



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

PUURUNKOISTEN ULKOSEINÄRAKENTEIDEN TOIMINTA

FRAME – YLEISÖSEMINAARI 8.11.2012

Mikael Mäkitalo

Tampereen teknillinen yliopisto

Rakennustekniikan laitos

TUTKIMUKSET LÄHTÖARVOT

- Ulkoilman olosuhteet:
 - Nykyilmasto: Jokioinen 2004, Vantaa 2007
 - 2050-ilmasto (A2-sken.): Jokioinen 2064, Vantaa 2067
 - 2100-ilmasto (A2-sken.): Jokioinen 2094, Vantaa 2097
- Kriittiset ilmansuunnat
 - Puuverhous: pohjoinen
 - Tiiliverhous: etelä
- Sisällä vakiolämpötila + 21 °C
- Sisäilman kosteus: ilmanvaihdon kautta sisälle siirtyvä ulkoilman kosteus + sisätilan käytöstä vapautuva kosteus 2 ...5 g/m³ ($v_{in} \leq v_{in,sat}(+21^{\circ}\text{C})$).

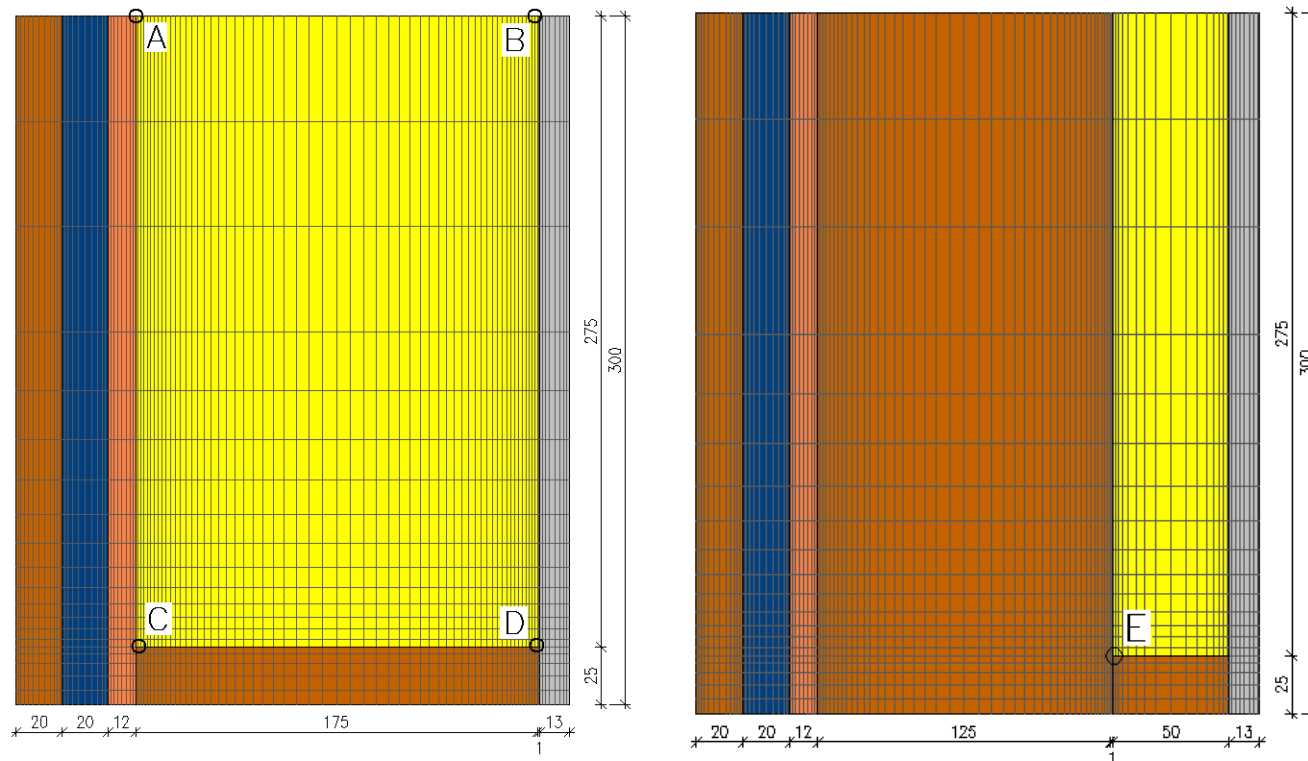


LÄHTÖARVOT JA TOIMINTAKRITEERIT

- Ilmanvaihtuvuus tuuletusraossa:
 - Puuverhous: 500 1/h (pohjoissivu)
 - Tiiliverhous: 10 1/h (eteläsivu)
- Hygroskooppisesti sitoutuvan kosteuden yläraja 97 % RH.
- Homeen kasvun riskikriteerinä käytettiin nollatasoa rakenteen sisäpinoilla ja lämmöneristeen ulko- ja sisäpinnassa ($M_{\max} \leq 1$).
- Luonnollinen homeen kasvu sitä vastoin sallittiin tuulensuojan ulkopinnassa ja tätä uloimmissa osissa.
- Kaikissa laskentatarkasteluissa käytettiin sisäpinnassa pinnoittamatonta 13 mm paksua kipsikartonkilevyä.
- Materiaalitietoina käytettiin pääosin TTY:n laboratoriossa mitattuja arvoja.
- Homeen kasvu: VTT-TTY-homeriskimalli



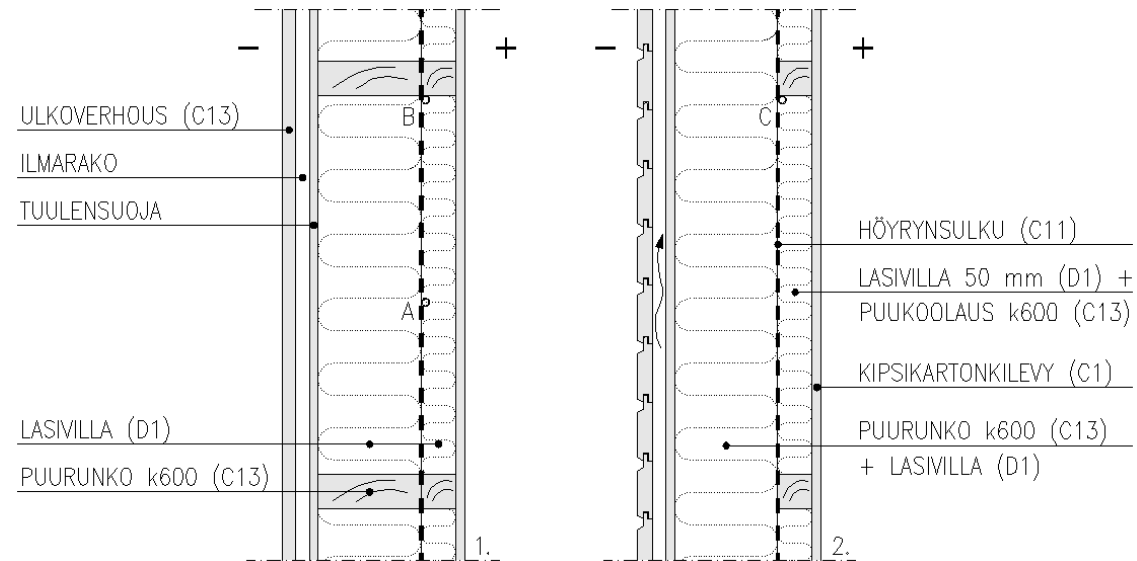
LASKENTAMALLIT JA TARKASTELUPISTEET



Esimerkit laskennassa käytetyistä elementtimalleista. Kuvissa on esitetty tarkastelupisteet mineraalivillan ulko- ja sisäpinnassa (A, B), puurungon ulko- ja sisäpinnassa (C, D) sekä sisäpuolisen vaakakoolauksen ulkopinnassa puurungon kohdalla (E).



SISÄPUOLINEN KOOLAUS (puuverhottu rankaseinä)

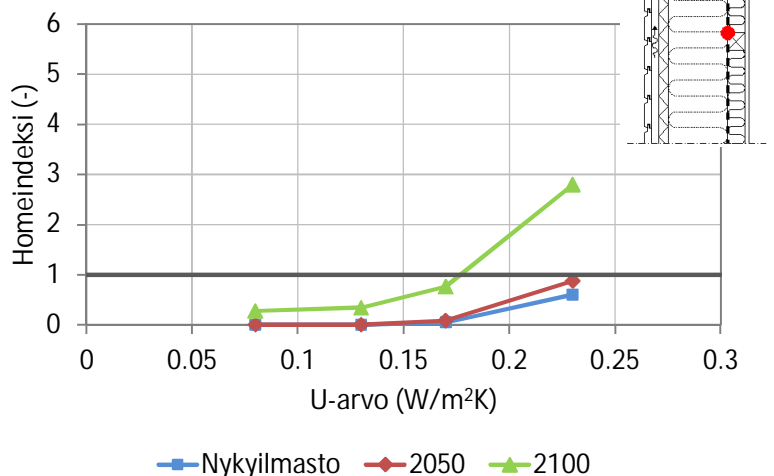


- Tutkitut rakenteet
 - 1. Sisäpuolinen pystykoolaus runkotolppia vasten
 - 2. Sisäpuolinen vaakakoolaus

HOMEEN KASVU SISÄPUOLISESSA VAAKAKOOLAUKSESSA

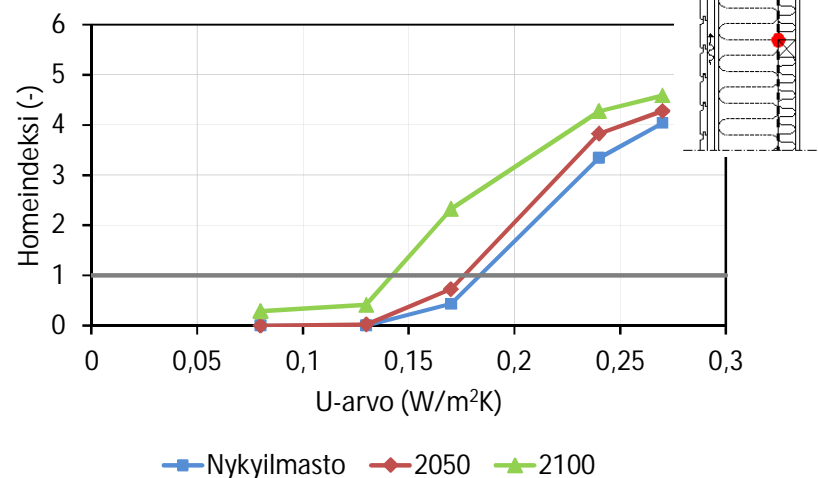
Mineraalivillalevy 30 mm

Puuverhous, pohjoinen
sisäkoolauksen ulkopinta, HHL1



Huokoinen puukuitulevy 12 mm

Puuverhous, pohjoinen
sisäkoolauksen ulkopinta, HHL1

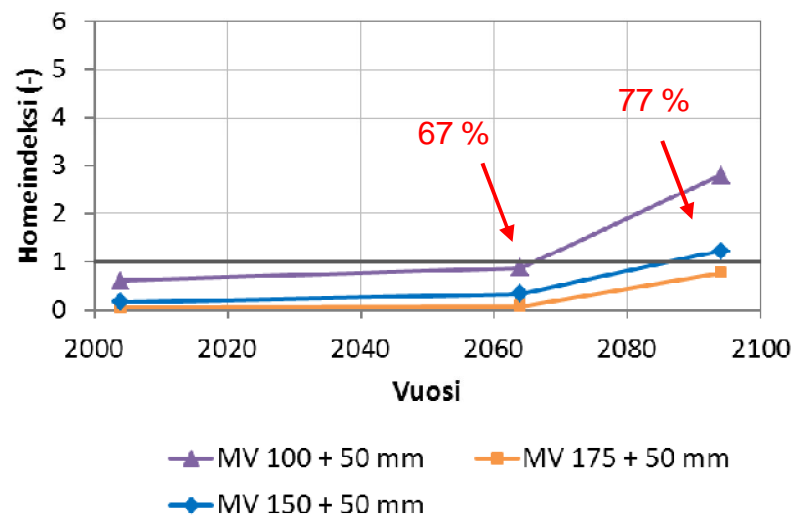


- Tuulensuojan lämmönvastuksen R_{sh} tulisi olla vähintään $0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$, jotta hometta ei esiintyisi sisäpuolisen vaakakoolauksen ulkopinnassa rakenteilla, joiden U-arvo on $\leq 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (yksinkertainen runkorakenne).

HÖYRYNSULUN SIJAINTI SEINÄRAKENTEES- SISÄPUOLINEN VAAKAKOOLAUS

Mineraalivillalevy 30 mm

Puuverhous, pohjoinen
sisäkoolauksen ulkopinta, HHL1



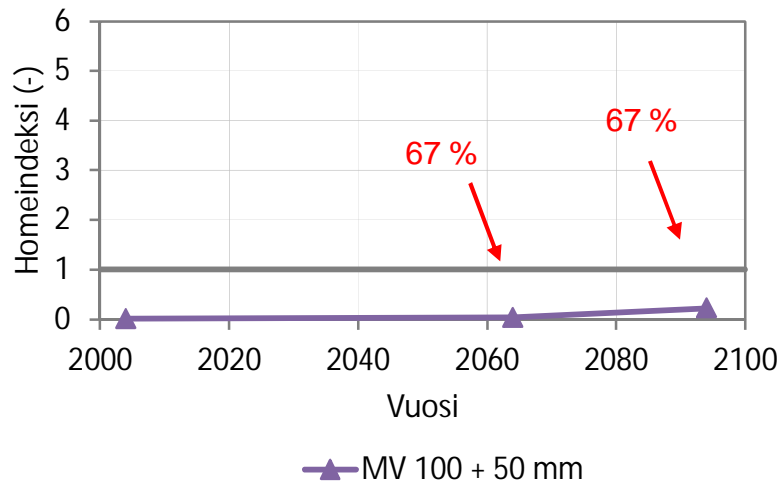
- Vähintään 2/3 (67 %) seinärakenteen lämmöneristyksestä tulee olla höyrynsulun ulkopuolella vuoden 2050-ilmastossa ($R_{sh} \geq 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$).
- Vastaavasti vuoden 2100-ilmastossa noin 3/4 (75 %) lämmöneristeestä tulisi sijaita höyrynsulun ulkopuolella.



HÖYRYNSULUN SIJAINTI SEINÄRAKENTEES- SISÄPUOLINEN PYSTYKoolaUS

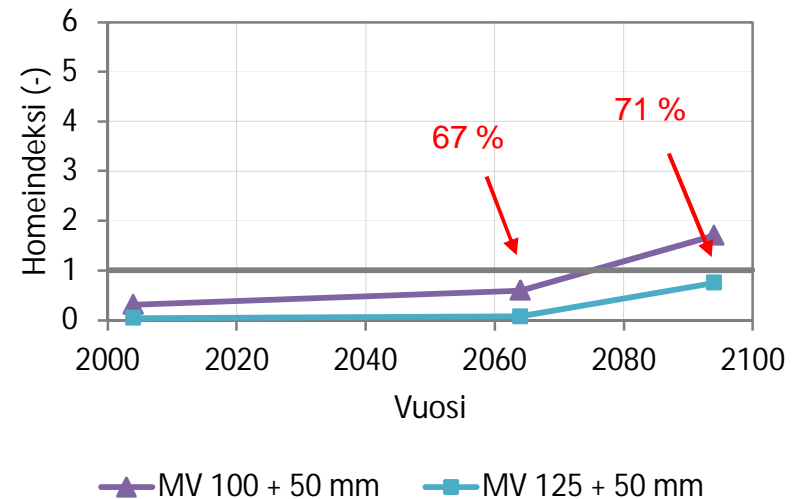
Mineraalivillalevy 30 mm

Puuverhous, pohjoinen
sisäkoolauksen ulkopinta, HHL1



Huokoinen puukuitulevy 12 mm

Puuverhous, pohjoinen
sisäkoolauksen ulkopinta, HHL1



- Sisäpuolista pystykoolausta käytettäessä seinärakenteen lämmöneristyksestä noin 2/3 (67%) tulisi olla höyrynsulun ulkopuolella vuoden 2050-ilmastossa.
- Vastaavasti vuoden 2100-ilmastossa noin 3/4 (75 %) lämmöneristeestä tulisi sijaita höyrynsulun ulkopuolella.

SISÄPUOLINEN KOOLAUS: TOIMIVAT RAKENTEET

$0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \leq U \leq 0,17\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

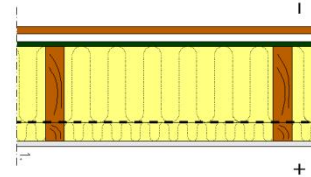
■ Rakenne 1: yksinkertainen runko

→ Sisäpuolella pystykoolaus

→ Tuulensuoja:

→ Kun tuulensuoja hygroσκοoppinen: $R_{sh} \geq 0,2 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ ja $Z_v \leq 5 \times 10^3 \text{ s}/\text{m}$ ($Z_p \leq 0,68 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa}/\text{kg}$), esim. huokoinen puukuitulevy

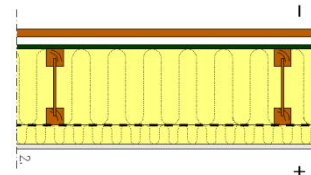
→ Kun tuulensuoja ei-hygroσκοoppinen: $R_{sh} \geq 0,4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ ja $Z_v \leq 5 \times 10^3 \text{ s}/\text{m}$, esim. mineraalivillalevy



■ Rakenne 2: kuitulevyuumainen runkotolppa

→ Sisäpuolella vaakakoolaus

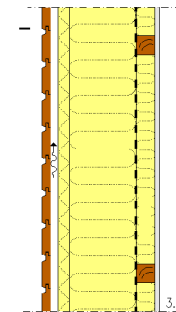
→ Tuulensuoja kuten rakenteessa 1



■ Rakenne 3: yksinkertainen runko

→ Sisäpuolella vaakakoolaus

→ Tuulensuoja: $R_{sh} \geq 0,8 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ ja $Z_v \leq 5 \times 10^3 \text{ s}/\text{m}$, esim. mineraalivillalevy

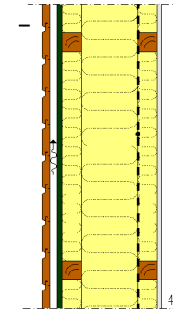


SISÄPUOLINEN KOOLAUS

$0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{k}) \leq U \leq 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

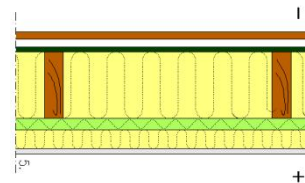
- *Rakenne 4: Ulkopuolelta ristikoolattu runko*

- Sisäpuolella vaakakoolaus
- Ulkopuolella $\geq 50 \text{ mm}$ lämmöneristys ja vaakakoolaus
- Tuulensuoja kuten rakenteessa 1



- *Rakenne 5: Yksinkertainen runko*

- Sisäpuolella vaakakoolaus
- Höyrynsulkuna solumuovilevy: $R_{sh} \geq 0,8 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ ja $Z_v \geq 130 \times 10^3 \text{ s}/\text{m}$ ($Z_p \geq 17,8 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa}/\text{kg}$), esim. alumiinipintainen polyuretaanilevy
- Tuulensuoja kuten rakenteessa 1



Pystysuuntainen sisäpuolinen koolaus on toimiva kaikissa edellä esitetyissä rakenteissa.

SISÄPINNAN VESIHÖYRYNVASTUS

Taulukko 1. Sisäpinnan vesihöyrynvastuksen (Z_i) ja sisä- ja ulkopinnan välisen vesihöyrynvastussuhteen (Z_i/Z_e) vaaditut minimiarvot puurunkoisissa ulkoseinissä vuosien 2050 ja 2100-ilmastoissa ulkoseinissä, joiden U -arvo on $\geq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Tuulensuoja	Lämmöneriste							
	Ei-hygroskooppinen lämmöneriste				Hygroskooppinen lämmöneriste			
	Z_i/Z_e [-]		$Z_{v,i}$ $\times 10^3$ [s/m]		Z_i/Z_e [-]		$Z_{v,i}$ $\times 10^3$ [s/m]	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	1:1	2:1	0,15	2,5	1:1	1:1	-	1,35
Huokoinen puukuitulevy 12 mm (A13)	5:1	38:1	13	94	2:1	40:1	3,7	98
Huokoinen puukuitulevy 25 mm (A2)	2:1	10:1	9,2	44	1:1	9:1	4,1	40,5
Havuvaneri 9 mm (A11)	4:1	10:1	59	130	3:1	8:1	42	110
Tuulensuojakipsilevy 9 mm (A1)	15:1	Ei hyv.	40	Ei hyv.	3:1	Ei hyv.	8	Ei hyv.
Havuvaneri 9 mm (A11) + Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	3:1	5:1	45	80	2:1	4:1	34	53
Kipsikartonkilevy 9 mm (A1) + Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	1:1	5:1	5	20,5	1:1	2:1	1,2	9,5

Vesihöyrynvastussuhteen tulisi olla kaikissa rakenteissa vähintään 5:1, jotta sisäilma ei olisi liian kuivaa talviaikana.



Ja sama Z_p -arvoina

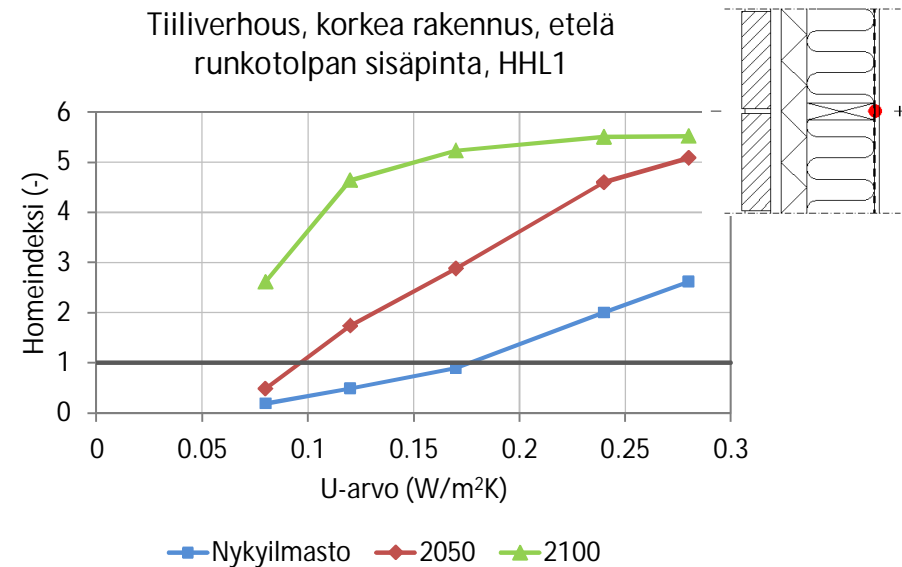
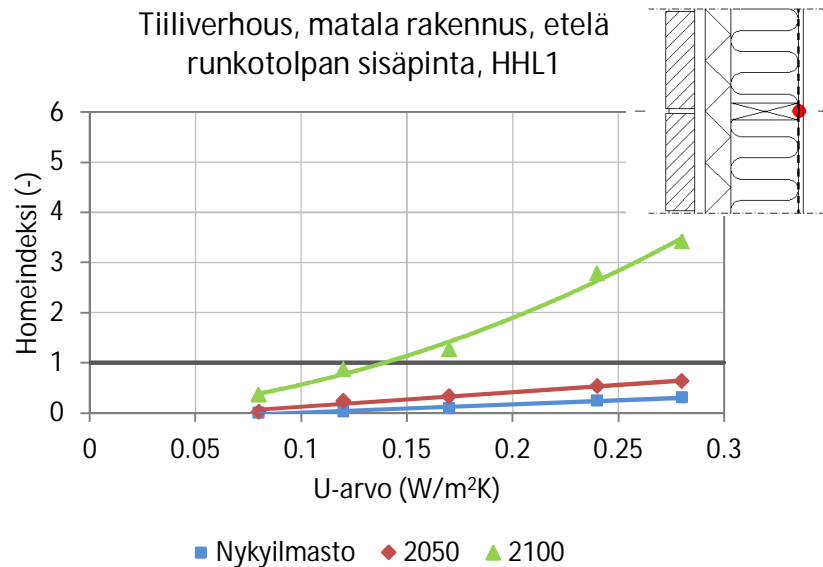
Taulukko 1. Sisäpinnan vesihöyrynvastuksen (Z_i) ja sisä- ja ulkopinnan välisen vesihöyrynvastussuhteen (Z_i/Z_e) vaaditut minimiarvot puurunkoisissa ulkoseinissä vuosien 2050 ja 2100-ilmastoissa ulkoseinissä, joiden U -arvo on $\geq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Tuulensuoja	Lämmöneriste							
	Ei-hygroskooppinen lämmöneriste				Hygroskooppinen lämmöneriste			
	Z_i/Z_e [-]		$Z_{p,i}$ $\times 10^8 [\text{m}^2\text{sPa}/\text{kg}]$		Z_i/Z_e [-]		$Z_{p,i}$ $\times 10^8 [\text{m}^2\text{sPa}/\text{kg}]$	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	1:1	2:1	0,2	3,4	1:1	1:1	-	1,8
Huokoinen puukuitulevy 12 mm (A13)	5:1	38:1	17,8	128	2:1	40:1	5,1	134
Huokoinen puukuitulevy 25 mm (A2)	2:1	10:1	12,6	60,1	1:1	9:1	5,6	55,3
Havuvaneri 9 mm (A11)	4:1	10:1	80,6	178	3:1	8:1	57,4	150
Tuulensuojakipsilevy 9 mm (A1)	15:1	Ei hyv.	54,7	Ei hyv.	3:1	Ei hyv.	10,9	Ei hyv.
Havuvaneri 9 mm (A11) + Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	3:1	5:1	61,5	109	2:1	4:1	46,5	72,4
Kipsikartonkilevy 9 mm (A1) + Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	1:1	5:1	6,8	28	1:1	2:1	1,6	13

Vesihöyrynvastussuhteen tulisi olla kaikissa rakenteissa vähintään 5:1, jotta sisäilma ei olisi liian kuivaa talviaikana.

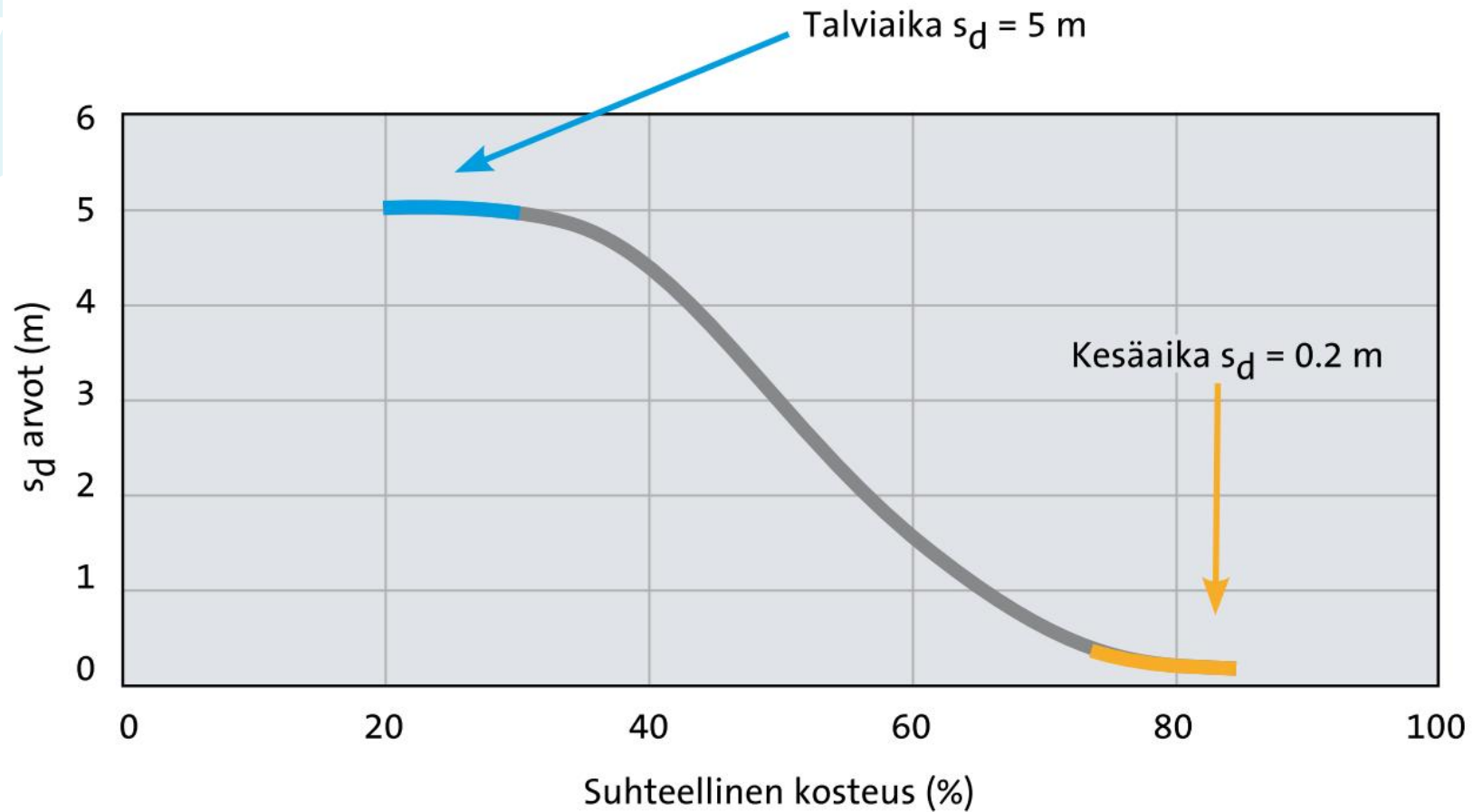


HOMEEN KASVU TIILIVERHOTUSSA PUURANKASEINÄSSÄ (tuulensuojana mineraalivillalevy 75 mm)



- **Korkeassa** tiiliverhotussa rankaseinässä homeindeksi nousee runkotolpan sisäpinnassa lähes kaikilla U-arvoilla korkealle.
- **Matalassa** tiiliverhotussa rankaseinässä esiintyy vuoden 2100-ilmastossa homeenkasvua rakenteilla, joiden U-arvo on suurempi kuin 0,14 W/(m²K)
 - Näissä rakenteissa on käytettävä *hygrokalvoa* rakenteen sisäpinnassa, jotta homeen kasvu ei olisi mahdollinen höyrynsulun ulkopinnassa.

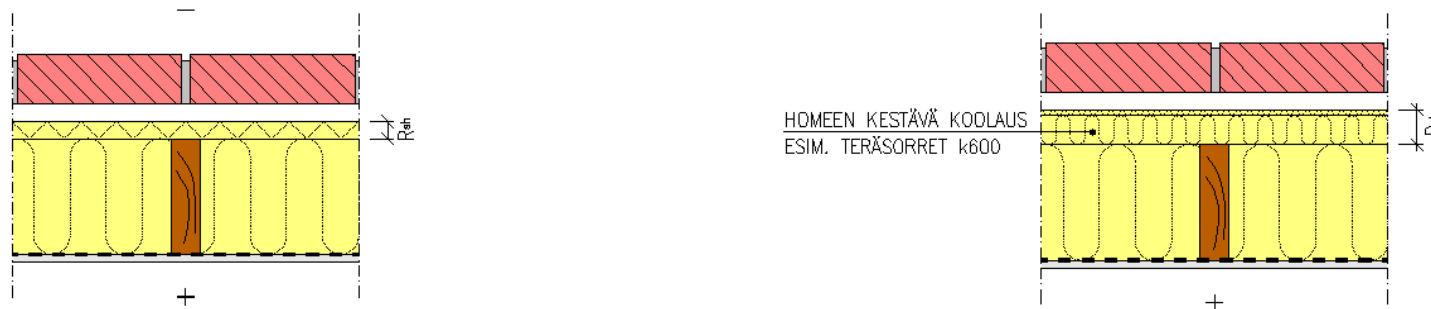
HYGROKALVO (esim. Isover VARIO KM Duplex)



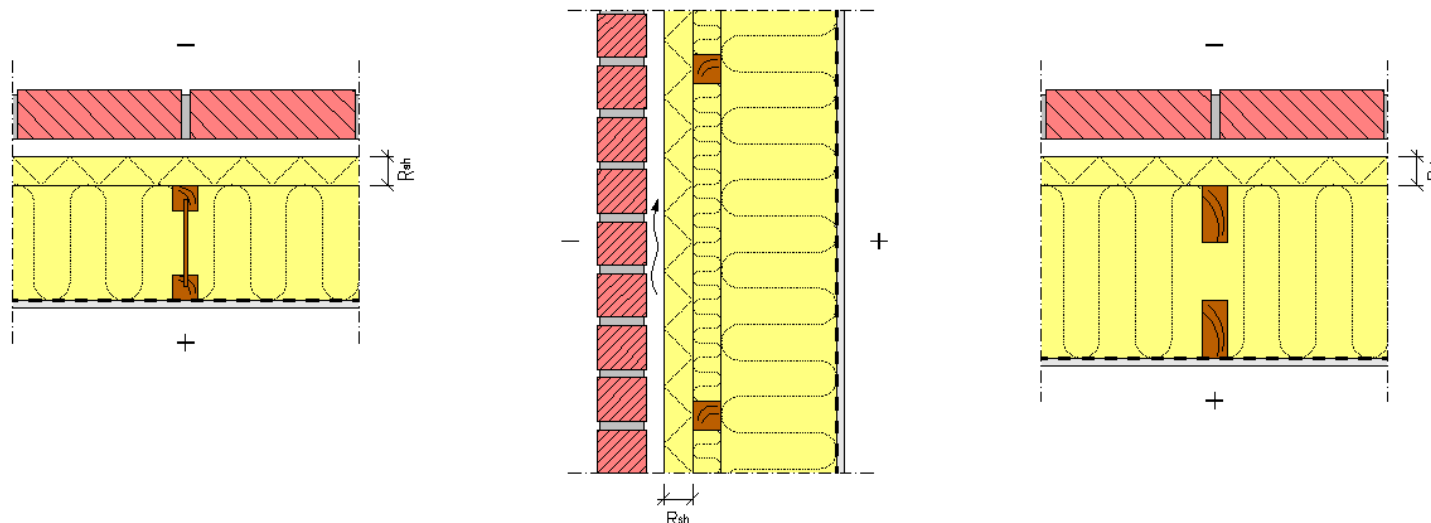
$$1 \text{ m } [s_d] = 40 \times 10^3 \text{ s/m } [Z_v] = 5 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg } [Z_p].$$

TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ (H < 10 m) (Tuulensuojan lämmönvastuksen minimiarvo)

1) Yksinkertainen runko

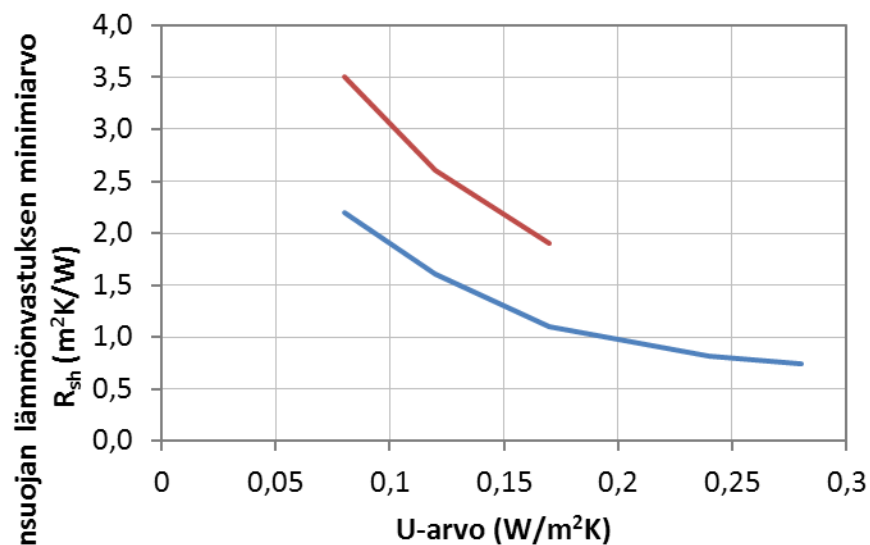


2) Kuitulevyuuma, ulkopuolinen ristikoolaus, eriytetty runko



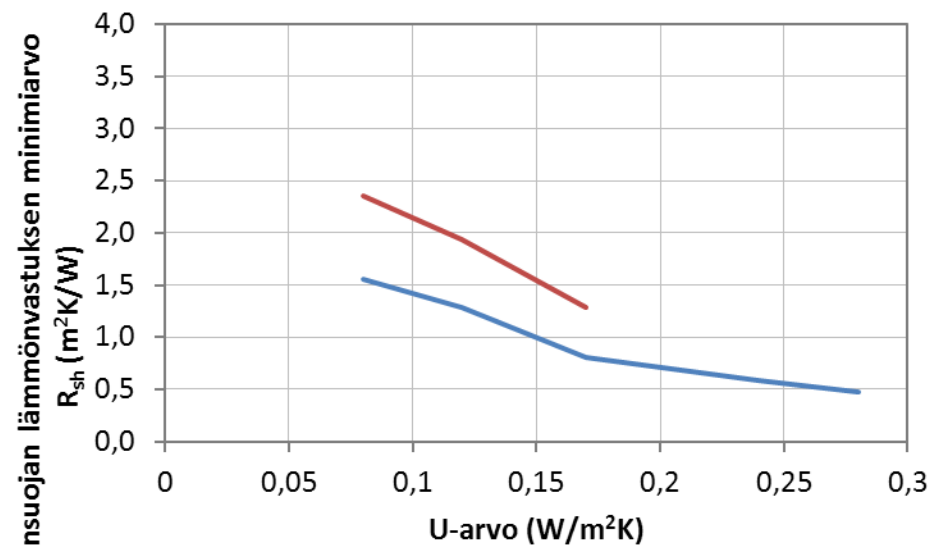
TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ (H < 10 m) (Tuulensuojan lämmönvastuksen minimiarvo)

Vuoden 2050-ilmast, HHL1



— Yksinkertainen runko
— Kuitulevyuuma, ulkop ristikoolaus, eriytetty runko

Vuoden 2050-ilmast, HHL2

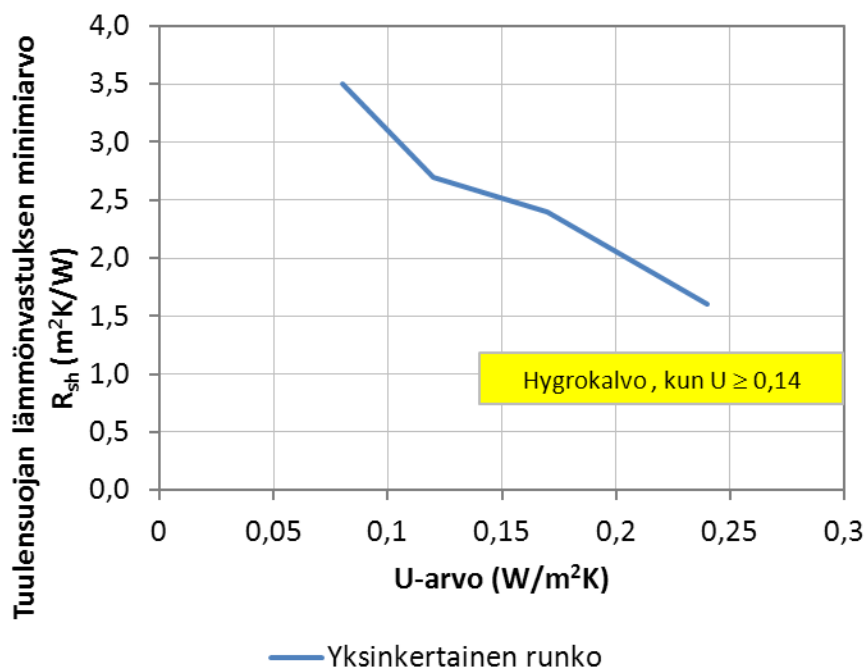


— Yksinkertainen runko
— Kuitulevyuuma, ulkop ristikoolaus, eriytetty runko

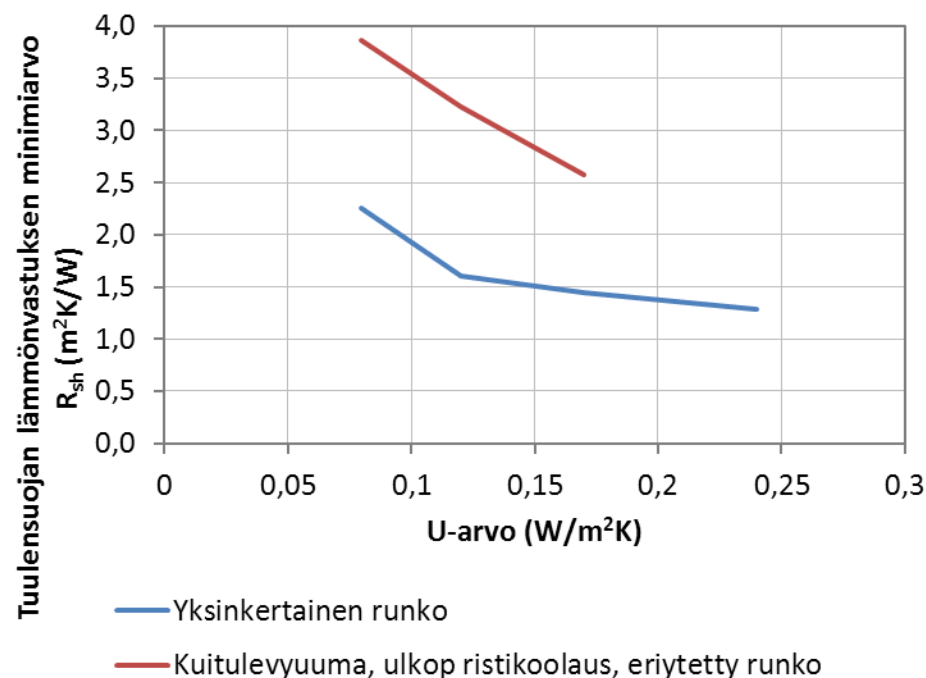
- Homehtumista kestävämmällä materiaalilla voidaan pienentää tuulensuojalta vaadittavaa lämmönvastusta.

TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ (H < 10 m) (Tuulensuojan lämmönvastuksen minimiarvo)

Vuoden 2100-ilmast, HHL1



Vuoden 2100-ilmast, HHL2



- HHL1-luokan puurimoin ulkopuolelta ristikoolattu rakenne ei ole hyväksyttävissä vuoden 2100-ilmastossa.

TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ (rappaus ulkopinnassa)

1. Perinteinen paksurappaus (1)

Rakennekerrokset:

1. Tartuntalaasti 3 mm KS 35/65/400
2. Täyttölaasti 15 mm KS 65/35/500
3. Pintalaasti 3 mm KS 65/35/600

1. Moderni paksurappaus (2)

Rakennekerrokset:

1. Tartuntalaasti 3 mm, kuituvahvisteinen KS-laasti
2. Täyttölaasti 20 mm KS 25/75/500
3. Silikonihartsimaali 0,3 mm
4. Silikonihartsipinnoite 2 mm



TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ (rappaus ulkopinnassa)

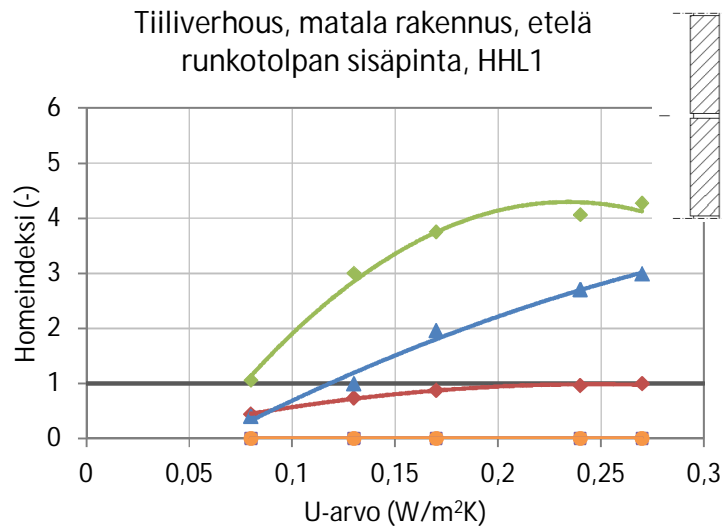
3. Keskipaksurappaus (3)

Rakennekerrokset:

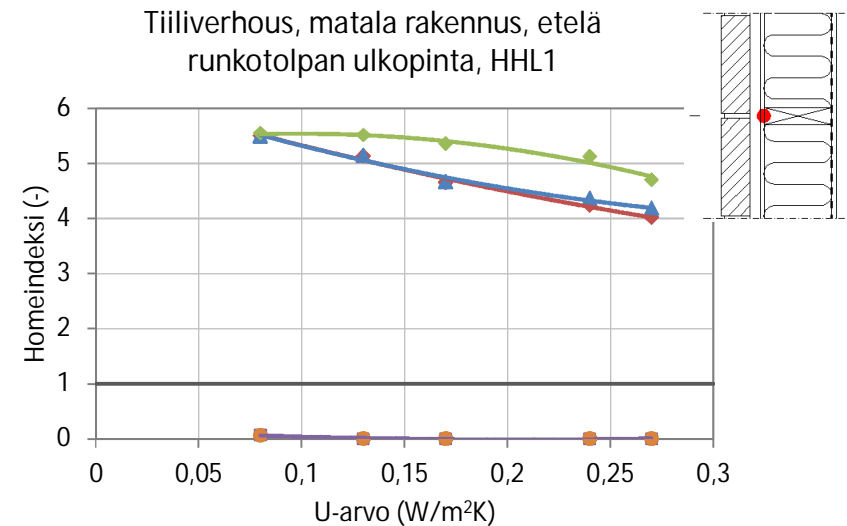
1. Tartuntalaasti 5 mm S
2. Pohjalaasti 10 mm S
3. Hiertopinnoite 3 mm S



HOMEEN KASVU TIILIVERHOTUSSA PUURANKASEINÄSSÄ VUODEN 2100-ILMASTOSSA (tuulensuojana huokoinen puukuitulevy 12 mm)



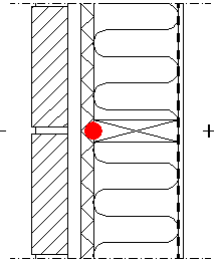
- ◆ Hygrokalvo
- ▲ Höyrynsulku
- ◆ Höyrynsulku + perinteinen paksurappaus (1)
- Höyrynsulku + moderni paksurappaus (2)
- Höyrynsulku + Keskipaksurappaus (3)



- ◆ Hygrokalvo
- ▲ Höyrynsulku
- ◆ Höyrynsulku + perinteinen paksurappaus (1)
- Höyrynsulku + moderni paksurappaus (2)
- Höyrynsulku + keskipaksurappaus (3)

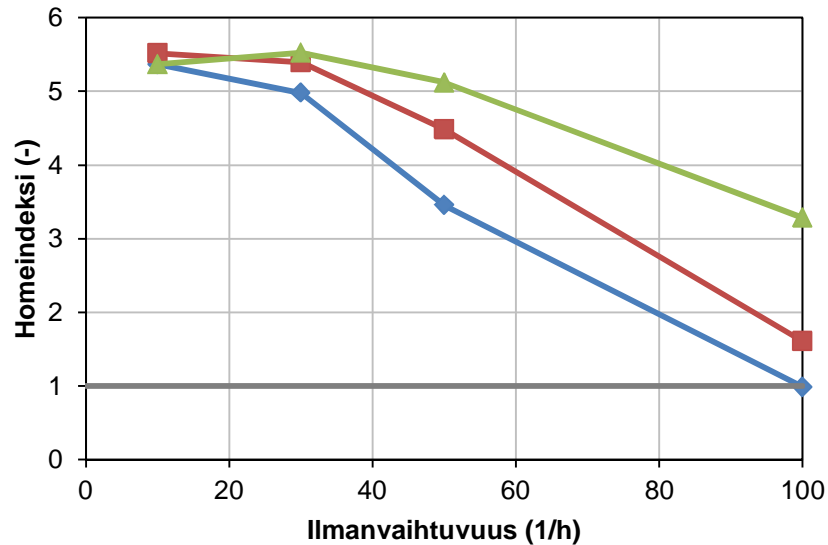
- Homeindeksit on laskettu Vantaan 2097-ilmastossa. Nykyilmastossa ja vuoden 2067-ilmastossa ei esiinny homeen kasvua runkotolpan sisäpinnassa.
- Hygrokalvolla ja ulkopuolisella rappauksella (2 & 3) voidaan pienentää runkotolpan sisäpinnan homeindeksiä vanhoissa rakennuksissa.





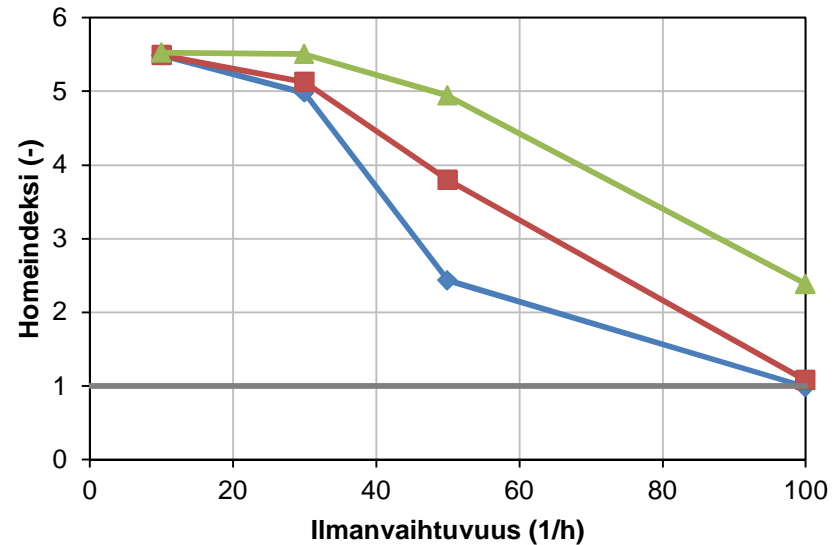
TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ (korkea rakennus, $h > 10$ m)

Tuulensuoja MV75, korkea rakennus
runkotolpan ulkopinta, HHL1



—◆— Nykyilmasto —■— 2050 —▲— 2100

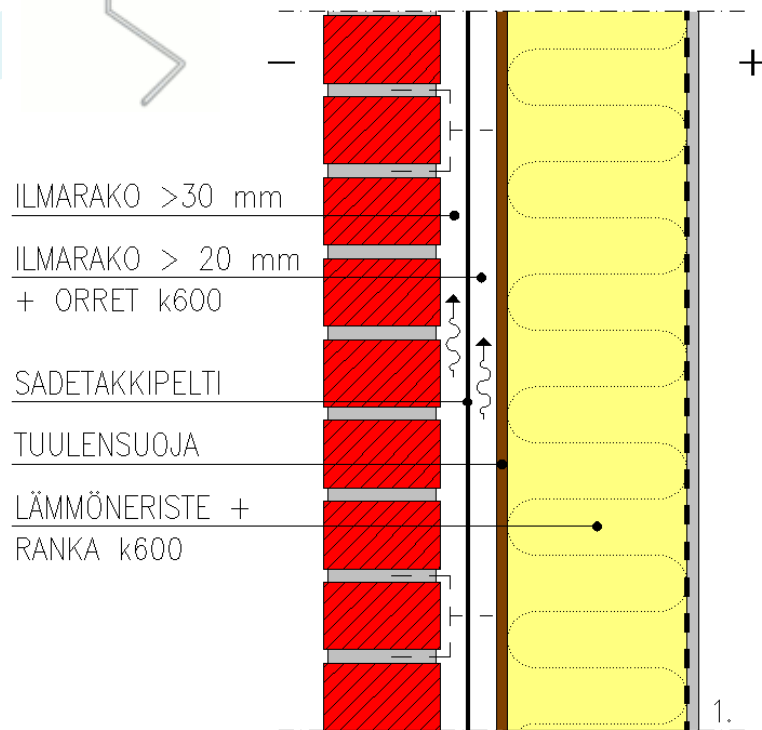
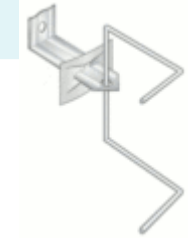
Tuulensuoja MV100, korkea rakennus
runkotolpan ulkopinta, HHL1



—◆— Nykyilmasto —■— 2050 —▲— 2100

- Tyypillinen tuuletusraon ilmanvaihtuvuus on korkeissa tiilijulkisivuisissa seinissä ($h \geq 10$ m) 0...40 vaihtoa tunnissa.
- Korkeassa tiiliverhotussa puurankaseinässä esiintyy homeen kasvua jo nykyilmaston olosuhteissa.

TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ (korkea rakennus, $h > 10$ m)



- Korkeassa tiiliseinässä ($h > 10$ m) on käytettävä rakenteellista suojausta, esimerkiksi teräsohutlevyä kuorimuurauksen takana.
- Tuuletus on varmistettava seinärakenteen ylä- ja alaosasta.
- Tuulensuojan lämmönvastuksen on oltava vähintään $0,2$ m^2K/W
- Rakenteen toimivuutta voidaan parantaa entisestään käyttämällä seinärunkona uumareitettua termorankaa.

LÄMMÖNERISTYKSEN LISÄYKSEN JA ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET RANKARAKENTEISIIN ULKOSEINIIN

Rakenne tai Rakentamisvaihe	Nykyilmasto	2050	2100	Muutoksia (x)
- tuulensuojakalvo		x	x	Lämpöä eristävän tuulensuojan käyttö
- kipsilevy-tuulensuoja			x	Lisälämmöneristys ulkopintaan (käännetty rakenne)
- matala tiiliverhottu rankaseinä (h ≤ 10 m)	x	x	x ¹⁾	Lämpöä eristävän mineraalivilla-tuulensuojan käyttö
- korkea tiiliverhottu rankaseinä (h > 10 m)	x	x	x	Rakenteellinen suojaus
- sisäpuolinen vaakakoolaus	2)	2)	x	Lämpöä eristävä tuulensuoja (R _{sh} ≥ 0,8 m ² K/W) tai rungon kylmäsillan katkaiseva rakenne
- kosteutta tuottava rakentamisvaihe (esim. lattialaatan valu)	x	x	x	Höyrynsulun sisäpuoliset rakenteet asennettavat vasta, kun φ ≤ 80 % RH tai Δv ≤ 2 g/m ³ (5 g/m ³ talvella)

¹⁾ hygrokalvon käyttö rakenteen sisäpinnassa

²⁾ Tuulensuoja R_{sh} ≥ 0,2 m²K/W



LISÄTIETOA AIHEESTA

- Mäkitalo, M. 2012. Puurunkoisten ulkoseinién kosteustekninen toimivuus nykyilmastossa ja tulevaisuuden ilmastossa. Diplomityö. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/20999>
- Vinha et al. 2012. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti. (*Julkaistaan 2012*)

