastaan tarpeen mukaan lähinnä syksyllä ja keväällä. MoistMasterin kuivanpitosäätimessä suhteellisen kosteuden sallittu yläraja-arvo muuttuu lämpötilan funktiona, jolloin lämpöenergian kulutusta saadaan entisestään vähennettyä.

Älykäs kuivanapitolämmitys suojaa myös tilaa ympäröiviä vaipparakenteita yhtä hyvin tai paremmin kuin peruslämmitys. MoistMasterin käyttämä optimiturvasäätö suojaa ympäröiviä vaipparakenteita yhtä hyvin tai paremmin kuin +10 °C peruslämmitys ja lisäturvasäätö yhtä hyvin tai paremmin kuin +15 °C peruslämmitys.

Ilmastonmuutoksen edetessä kosteusvaurioriski lisääntyy erityisesti sellaisissa puurunkoisissa ulkoseinä rakenteissa, joissa on käytetty ohuita tuulensuojia ja paksumpia lämmöneristeitä. Näissä rakenteissa voi esiintyä mikrobikasvua tuulensuojan sisäpinnassa riippumatta siitä, millaista sisäilman lämpötilaa rakennuksissa pidetään.

Puurunkoisissa tuuletetuissa yläpohjissa ilmastonmuutos muuttaa tuuletustilan olosuhteet erittäin suotuisiksi home- ja mikrobikasvulle. Yläpohjissa tarvitaan merkittäviä rakenteellisia muutoksia, jotta niissä voidaan välttyä mikrobikasvulta tulevaisuudessa.

Lähdeluettelo

- [1] Piironen, J. ja Vinha, J. 2010. Vakiotehoisen kuivanapitolämmityksen vaikutus hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Tutkimusraportti 150. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos 79 s. + 16 liites.
- [2] Piironen, J., Vinha, J. ja Kiviste, M. 2017. Modelling hygrothermal performance of roof and floor structures with an energy efficient constant output heating. The 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB 2017, Trondheim, Norway, June 11–14. Energy Procedia, Vol. 132, pp. 694-699.
- [3] Vinha, J., Piironen, J. ja Kiviste, M. 2019. Impacts of energy efficient constant output heating on the moisture conditions of unoccupied summer cottages in Finland. The 9th International Cold Climate Conference – Sustainable new and renovated buildings in cold climates, Cold Climate HVAC 2018, Kiruna, Sweden, March 12–15, 2018. Springer Proceedings in Energy, e-published 12 December 2018, pp. 79-86.
- [4] MoistMaster Oy:n kotisivut: www.moistmaster.fi, viitattu 3.10.2023.
- [5] MoistMaster Oy:n sähköenergian kulutuksen laskuri: www.moistmaster.fi/energielaskuri, viitattu 3.10.2023.
- [6] FI 129390 B. Apparatus, method and computer program product for controlling indoor conditions. Finnish patent and registration office, 31.1.2022, 29 p. + 4 app.
- [7] Viitanen, H., Vinha, J., Salminen, K., Ojanen, T., Peuhkuri R., Paajanen, L. & Lähdesmäki, K. 2010. Moisture and biodeterioration risk of building materials and structures. Journal of Building Physics, e-published 21 August 2009, Vol. 33 (3), pp. 201-224.
- [8] Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Vinha, J. & Salminen, K. 2010. Mould growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials. Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference, Buildings XI, Clearwater Beach, Florida, USA, December 5–9. Session II-B, 10 p.
- [9] Suomalainen homemalli: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli>
- [10] Vinha, J., Tuominen, E., Valovirta I., Hietikko, J., Tuurala I., Huttunen, P., Jokela, T., Forss, A., Saari, A., Joensuu, T., Malaska, M., Alanen, M., Salkinoja-Salonen, M., Vaali, K. ja Brander J. 2023. Kosteusturvalliset ja ympäristöystävälliset kutterinlastueristeiset puurakenteet. ECOSAFE ja ECOSAFE 2-hankkeiden loppuraportti, Tutkimusraportti 5, Tampereen yliopisto, Rakennustekniikka. *Julkaistaan vuonna 2023*.
- [11] Jokela, T. 2018. Kipsilevytuulensuojallisten puurunkoisten ulkoseinien rakennusfysikaalinen toiminta. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikka. 113 s + 29 liites.
- [12] RIL 107-2022. Rakennusten veden ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, 233 s.
- [13] RIL 250-2020. Kosteus- ja homevaurioiden ehkäiseminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, 332 p.
- [14] Laukkarinen, A. 2015. Tuulettuvien yläpohjien lämpö- ja kosteustekninen toiminta nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikka. 82 s. + 25 liites.