

# Kutterinlastu- ja purueristeiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta nykyisissä ja tulevaisuuden olosuhteissa.

Antti Forss, Teemu Jokela ja Juha Vinha  
Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

## Tiivistelmä

Tässä artikkelissa käsitellään kutterinlastu- ja purueristeiden kosteus- ja lämpöteknistä toiminnan laskentatarkastelujen tuloksia valikoiduissa alapohja-, yläpohja ja seinärakenteissa.

Laskentatarkasteluissa mineraalivilla osoittautui soveltuvan hyvin tuulensuojamateriaaliksi purutuotteilla eristetyille rakenteille. Tulokset osoittivat, että mineraalivillatuulensuojalevyn avulla pystyttiin toteuttamaan kuivumiskykyisiä diffuusioavoimia rakenneratkaisuja, jotka toimivat kosteusteknisesti myös tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Puukuitutuulensuojalevyllä varustetut purutuotteilla eristetyt rakenteet eivät osoittautuneet kovin kuivumiskykyisiksi. Laskentatarkasteluissa ilmeni, että kuivumisongelmat korostuvat erityisesti suuremmilla eristevaipan paksuuksilla. Tulosten mukaan tuuletustilallisen harjakattoisen yläpohjarakenteen tapauksessa puukuitulevyn kosteuskapasiteetista on kuitenkin hyötyä rakenteen kosteustekniseen toimintaan.

## 1. Johdanto

Tässä artikkelissa rakennusosista käsitellään seinärakenteet, yläpohja ja alapohja. Seinärakenteissa tarkastelun kohteena on puuverhottu ja tiiliverhottu seinärakenne. Yläpohjarakenteissa tarkastellaan tuuletustilallinen yläpohja ja vino tuuletusväyläinen yläpohjarakenne. Alapohjarakenteissa tarkastelussa on ryömintätilallinen alapohja.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää jokaiselle tutkittavalle purutuotteilla eristetyille rakennetyypeille materiaaliyhdistelmiä, jotka ovat sisäpinnaltaan diffuusioavoimia sekä toimivat hyvin tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa kosteus- ja lämpöteknisesti. Tässä tutkimuksessa rakenteiden tulokset esitetään pääosin 2100 vuoden ilmasto-olosuhteissa, sillä ilmastonmuutoksen eteneminen on kiihtynyt ja on havaittu, että vuoden Jokioisten 2015 sää oli jo osittain yhtä rasittava rakenteille kuin ennustettu Jokioisten 2050 sää. Tässä tutkimuksessa rakenteiden kosteus- ja lämpöteknistä toimintaa tutkitaan Tampereen teknillisellä yliopistolla kehitetyllä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan analysointimenetelmällä.

Purutuotteiden kosteus- ja lämpöteknisiä ominaisuuksia on tutkittu laboratoriossa ja koerakentein sekä Tampereen teknillisen yliopistolla [12,13] että Teknillisellä korkeakoululla Otaniemessä [3,6]. Kutterinlastun materiaaliarvoina tässä tutkimuksessa käytettiin Tampereen teknillisen yliopistolla tehdyn tutkimuksen pohjalta muokattuja arvoja [13]. Lähtöoletus tässä artikkelissa esiintyvälle kutterinlastun lämmönjohtavuuden arvolle on otettu Ehta kutterinlastueristeen arvosta  $0.042 \text{ W/(mK)}$  [1]. Ecosafe-hankkeen aikana tehtävien materiaalikokeiden tulokset eivät olleet käytössä tätä tutkimusta tehtäessä.

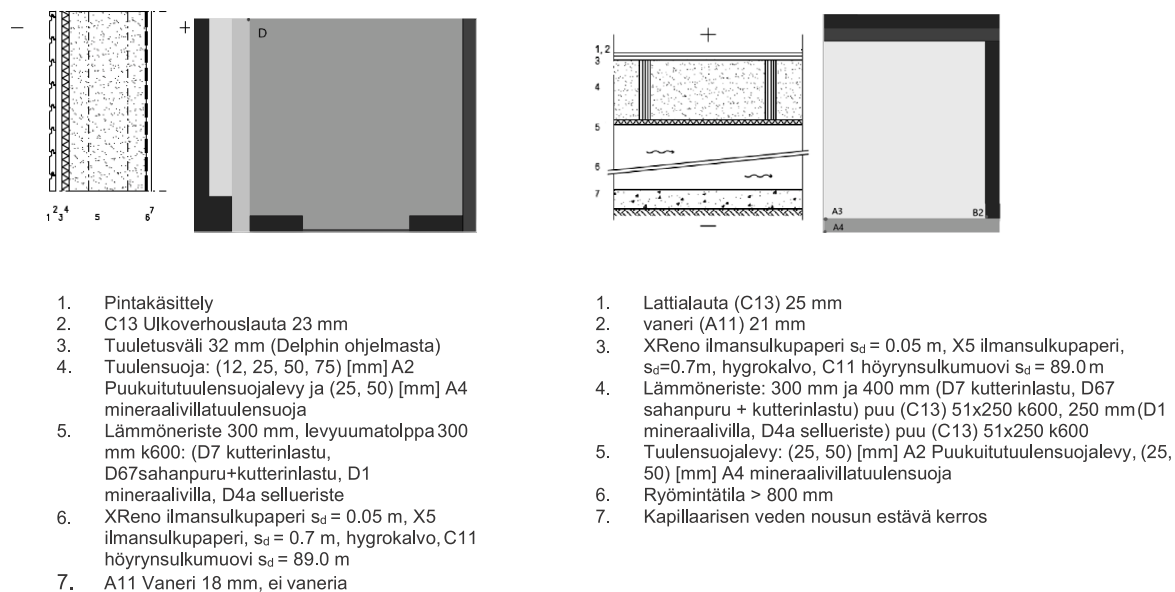
Tämä artikkeli on tehty Forssin diplomityön [2] pohjalta, joka oli osana Tampereen yliopistossa tehtävää Ecosafe-Kosteusturvalliset ja ympäristöystävälliset purueristeiset puurakenteet

tutkimushanketta, jossa selvitetään purueristeiden kosteus- ja lämpötekniistä toimivuutta laskentatarkasteluilla ja kenttäkokeilla. Tutkimus on saanut rahoitusta ympäristöministeriöltä. Tutkimuksen laskennat toteutettiin Delphin rakennefysiikkaohjelmalla. Laskentatarkasteluissa hyödynnettiin Tampereen yliopiston Narvi-laskentaklusteria ja tulokset käsiteltiin Python-koodien avulla, mitkä nopeuttivat tuloksien läpikäymistä paljon.

## 2. Tarkasteltavat rakenteet ja tarkasteluperiaatteet

Tämän tutkimuksen laskentatarkastelut tehtiin Tampereen teknillisen yliopiston Frame-hankkeessa viimeistellyllä analysointimenetelmällä [10], jossa rakennemallien kosteustekniistä toimivuutta tarkastellaan nykyisissä ja tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Frame-hankkeesta ja kosteusanalysointimenetelmästä voi lukea lisää Tampereen yliopiston internetsivulta. [10; 11] Forssin diplomityössä [2] tiiliverhotuilla rakenteilla käytettiin Vantaan eteläisen ilmasuunnan sääaineistoja ja kaikilla muilla rakennetyypeillä Jokioisen pohjoisen ilmasuunnan sääaineistoja. Seinärakenteilla tuuletusvälissä käytettiin dynaamista ilmanvaihtuvuutta, jonka Jokela oli määrittänyt diplomityössään [4]. Ryömintätalilaisilla alapohjarakenteilla ilmanvaihtuvuuden arvoa ei käytetty laskennoissa vaan ryömintätalilan olosuhteet laskettiin empiirisillä kaavoilla [9]. Muilla rakennetyypeillä käytettiin vakio ilmanvaihtuvuuden arvoja. Tämän lisäksi laskentatarkasteluissa otettiin huomioon ilmakehän pitkäaaltoinen säteily, joka on määritetty artikkelissa [5]. Laskentatarkastelujen tarkemmat lähtötiedot ja määrittelyt löytyvät Forssin diplomityöstä [2]. Tutkimukseen toimintakriteeriksi valittiin homeen ja mikrobin kasvu. Homeen kasvun rajana rakenteiden eristetilaan liittyvissä rakenteissa on tässä tutkimuksessa homeindeksin maksimiarvo 1. Homeindeksin arvo lasketaan materiaalien risteyskohdassa homehtumisherkemmän materiaalin mukaan.

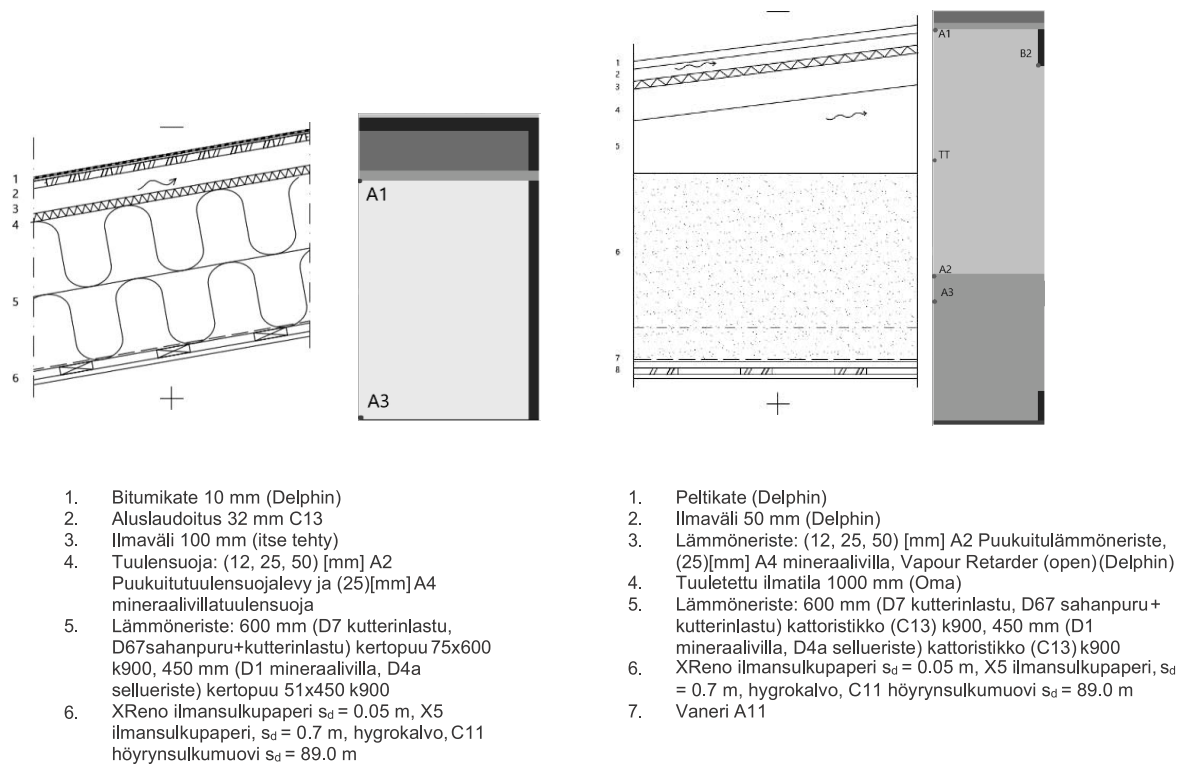
Laskentatarkasteluissa tehtiin valintaa tuulensuojan, lämmöneristeen ja sisäpinnan materiaalien välillä. Lisäksi käytettiin muita vaihtuvia laskentaparametreja. Rakennetyypit ja eri materiaalivalinnat on esitetty kuvissa 1 ja 2. Kuvissa on myös esitetty Delphin laskentamallin merkityt laskentapistet, joista olosuhdetiedot on poimittu. Tiiliverhottua rakennetta ei tässä artikkelissa käydä tarkemmin läpi. Tiiliverhotun ulkoseinä ja muiden rakenteiden tarkemmat laskentatarkastelut voi lukea diplomityöstä [1]



Kuva 1. (a) Puuverhotut rakennetyypit

(b) Ryömintätalilainen alapohja

[2]



Kuva 2. (a) Vino yläpohjarakenne

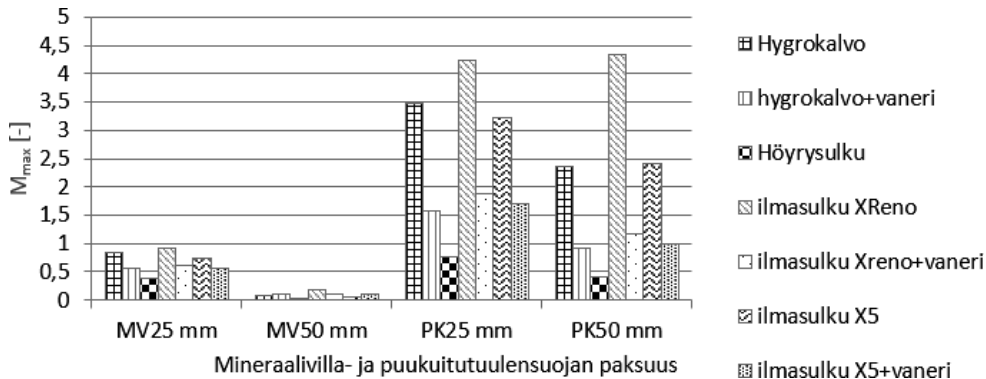
(a) Tuuletustilallinen yläpohjarakenne [2]

## 2.1 Seinärakenteet tulokset

Seinärakenteiden rakennetyypeiksi valikoituivat puuverhottu (Kuva 1.(a)) ja tiiliverhottu rakennetyyppi [1]. Rakennetyyppien tulokset on saatu eristealueen keskeltä tuulensuojalevyn sisäpinnasta (piste D) lasketuista arvoista. Tähän pisteeseen muodostui kriittisimmät olosuhteet homeen kasvun kannalta, kun eristemateriaalien olivat homehtumisherkkyysluokassa 1. Laskennat on tehty pääosin kahden vuoden simulaationa, josta homeindeksin laskentaan on valittu viimeisen vuoden tasaantuneet arvot. Tiiliverhotun rakenteen homeindeksit nousivat hyvin korkeiksi Vantaan 2100 vuoden säätilassa, kuitenkin tuulensuojalevyn paksuutta kasvattamalla päästiin niukasti alle yhden maksimihomeindeksin arvon. Tiiliverhottujen rakenteiden laskentatarkasteluista voi lukea lisää Forssin diplomityöstä. [2]

Kuvassa 3 on esitetty Jokioisen 2100 säätilassa eri tuulensuoja- ja sisäpinnanmateriaaleilla varustetun kutterinlastulla eristetyn rakenteen maksimi homeindeksit. Kuvasta havaitaan, että puukuitutuulensuojalla varustetut rakenteet eivät toimi kosteusteknisesti niin hyvin kuin mineraalivillalla varustetut. Puukuitutuulensuojalla varustettu rakenne toimii hyvin, kun sisäpinnan diffuusiovastus on tarpeeksi korkea, kuten silloin kun sisäpinnassa on höyrysulku tai vaneri ja hygrokalvo. Muilla rakenneyhdistelmillä, jotka päästävät enemmän vesihöyryä läpi, homeindeksien maksimi-arvot ovat yli 1:n. Korkeammat maksimihomeindeksien arvot puukuitutuulensuojalevyllä varustetuilla rakenteilla johtuvat siitä, että sen lämmönjohtavuus on ko. tilanteessa liian pieni, jolloin lämpötila ei nouse eristekerroksen ulkopinnassa tarpeeksi korkeaksi sitoakseen ylimääräistä kosteutta huokosilmasta. Puukuitutuulensuojalevyn diffuusiovastuskerroin on myös suuri, mikä estää kosteuden kuivumisen, erityisesti hygroskooppisilla materiaaleilla. [2]

25 mm:n mineraalivillatuulensuojalevyn paksuudella päästiin alle 1:n homeindeksin arvoihin kaikilla rakenneyhdistelmillä. 50 mm:n tuulensuojan paksuudella homeindeksit ovat jo hyvin pieniä jokaisella rakenneyhdistelmällä. Tämä on seurausta pienestä lämmönjohtavuuden ja diffuusiovastuksen arvosta. Nämä mineraalivillatuulensuojan edut oli huomattu jo Otaniemessä tehdyissä tutkimuksissa [3,6]. [2]

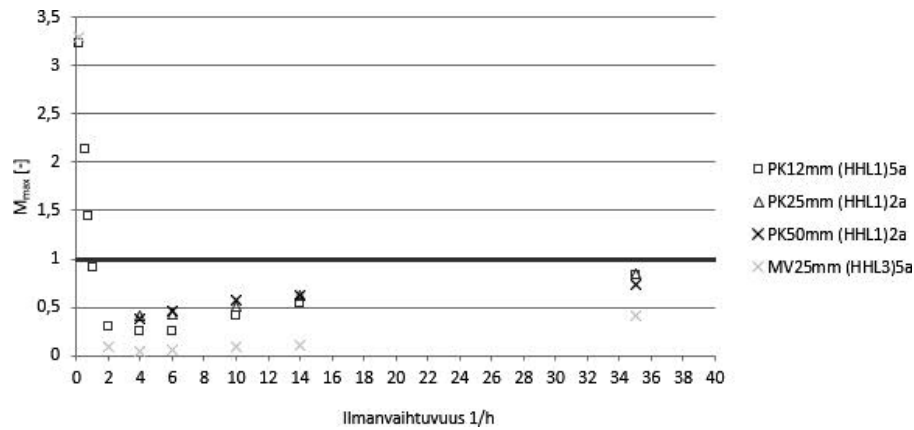


Kuva 3. Eri tuulensuojalevyillä varustettujen kutterinlastulla (HHL1) (lämmönjohtavuus 0.042 W/(mK)) eritettyjen puuverhottujen ulkoseinärakenteiden homeindeksien maksimi-arvot eri sisäpinnan materiaaleilla, Jokioisten 2100 vuoden säässä. Rakennetyyppi esitetty kuvassa 1(a). Olosuhdetiedot poimittu tuulensuojalevyn sisäpinnasta, pisteestä D. [2]

## 2.2 Yläpohjarakenteiden tulokset

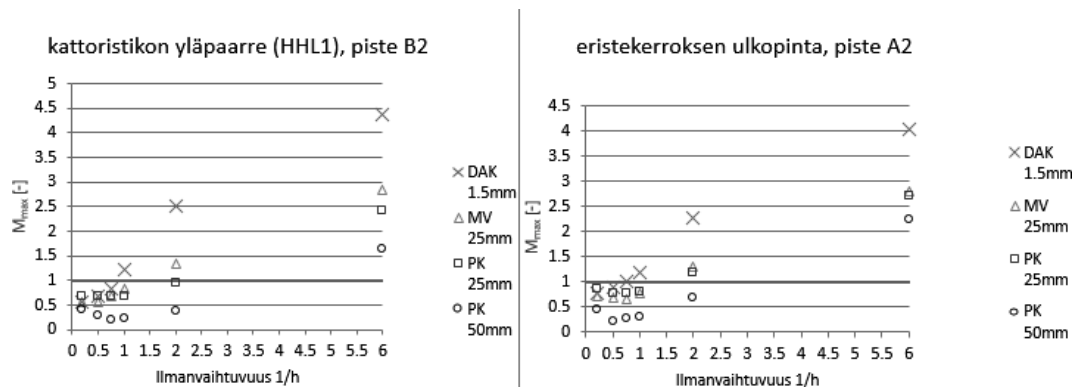
Kuvan 4 vinon yläpohjarakenteen tuloksista voidaan havaita, että puukuitutuulensuojalevyn paksuuden kasvattaminen ei merkittävästi paranna kutterinlastulla eristetyn rakenteen kosteusteknistä toimintaa ilmanvaihtuvuuden välillä 2-14 1/h, vaan homeindeksien arvot kasvavat. Parhaat tulokset tällä ilmanvaihtuvuuden välillä saadaan 12 mm:n levyn paksuudella. Tästä voidaan päätellä, että 12 mm:n puukuitulevyllä varustetulla rakenteella on hyvä kuivumiskyky ja näin ollen myös kosteusvarmuutta. Suuremmilla ilmanvaihtuvuuden arvoilla 50 mm:n puukuitutuulensuojalevyllä varustetun rakenteen homeindeksien maksimi-arvot ovat pienempiä kuin ohuempien levyjen (12 mm, 25 mm) kohdalla. Homeindeksit eivät parane ratkaisevasti puukuitutuulensuojalevyn paksuutta kasvattamalla, mikä on seurausta erityisvaipan pienestä lämmönläpäisykertoimesta ja puukuitutuulensuojalevyn tähän tilanteeseen liian suuresta diffuusiovastuskertoimesta sekä lämmönjohtavuudesta. Lämmöneristeen suurempi lämmönvastus laskee eristetilan ulkopinnan lämpötilan niin matalaksi, että tilanteeseen liian suuren lämmönjohtavuuden omaava puukuitutuulensuojalevy ei ratkaisevasti kasvata eristetilan ulko-osan lämpötilaa, vaikka olisi apua rakenteen kuivumisessa ja kosteuden sitomisessa. Tämän lisäksi puukuitutuulensuojalevyn diffuusiovastus estää paksuuden lisääntyessä paksun eristekerroksen kuivumisen.[2]

25 mm:n mineraalivillatuulensuojalla varustettu rakenne toimii kosteusteknisesti hyvin laajalla ilmanvaihtuvuuden alueella. Tämä on seurausta pienestä lämmönjohtavuuden ja diffuusiovastuksen arvosta. Sen avulla saadaan rakennettua sopiva kuivumispotentiaali ilmavälin ja eristekerroksen välille niin, että paksunkin eristevaipan kosteus pääsee kuivumaan. [2]



Kuva 4. Eri tuulensuojamateriaaleilla varustetun kutterinlastulla (HHL1, lämmönjohtavuus 0.042 W/(mK)) eristetyin vinon yläpohjarakenteen homeindeksien maksimi-arvot eri ilmanvaihtuvuuksien arvoilla, Jokioisten 2100 vuoden säässä. Rakenteen sisäpinnan ilmansulkukalvona on X5 ilmansulkupaperi. Rakennetyyppi esitetty kuvassa 2(a). Olosuhdetiedot poimittu tuulensuojalevyn sisäpinnasta, pisteestä A1. [2]

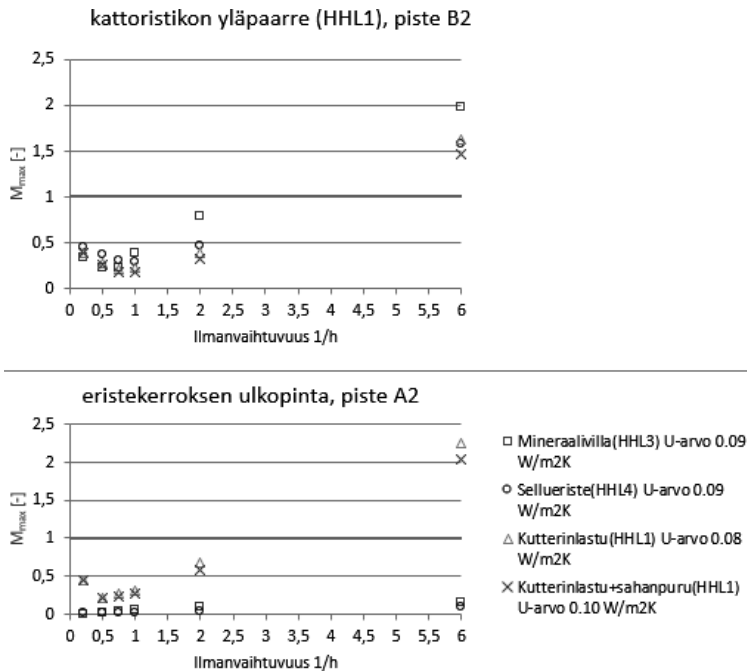
Puukuitueristelevyn (PK) lisääminen tuulettujen tilojen yläosaan paransi rakenteen kosteusteknistä toimintaa. 25 mm:n levyin paksuudella homeindeksien maksimi-arvot laskivat jo alle 1:n yläpaarteissa ja eristekerroksen ulkopinnassa. Yleisesti käytössä olevalla diffuusiovoimella aluskatteella (DAK) varustettu rakenne ei toiminut laskentatarkasteluissa kosteusteknisesti hyvin millään ilmanvaihtuvuuden arvolla. Kuvassa 5. (vas.) nähdään myös, kuinka yläpuolisen lämmöneristeen kosteuskapasiteetti vaikuttaa yläpaarten homeindeksin arvoon laskevasti suuremmilla ilmanvaihtuvuuden arvoilla (>1 (1/h)), vaikka 25 mm:n mineraalivillalämmöneristeen (MV) lämmönvastus on korkeampi kuin vastaavan puukuitulämmöneristeen. Eristekerroksen pinnassa eroa ei kuitenkaan käytännössä enää ole. 50 mm:n puukuitulämmöneristelevyn paksuudella rakenteet toimivat hyvin laajalla ilmanvaihtuvuuden alueella, mikä johtuu tuulensuojalevyn korkeasta kosteuskapasiteetista ja tilanteeseen sopivasta lämmönvastuksesta.[2]



Kuva 5. Eri tuulettujen tilojen yläosan materiaaleilla varustetun kutterinlastulla (HHL1, lämmönjohtavuus 0.042 W/(mK)) eristetyin harjakattoisen tuulettu tilallisen yläpohjarakenteen homeindeksien maksimi-arvot, eri ilmanvaihtuvuuden arvoilla, Jokioisten 2100 vuoden säässä. Rakenteen sisäpinnan materiaaleina ovat X5 ilmansulkupaperi ja vaneri. Rakennetyyppi esitetty kuvassa 2(b).

Kuvasta 6. voi nähdä lämmöneristeen kosteuskapasiteetin vaikutuksen tuuletustilan yläosan olosuhteisiin: Mineraalivillalla eristetyn rakenteen homeindeksit nousevat korkeammiksi tuuletustilan yläosassa, kun eristeen pinnan etäisyys yläpaarteesta on noin 1000 mm. Sellueristeenkin kosteuskapasiteetti riittää laskemaan homeindeksejä yläpaarteessa lähelle purutuotteiden homeindeksien arvoja.[2]

Kuvasta 6 havaitaan, että 50 mm:n puukuitulämmöneristeellä varustetut rakenteet toimivat yleisesti kaikilla eristemateriaaleilla. Eristemateriaalin homehtumisherkkyysluokan arvolla on kuitenkin suuri merkitys, mikä voidaan havaita mineraalivillalla ja sellueristeellä tehdyistä laskentatarkasteluista.[2]



Kuva 6. 50 mm:n puukuitulämmöneristelevyllä varustetun eri lämmöneristemateriaaleilla eristetyn tuuletustilallisen yläpohjarakenteen homeindeksien maksimiarvot, eri ilmanvaihtuvuuden arvoilla, Jokioisten 2100 vuoden säässä. Rakenteen sisäpinnan materiaaleina ovat X5 ilmansulkupaperi ja vaneri. Rakennetyyppi esitetty kuvassa 1(a).

### 2.3 Alapohjarakenteiden tulokset

Taulukossa 1. on esitetty ryömintätilan kosteuslisän avulla alle yhden olevien homeindeksien maksimiarvojen määräytyminen eri materiaalien ja niiden paksuuksien yhdistelmillä. Painovoimaisesti tuulettuvan ryömintätilan kosteuslisän arvot vaihtelevat todellisissa rakenteissa, mutta kosteuslisän tavanomaista määrää voidaan arvioida aiempien tutkimusten [6-8] avulla. Näiden tutkimusten mukaan ryömintätilan kosteuslisä vaihteli syklisesti niin, että kosteuslisän keskiarvo oli välillä 0,5 g/m<sup>3</sup>...1,5 g/m<sup>3</sup>. Taulukosta 1. nähdään, että tuulensuojalevyn paksuutta kasvattamalla ja ryömintätilan kosteuslisää rajoittamalla on mahdollista parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. [2]

Taulukko 1. Eri tuulensuojilla varustetulla ja purutuotteilla eristetyn tuulettuvan ryömintätilaisen alapohjarakenteen alle 1:n homeindeksin maksimiarvot, ryömintätilan ulkoilmaan vertautuvan kosteuslisän avulla ilmaistuna., Jokioisten vuoden 2100 säässä. Rakenteen sisäpinnan materiaaleina ovat X5 ilmansulkupaperi, vaneri ja lattialauta. Rakennetyyppi esitetty kuvassa 1(b). Olosuhdetiedot poimittu tuulensuojalevyn sisäpinnasta (piste A3).[2]

	Puukuitu- ja mineraalivillatuulensuojan paksuus			
ryömintätilan kosteuslisä g/m <sup>3</sup> (Δv): silloin, kun homeindeksin maksimiarvo <1	Puukuitu (HHL2) 25 mm	Puukuitu (HHL2) 50 mm	Mineraalivilla (HHL3) 25 mm	Mineraalivilla (HHL3) 50 mm
Kutterinlastu 300 mm (HHL1)	0 < Δv < 0.51 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.15 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 0.30 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.35 [g/m <sup>3</sup> ]
Sahanpuru + kutterinlastu 300 mm (HHL1)	0 < Δv < 0.65 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.29 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 0.46 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.63 [g/m <sup>3</sup> ]
Kutterinlastu 400 mm (HHL1)	0 < Δv < 0.37 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.0 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 0.37 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.16 [g/m <sup>3</sup> ]
Sahanpuru + kutterinlastu 400 mm (HHL1)	0 < Δv < 0.47 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.08 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 0.47 [g/m <sup>3</sup> ]	0 < Δv < 1.29 [g/m <sup>3</sup> ]

### 3. Yhteenveto

Tässä artikkelissa ja Forssin diplomityössä esiteltujen laskentatarkastelujen ja aikaisempien tutkimusten mukaan ilmastonmuutoksen vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan on merkittävä. Tästä johtuen laskentatarkastelut suoritettiin osin Vantaan ja Jokioisten 2100 ilmasto-olosuhteissa, joissa tulokset pääosin esitetään.

Tässä artikkelissa on esitetty kosteusteknisesti toimivia diffuusioavoimia rakenneratkaisuja purutuotteilla eristettyihin seinä-, yläpohja- ja alapohja rakennetyyppeihin silloin, kun purutuotteet ovat homeutumisherkkyysluokassa 1.

Höyrysulkumuovi toimi hyvin kosteusteknisesti purutuotteilla kaikissa rakennetyypeissä, vaikka purutuotteiden korkean kosteuskapasiteetin vuoksi paksuimmilla eristekerroksilla sisäpinnan materiaalin vesihöyrynvastuksen merkitys väheni. Laskentatarkasteluissa saatiin hyviä tuloksia myös diffuusioavoimilla ratkaisuilla. Hyvin toimivaksi ratkaisuksi useilla rakenneyhdistelmällä osoittautui X5-ilmansulkupaperin ja vanerin yhdistelmä.

Mineraalivillatuulensuoja on tässä artikkelissa esiteltujen laskentatarkastelujen mukaan erinomainen valinta purutuotteilla eristettyjen rakenteiden tuulensuojaksi kaikissa rakennetyypeissä. Sopivuus purutuotteiden tuulensuojaksi johtuu mineraalivillan pienestä lämmönjohtavuudesta ja pienestä diffuusiovastuskertoimesta. Puukuitutuulensuojalevyn valintaan purutuotteiden tuulensuojaksi puolestaan liittyy enemmän epävarmuuksia. Puukuitutuulensuojalevyn mineraalivillaa suurempi diffuusiovastus estää varsinkin paksujen purueristevaippakerrosten kuivumisen. Vainoissa yläpohjarakenteissa puukuitutuulensuojalevyn paksuuden kasvattaminen ei ratkaisevasti parantanut rakenteen kosteusteknistä toimivuutta, ainoastaan vähensi rakenteen vikasietoisuutta ja kuivumisenergiaa.

Mikäli puukuitulevy oli asennettu lämmöneristeeksi tuulettuun harjakattoisen yläpohjarakenteen yläosaan, oli puukuitulevyn kosteuskapasiteetista näkyvää hyötyä ja homeindeksit olivat pienempiä kuin vastaavan mineraalivillalämmöneristeellä eristetyn rakenteen.

Homehtumisherkkyyssluokalla oli suuri merkitys rakenteiden homeindeksien maksimiarvoihin. Kun materiaalit kuuluivat suurempiin homehtumisherkkyyssluokkiin, homeindeksien maksimiarvot olivat lähellä nollaa.

Epävarmuutta tutkimuksen laskentatarkasteluihin tuo purutuotteiden materiaalimallien epätarkkuus, sillä purutuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet ovat hyvin riippuvaisia tiheydestä ja kosteusolosuhteista. Laskentatarkastelujen tulokset eivät näin ollen ole tarkasti verrattavissa yksittäiseen koerakenteeseen. Työhön on kuitenkin valittu koko materiaalityhmää mahdollisimman kattavasti edustavat tuotteet. Laskentatarkasteluiden tuloksista voi kuitenkin tutkia rakennusfysiikan ilmiöitä vahvasti hygroskooppisten materiaalien osalta ja ne antavat vertailupohjaa todellisuuden kohteille.

## Lähdeluettelo

- [1] Ehtatalot Oy, 2020. Ehtatalot.fi. Saatavilla: <https://www.ehtatalot.fi/> [Haettu 15.11.2020].
- [2] Forss, A. 2020. Kutterinlastu- ja purueristeiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta nykyisissä ja tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Tampere. Tampereen yliopisto.
- [3] Hänninen, J., Rissanen, R. & Viljanen, M., 1997. Sahateollisuuden purutuotteet rakennusten eristemateriaalina, Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- [4] Jokela, T. 2018. Kipsilevytuulensuojallisten puurunkoisten ulkoseinien rakennusfysikaalinen toiminta. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- [5] Jokela, T., Laukkarinen, A. & Vinha, J. 2019. Ilmakehän pitkäaaltoinen säteily rakennusfysikaalisissa laskentatarkasteluissa. Rakennusfysiikka 2019. Tampere.
- [6] Kaurinvaha, E., Sutela, R., Yrjölä, R. & Viljanen, M., 2001. Kosteusteknisesti turvallinen sahanpurueristeinen pientalo, Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio.
- [7] Kurnitski, Jarek. Pasanen, Pertti. Miimu, Matilainen. Hyttinen, Marko. Asikainen, Vesa. 1999. Ryömintätilan Kosteus Ja Mikrobit, Raportti B62, Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- [8] Laukkarinen, A., 2014. Lämpimän ryömintätilaisen alapohjan lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan tarkastelu, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos.
- [9] Piironen, J., 2009. Vakiotehoisen kuivanapitolämmityksen vaikutus hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan, Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- [10] Tampereen yliopisto, 2020a. Rakennusfysiikka/kosteusanalysointimenetelma Saatavilla: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/kosteusanalysointimenetelma/> [Haettu 22.8.2020].
- [11] Tampereen yliopisto, 2018. Rakennusfysiikka/Frame. Saatavilla: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/frame/> [Haettu 22.8.2020]
- [12] Vinha, J., 2007. Hygrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method for Determining the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- [13] Vinha, J; Valovirta, I; Korpi, M; Mikkilä, A; Käkelä, P., 2005. Rakennusmateriaalien ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona., Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto.