Tuulettuvien yläpohjien toiminta

FRAME-projektin päätösseminaari
Tampere 8.11.2012

Anssi Laukkarinen
Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennustekniikan laitos

Sisältö

Johdanto

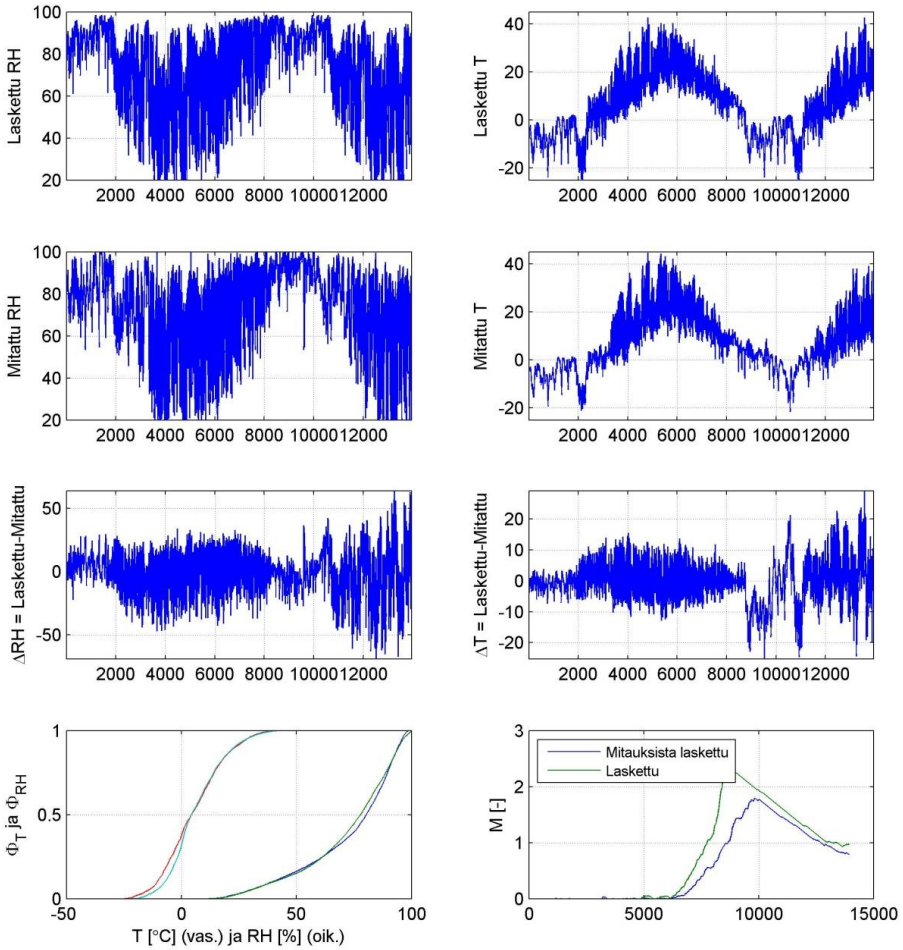
Tulokset

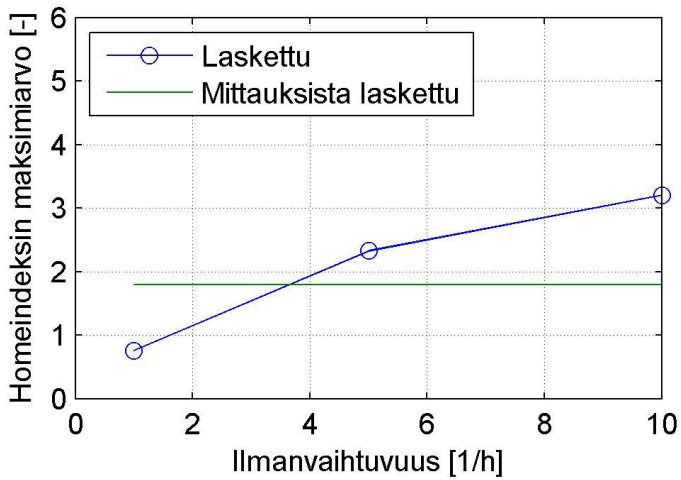
Päätelmät

Suositukset

Tutkimusmenetelmät

Espoossa sijaitsevan kenttämittauskohteen mittaus- ja laskentatulosten vertailu

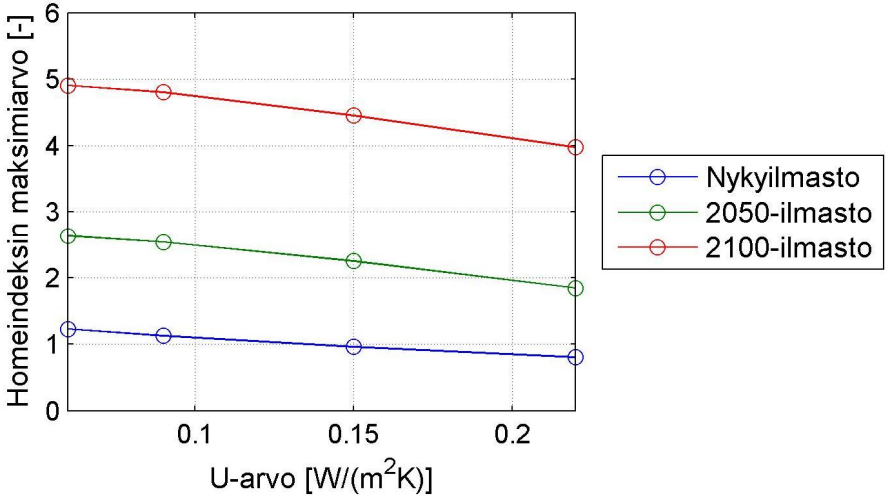


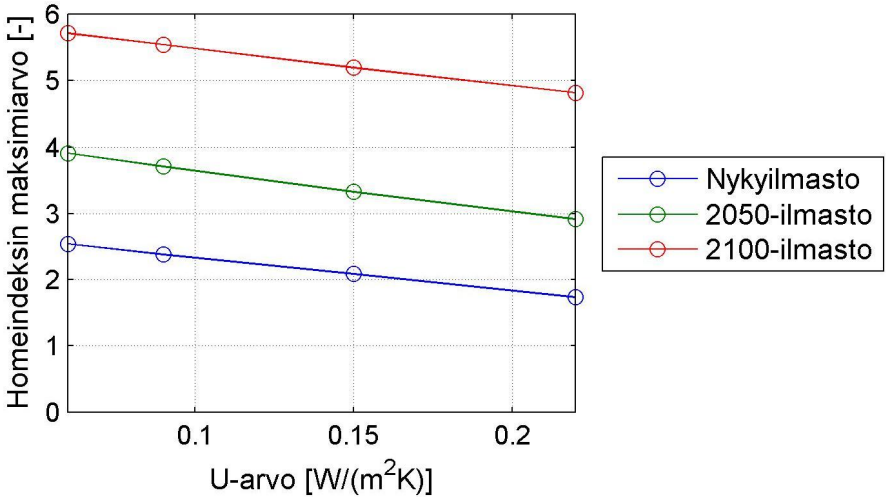


- Ilmatilan yläosa, n = 5 1/h, U = 0,09 W/(m^{2}K)
- Yläpohja on vuorokausitasolla keskimäärin hieman ulkoilmaa lämpimämpi (tuloksia aikaisemmassa Framen seminaarissa)
- Trendit vastaavat toisiaan hyvin, tunnittaisissa arvoissa eroja
    - Ollaan oikeassa suunnassa, joten voidaan jatkaa laskelmien tekemistä

Yläpohjan U-arvon ja ilmastonmuutoksen vaikutus yläpohjan homeindeksiin

Perustapaus

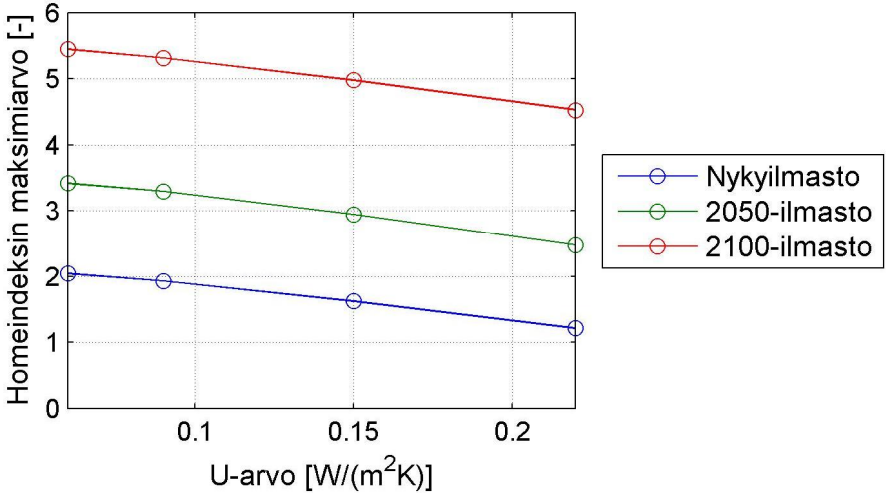


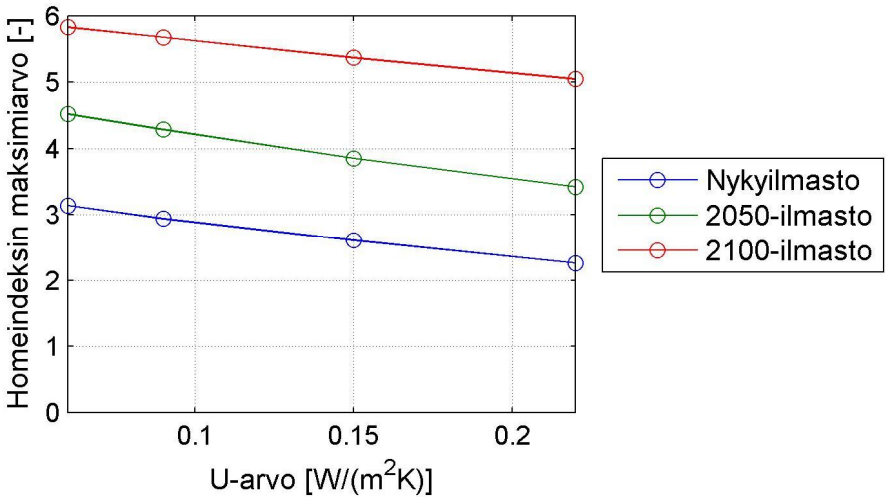


- Ilmatilan yläosa, n = 5 1/h
- Ylhäällä: Puukuitueriste 60 kg/m^3
- Alhaalla: Mineraalivillaeriste 30 kg/m^3
- Materiaalivalinnoilla pyritty hakemaan lämmöneristeen kosteuskapasiteetin vaikutusta
  - Lämmöneristeen kosteuskapasiteetin kasvattamisesta on jonkin verran etua
  - Materiaalin tiheyden kasvattaminen ei itsessään tuo samaa etua
  - Lämmöneristeen peittäminen pienentää kosteuskapasiteetista saatavaa hyötyä

Yläpohjan U-arvon ja ilmastonmuutoksen vaikutus yläpohjan homeindeksiin

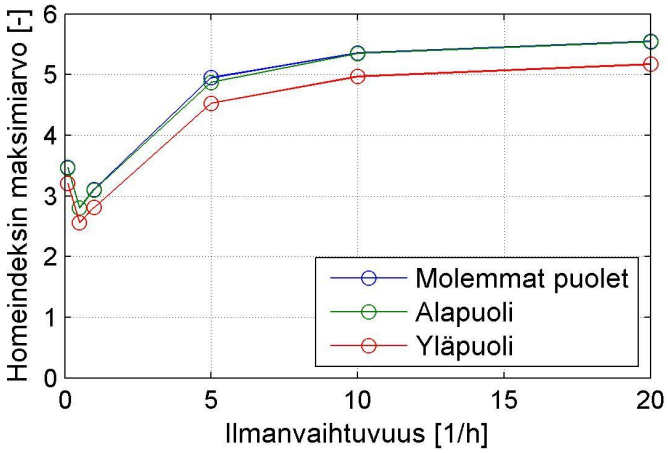
Varjossa oleva katto





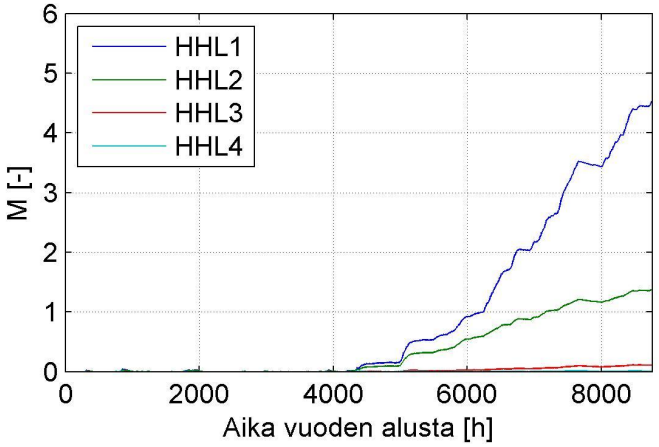
- Ilmatilan yläosa, n = 5 1/h
- Ylhäällä: Puukuitueriste 60 kg/m^3
- Alhaalla: Mineraalivillaeriste 30 kg/m^3
- Katto on esimerkiksi metsän tai toisten rakennusten varjossa, eikä saa suoraa auringonsäteilyä
  - Varjostus pienentää näkyvyyskerrointa taivaalle, mutta pienennystä ei ole kuitenkaan huomioitu pitkäaaltoisen säteilyn osalta. Ratkaisu on toisaalta todellisuuteen nähden rankempi, toisaalta mukaan tulee hieman varmuutta.
  - Auringonsäteily parantaa olosuhteita yläpohjassa. Vastaavasti varjossa oleva yläpohja on viileämpi ja homeriski on hieman suurempi aurinkoiseen paikkaan verrattuna.

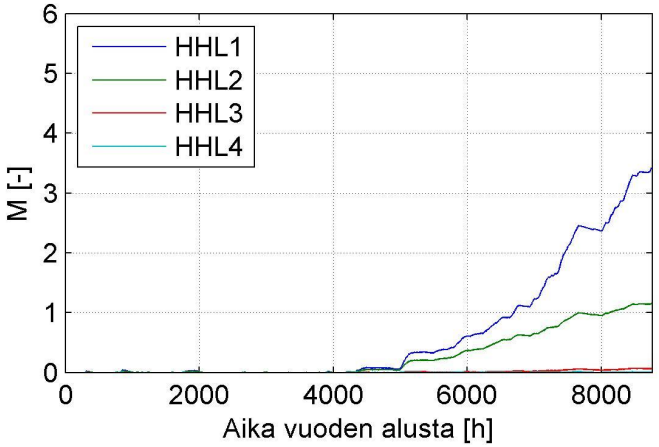
Aluskatteen matalaemissiviteettipinnan vaikutus yläpohjan homeindeksiin



- Mineraalivillaeriste, U = 0,06 W/(m^{2}K), Jokioinen 2064, varjossa oleva katto
- ε = 0,02 tai ε = 0,9
- Vertailurakenteen tulokset samat kuin yläpinnasta matalaemissiiteettipintaisen aluskatteen tapauksessa
  - Lämpötilaero aluskatteen yläpinnan ja katteen alapinnan välillä on pieni, jolloin lämmönsiirto säteilyllä on pientä.
- Matalaemissiviteettipinta aluskatteen alapinnassa vähentää lämpöhäviöitä rakenteen yläosiin, jolloin ne viilenevät.
  - Matalaemissiviteettipinta tulee laittaa ylöspäin, jos sellainen on käytössä.
  - Aluskatteen matalaemissiivinen alapinta pienentää lämpöhäviöitä, mutta kasvattaa homeriskiä

Yläpohjan materiaalien homehtumisherkkyysluokan vaikutus yläpohjan homeindeksiin

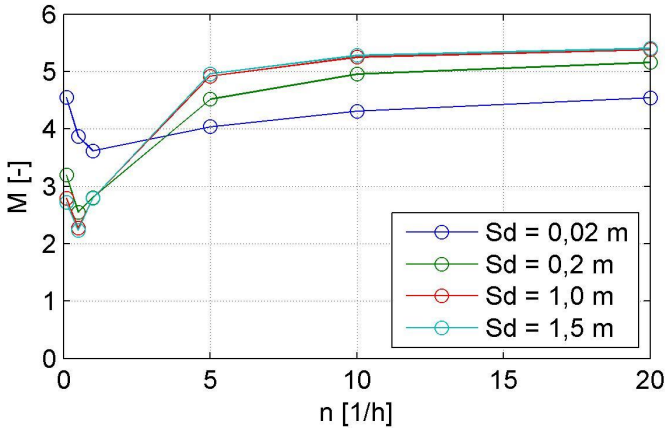




- Jokioinen 2064, ilmatilan yläosa, n = 5 1/h, U = 0,06 W/(m^{2}K). Yläkuvassa päälämmöneristeenä puukuitueriste, alakuvassa mineraalivilla.
- Sisäpinnassa höyrynsulkumuovi, kalvomainen aluskate, varjossa oleva katto
- Homehtumisherkkyysluokat
  - HHL1 (erittäin herkkä)
  - HHL2 (herkkä)
  - HHL3 (kohtalaisen kestävä)
  - HHL4 (kestävä)
- Todellisten puurakenteisten kattoristikoiden homehtumisherkkyysluokka HHL1 ja HHL2 välissä.
- Kestävälle materiaalille laskettu homeindeksi tulee hyvinkin rankoilla olosuhteilla pieneksi. Toisaalta olosuhteet kannattaisi saada mahdollisimman helpoiksi, jolloin ratkaisuun saadaan lisävarmuutta.

Aluskatteen vesihöyrynvastuksen vaikutus yläpohjan homeindeksiin

Varjossa oleva katto



Koonti tuloksista seuraavalla sivulla.

- Mineraalivillaeristetty yläpohja, Jokioinen 2064
- Suuremmilla ilmanvaihtuvuuksilla vesihöyryä läpäisevämpi aluskate toimii tiiviimpiä paremmin.
- Pienemmillä ilmanvaihtuvuuksilla vesihöyrytiiviimpi aluskate toimii avoimempaa paremmin.
- Ilmanvaihdon määrää mietittäessä tulee muistaa, että myös rakennusaikaisen kosteuden ja mahdollisten kosteusvuotojen tulee pystyä kuivumaan.

Aluskatteen vesihöyrynvastuksen vaikutus yläpohjan homeindeksiin

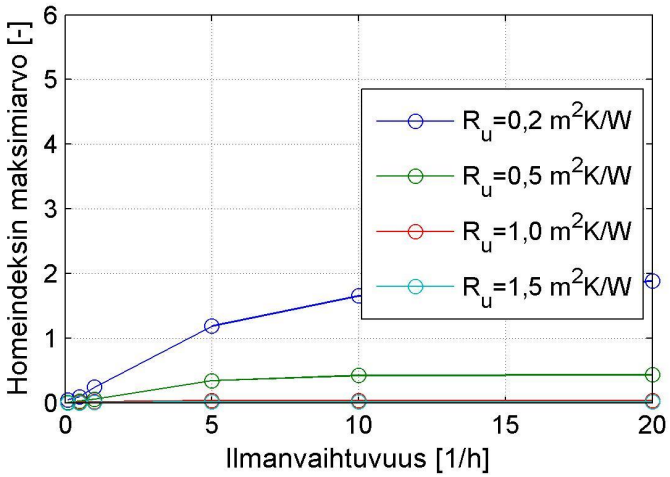
Varjossa oleva katto – kosteusteknistä toimintaa parantavat ratkaisut

Homeindeksin yksi alittavat ratkaisut tummennettuna

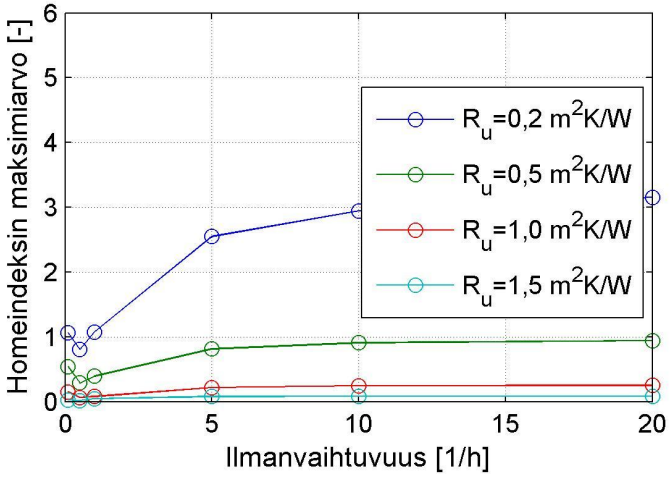
	Mineraalivilla (levyvilla 30 kg/m^3)		Puukuitueriste (puhallusvilla 60 kg/m^3)	
Yläpohjan lämmöneristeen U-arvo	U=0,06 W/(m^{2}K)	U=0,22 W/(m^{2}K)	U=0,06 W/(m^{2}K)	U=0,22 W/(m^{2}K)
1980-luku	n<=3, Sd>=1,0 m tai n>3, Sd = 0,02 m	n<=3, Sd>=0,2 m tai n>3, Sd = 0,02 m tai **n<=1, Sd >= 0,2 m**	n<=4, Sd>=0,2 m tai n>4, Sd = 0,02 m tai **n<=1, Sd >= 0,2 m**	n<=4, Sd>=0,2 m tai n>4, Sd = 0,02 m tai **n<=1, Sd >= 0,2 m**
2050-luku	n<=3, Sd>=0,2 m tai n>3, Sd = 0,02 m	n<=4, Sd>=1,0 m tai n>4, Sd = 0,02 m	n<=5, Sd>=0,2 m tai n>5, Sd = 0,02 m tai **n<=1, Sd >= 0,2 m**	n<=5, Sd>=0,2 m tai n>5, Sd = 0,02 m tai **n<=1, Sd >= 1,0 m**
2100-luku	n=0,5 tai 1,0 ja Sd>=1,0 m	n=0,5 tai 1,0 ja Sd>=1,0 m	n<=10, Sd>=1,0 m tai n>10, Sd = 0,02 m tai **n<=1, Sd >= 1,0 m**	n=0,5 tai 1,0 ja Sd>=1,0 m

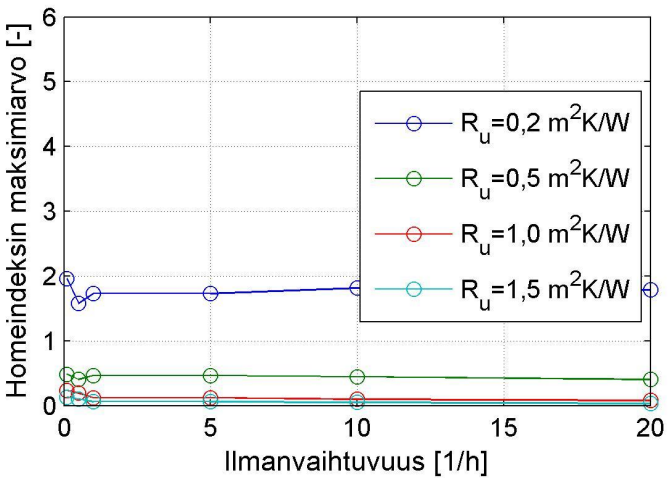
Aluskatteen lämmönvastuksen vaikutus yläpohjan homeindeksiin

Jokioinen 2064, varjossa oleva katto, U = 0,06 W/(m^{2}K), ilmatilan yläosa

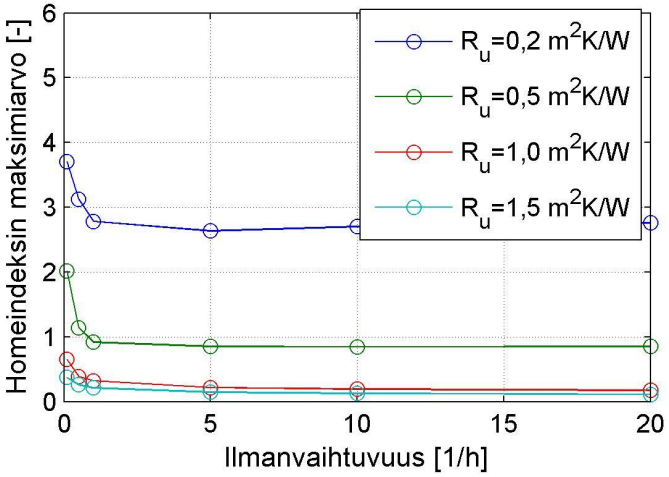


↑: Puukuitueriste ja solumuovialuskate
↓: Mineraalivillaeriste ja solumuovialuskate



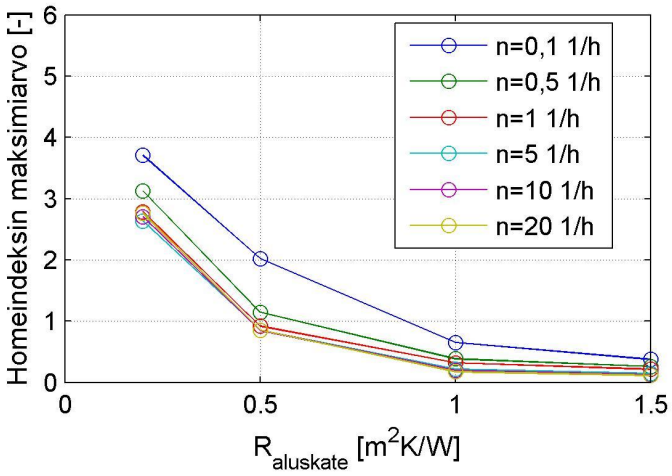


↑: Puukuitueriste ja mineraalivilla-aluskate
↓: Mineraalivillaeriste ja mineraalivilla-aluskate



Aluskatteen lämmönvastuksen vaikutus yläpohjan homeindeksiin

Jokioinen 2064, varjossa oleva katto, U = 0,06 W/(m^{2}K), ilmatilan yläosa



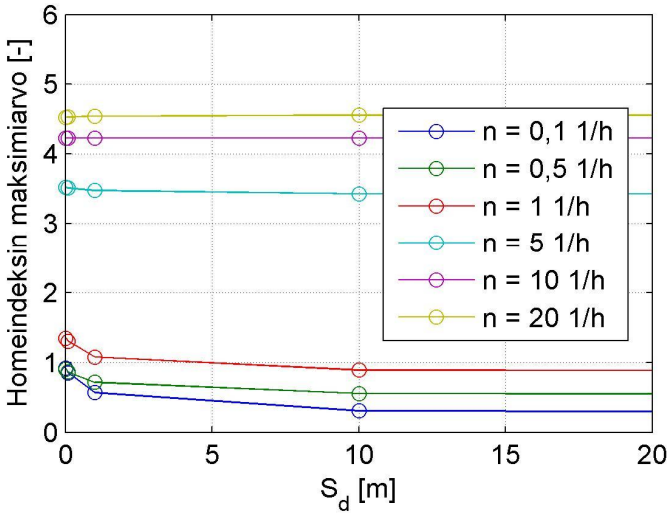
- Yläpohjan päälämmöneristeenä mineraalivilla ja aluskatteena mineraalivillatuulensuojalevy
- Aluskatteen lämmönvastuksen kasvattaminen pienentää yläpohjan homeindeksiä kaikilla tarkastelluilla materiaaliyhdistelmillä, kaikissa ilmastoissa sekä aurinkoisella että varjoisalla paikalla.
    - Aluskatteelta vaadittava lämmönvastus riippuu käytetyistä ratkaisuista
- Koonti tuloksista seuraavaksi

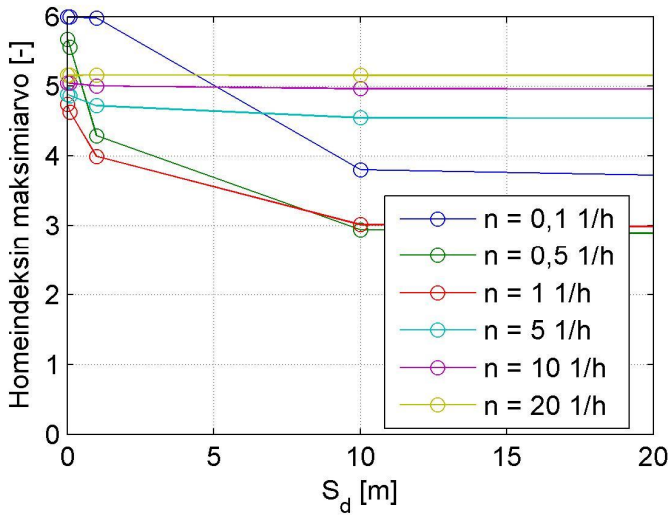
Aluskatteen vaadittava lämmönvastus homeindeksin M = 1 alittamiseksi

U = 0,06 W/(m²K), varjossa oleva katto, rakenteen sisäpinnassa höyrynsulkumuovi

Kattorakenteiden homehtumis-Herkkyysluokka	Päälämmön-eristemateriaali	Aluskate-materiaali	Vaadittava aluskatteen lämmönvastus [m²K/W]		
			Nykyilmasto	Jokioinen 2050	Jokioinen 2100
1	Puukuitueriste	EPS/MW	0,13 (ekstrap.)/ 0,28 (ekstrap.)	0,38/ 0,40	0,66/ 0,77 (n>=0,5 1/h) tai 0,89 (n=0,1 1/h)
	Mineraalivilla	EPS/MW	0,42/ 0,41 (n>=0,5 1/h) tai 0,55 (n=0,1 1/h)	0,49/ 0,60 (n>=0,5 1/h) tai 0,88 (n=0,1 1/h)	0,94/ 0,98 (n>=0,5 1/h) tai 1,37 (n=0,1 1/h)
2	Puukuitueriste	EPS/MW	0 (ekstrap.)/ 0 (ekstrap.)	0,08 (ekstrap.)/ 0,08 (ekstrap.)	0,34/ 0,44 (n>= 0,5 1/h) tai 0,55 (n=0,1 1/h)
	Mineraalivilla	EPS/MW	0,08 (ekstrap.)/ 0 (ekstrap., n>= 0,5 1/h) tai 0,16 (ekstrap., n=0,1 1/h)	0,26/ 0,26 (n>= 0,5 1/h) tai 0,37 (n=0,1 1/h)	0,56/ 0,62 (n>= 0,5 1/h) tai 0,79 (n=0,1 1/h)

Rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastuksen vaikutus yläpohjan yläosan homeindeksiin Jokioinen 2064, U = 0,06 W/(m²K)





- Vasemmalla puukuitueriste, oikealla mineraalivilla
- Lämmöneristeen oma vesihöyrynvastus, yläpohjan ilmanvaihtuvuus ja lämmöneristeen kosteuskapasiteetti vaikuttavat yläpohjan olosuhteisiin
- Jos rakenteen sisäpinnassa ei ole vesihöyrynvastusta, pääsee sisäilman kosteus lämmöneristekerrokseen ja sen kylmälle puolelle, jolloin ilman suhteellinen kosteus nousee.

Rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastuksen vaikutus yläpohjan homeindeksiin

Yläpohjan toimintaa parantavat ratkaisut, joilla M ≤ 1

Päälämmöneriste	Aluskate	1980	2050	2100
Puukuitu	EPS $R_{aluskate}$ = 1 m^2K/W tai $R_{aluskate}$ = 0,2 m^2K/W (2050)	Aluskatteen lämmönvastus 1 m^2K/W ja rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastus S_d = 0,01 m laskee yläpohjan homeindeksin alle yhden paitsi 2100-ilmastossa yläpohjan ilmanvaihtuvuudella 0,1 1/h. Tällöin sisäpinnan vesihöyrynvastuksena tulee olla S_d = 0,5 m. Jokioinen 2050-ilmstossa lämmönvastus 0,2 m^2K/W on riittävä ilmanvaihtuvuuksilla n ≤ 0,5 1/h ja sisäpinnan vesihöyrynvastuksilla $S_d \geq 0{,}01$ m.		
	MW $R_{aluskate}$ = 1 m^2K/W	Aluskatteen lämmönvastus 1 m^2K/W ja rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastus S_d = 0,01 m laskee yläpohjan homeindeksin alle yhden		
Mineraalivilla	EPS $R_{aluskate}$ = 1 m^2K/W	n=0,1 1/h ja Sd>=9 m tai n=0,5 1/h ja Sd>=0,7 m	n=0,1 1/h ja Sd>=10 m tai n=0,5 1/h ja Sd>=1 m tai n>=1 1/h ja Sd>=0,1 m	n=0,1 1/h ja Sd>=70 m tai n=0,5 1/h ja Sd>=6 m tai n>=1 1/h ja Sd>=1 m
	MW Ru = 0,2 m^2K/W	Aluskatteen lämmönvastus 0,2 m^2K/W ei ole riittävä homeindeksi M = 1 alittamiseen. Sisäpinnan vesihöyrynvastuksen kasvattaminen pitää samana tai parantaa yläpohjan olosuhteita. S_d-arvo S_d=89 m ei enää merkittävästi muuta homeindeksin arvoa vesihöyrynvastuksesta S_d = 10 m.		

Päätelmät

- U-arvon kiristäminen ja ilmastonmuutos kasvattavat homeriskiä rakenteen ulko-osissa
  - Selvää U-arvon raja-arvoa olosuhteiden muuttumiselle ei löytynyt
  - Erityisesti ilmastonmuutoksella on suuri vaikutus
- Homeriski on suurempi varjoisalla rakennuspaikalla. Yläpohjan yläosa on pääsääntöisesti alaosaa kriittisempi.
- Aluskatteen matalaemissiviipinnasta ei ollut kosteusteknistä hyötyä. Matalaemissiviteettipinta alaspäin pienentää lämpöhäviöitä, jolloin yläosan olosuhteet muuttuvat kriittisemmiksi.
- Yläpohjan lämmöneristemateriaalin kosteuskapasiteetin kasvattamisesti oli hyötyä
- Sisäpinnan vesihöyrynvastuksen kasvattaminen paransi yläpohjan kosteusteknistä toimintaa. Joissakin tapauksissa enemmän ja toisissa vähemmän.
- Suotuisin aluskatteen vesihöyrynvastus riippui yläpohjan ilmanvaihtuvuudesta
  - Tarkasteltujen rakenteiden sisäpinta oli aina vesihöyry- ja ilmatiivis
  - Aluskatteen suuri vesihöyrynvastus ja yläpohjan pieni ilmanvaihtuvuus oli hyväksi
  - Aluskatteen pieni vesihöyrynvastus ja yläpohjan suuri ilmanvaihtuvuus oli hyväksi
  - Aluskatteen vesihöyrynvastuksella ei pystytty hoitamaan yläpohjan olosuhteita hyvälle tasolle
- Ilmanvaihtuvuudella on suuri merkitys yläpohjan olosuhteisiin.
- Lämpöä eristävällä aluskatteella saatiin yläpohjan olosuhteet hyvälle tasolle (M<1) kaikissa tarkastelluissa tapauksissa.

Suositukset

- Auringonsäteily tulisi käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi.
- Lämmöneristemateriaalin kosteuskapasiteetin lisääminen parantaa tuulettuvan yläpohjarakenteen kosteusteknistä toimintaa.
- Rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastuksen tulisi olla riittävä
  - Puukuitueristetyllä yläpohjalla S_d = 1 m (Z_v = 40×10^3 m/s, Z_p = 5×10^9 m^{2}sPa/kg)
  - Mineraalivillaeristetyllä yläpohjalla S_d = 10 m (Z_v = 400×10^3 m/s, Z_p = 50×10^9 m^{2}sPa/kg)
- Yläpohjarakenteen ollessa ilmatiivis, kohtuullinen ilmanvaihtuvuus riittää
  - Hankala antaa suositusarvoa, mutta noin 0,5...1 1/h
- Kantavat rakenteet tulisi suojata ulkopuolelta lämpöä eristävällä aluskatteella
  - Aluskatteen lämmönvastuksen tulisi olla noin 0,4...0,6 m^{2}K/W (noin 20...30 mm lämmöneristelevy kauttaaltaan yläpohjan ympäri)