

# ECOSAFE

## koerakennusmittaukset

Loppuseminaari 2.6.2023

Jaakko Hietikko

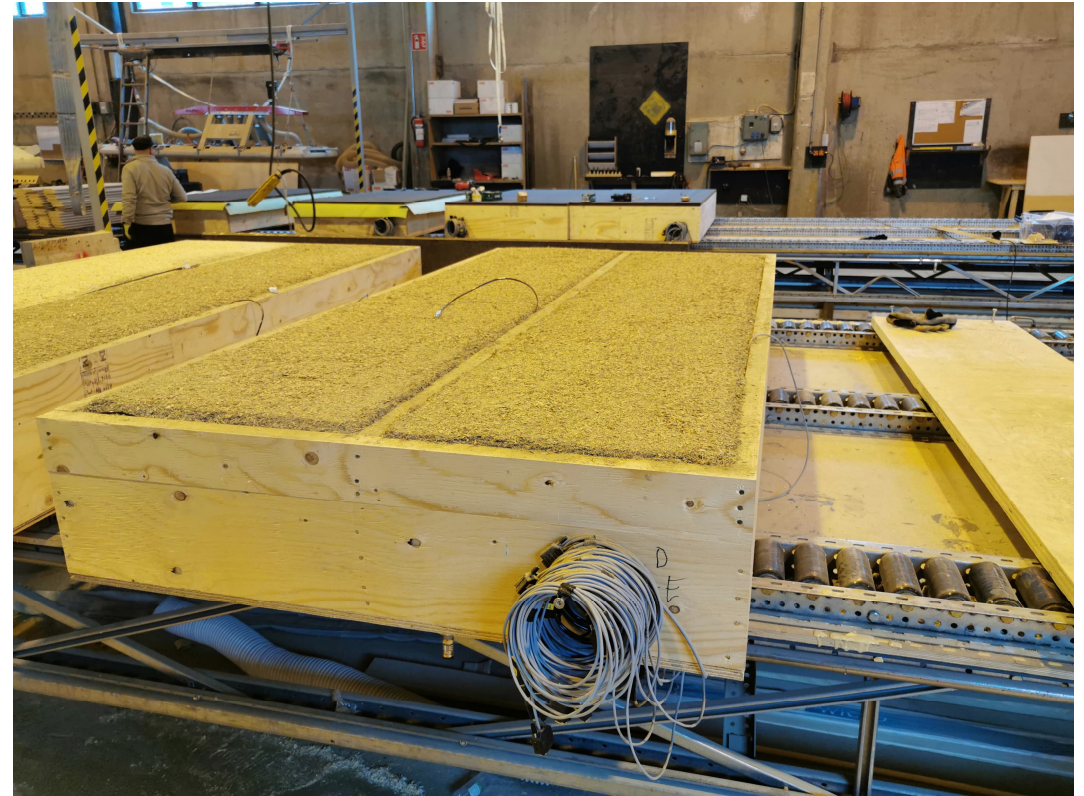
# Koerakennusmittaukset - koerakennukset

- Käytössä on kaksi koerakennusta. Kummassakin koerakennuksessa pohjois- ja eteläseinillä on 6 tutkimusaukkoa molemmin puolin koe-elementtejä varten.
- Koerakennuksilla tarkka jatkuva olosuhteiden seuranta:
  - Sisäilman olosuhteet:
    - Lämpötila, suhteellinen ilmankosteus, paine-ero
  - Ulkoilman olosuhteet (oma sääasema):
    - Lämpötila, suhteellinen ilmankosteus, ilmanpaine, lyhyt- ja pitkäaaltainen auringonsäteily, tuulen nopeus ja suunta sekä sademittaus
  - Lisäksi tutkimusrakenteisiin on asennettu lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mittaavat anturit rakennekerrosten rajapinnoille.



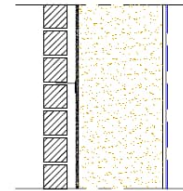
# Koerakennusmittaukset - koerakennukset

- Koe-elementit on rakennettu ja anturoitu ECOSAFE-projektin alussa 2020 Kerimäellä Punkaharjun Puutaidon tiloissa. ECOSAFE2-projektin uudemmat koe-elementit rakennettiin Tampereen yliopiston tiloissa.
- Kaikkien koe-elementtien anturointi on tehty vastaamaan toisiaan, jolloin vertailua pystytään tekemään mahdollisimman luotettavasti.
  - Koe-elementeissä mitataan eri rakennekerrosten rajapintojen olosuhteita (lämpötila ja suhteellinen kosteus) sekä eristekentän keskeltä, että keskimmäisen runkotolpan läheisyydestä.



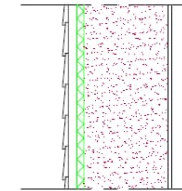
# Koerakennusmittaukset - tutkimusrakenteet

- Ensimmäiset ECOSAFE-projektin seinärakenteet asennettiin koerakennuksille vuoden 2020 alkupuolella.
  - Yksi rakenne tiilijulkisivulla (verrokkina aiempiin rakenteisiin)
    - Rakenteet: E1
  - Vertailu muihin ECOSAFE-rakenteisiin vaikeaa, koska muuttujia on useita.
- Muissa puujulkisivullisissa rakenteissa varioitu eristemateriaalia sekä tuulensuojalevyä
  - Rakenteet: E2, E3\_S, E3\_V, E4
  - Eristemateriaalit: kutterinlastueriste ja savetettu kutterinlastueriste
  - Tuulensuojalevyt: puukuitutuulensuoja, savituulensuoja ja kivivillatuulensuoja



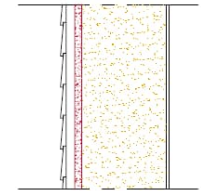
Rakennetyyppi E1

Tiilimuraus	85 mm
Tuuletusväli	30 mm
Kipsituulensuojalevy	9 mm
Kutterinlastueriste	300 mm
Vaneri	15 mm
Höyrynsulkumuovi	



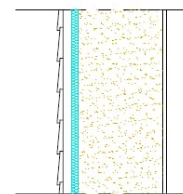
Rakennetyyppi E2

Puuverhous	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Hunton puukuitutuulensuoja	25 mm
Savetettu kutterinlastueriste	300 mm
Vaneri	15 mm



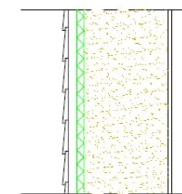
Rakennetyyppi E3-S

Puuverhous	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Savituulensuoja	30 mm
Kutterinlastueriste	300 mm
Vaneri	15 mm



Rakennetyyppi E3-V

Puuverhous	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Paroc Cortex kivivillatuulensuoja	30 mm
Kutterinlastueriste	300 mm
Vaneri	15 mm

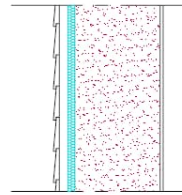


Rakennetyyppi E4

Puuverhous	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Hunton puukuitutuulensuoja	25 mm
Kutterinlastueriste	300 mm
Vaneri	15 mm

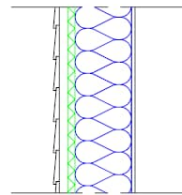
# Koerakennusmittaukset - tutkimusrakenteet

- ECOSAFE2-projektissa koerakennuksilla asennettiin uudet rakenteet vuoden 2022 aikana.
  - Aiempien tulosten perusteella parhaaksi osoittautuneet materiaalit samaan rakenteeseen (kivivillatuulensuoja & savetettu kutterinlastueriste).
    - Rakenteet: E5
  - Vertailurakenne kivivillaeristeellä. Eri tuulensuojalevyt tutkimuselementin kummallekin runkotolppavälille.
    - Rakenteet: E6\_P, E6\_V
    - Tuulensuojalevyt: puukuitutuulensuoja, kivivillatuulensuoja
    - Eristepaksuus (200 mm) valittu siten, että eristekerroksen lämmönvastus on sama kuin kutterinlastueristeisillä rakenteilla (300 mm)



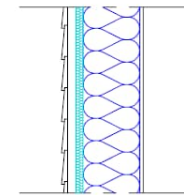
Rakennetyyppi E5

Puuverhous	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Paroc Cortex kivivillatuulensuoja	30 mm
Savetettu kutterinlastueriste	300 mm
Vaneri	15 mm



Rakennetyyppi E6\_P

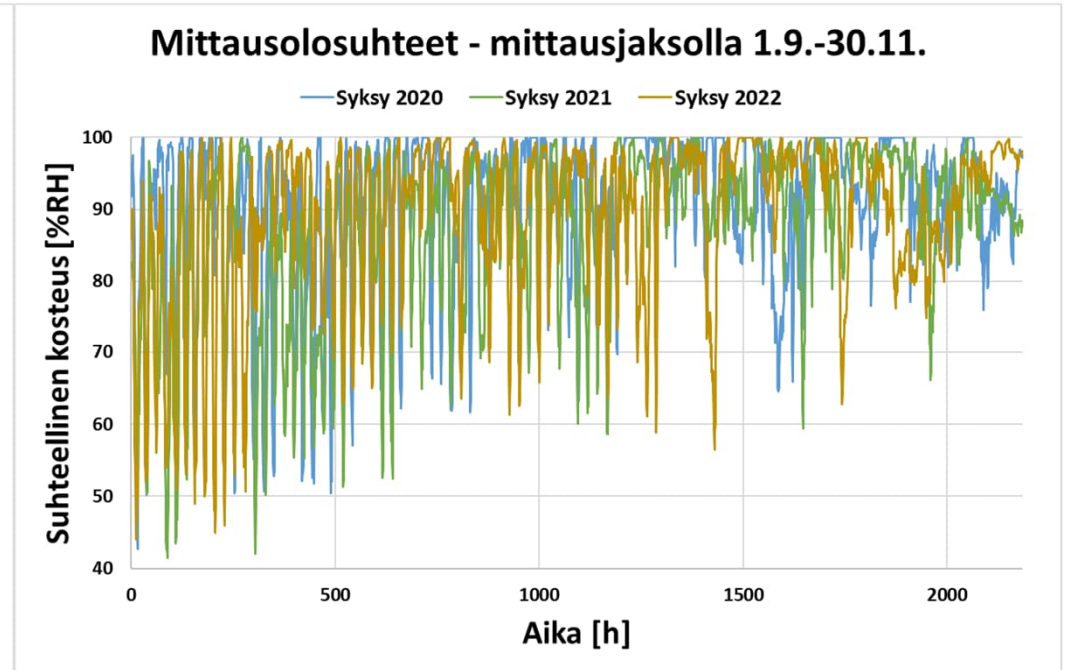
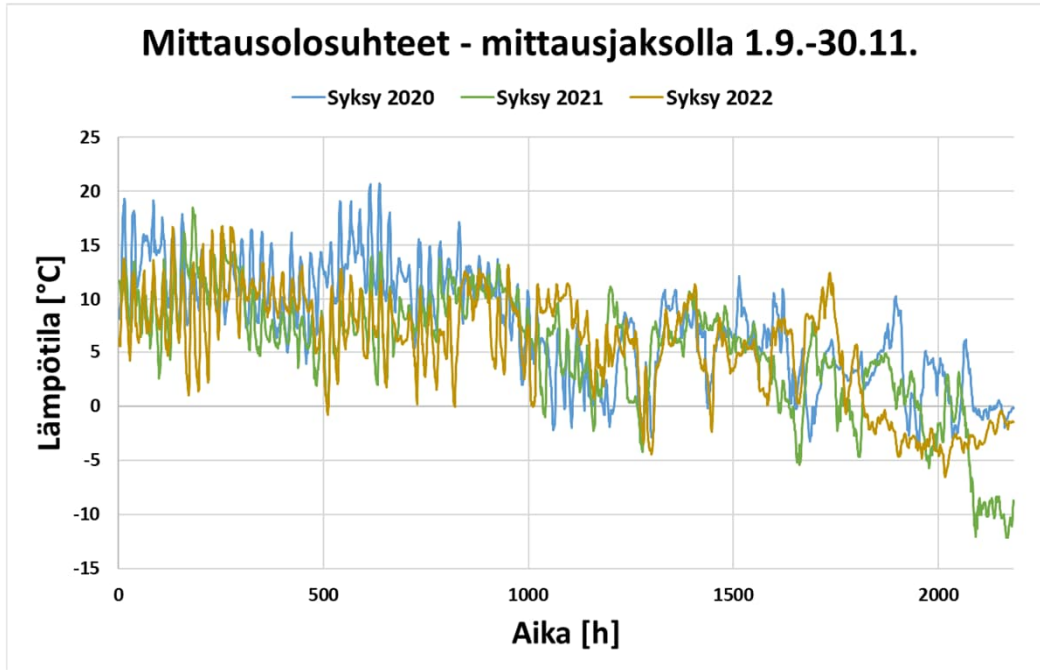
Puuverhous	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Hunton puukuitutuulensuoja	25 mm
Kivivillaeriste	200 mm
Vaneri	15 mm



Rakennetyyppi E6\_V

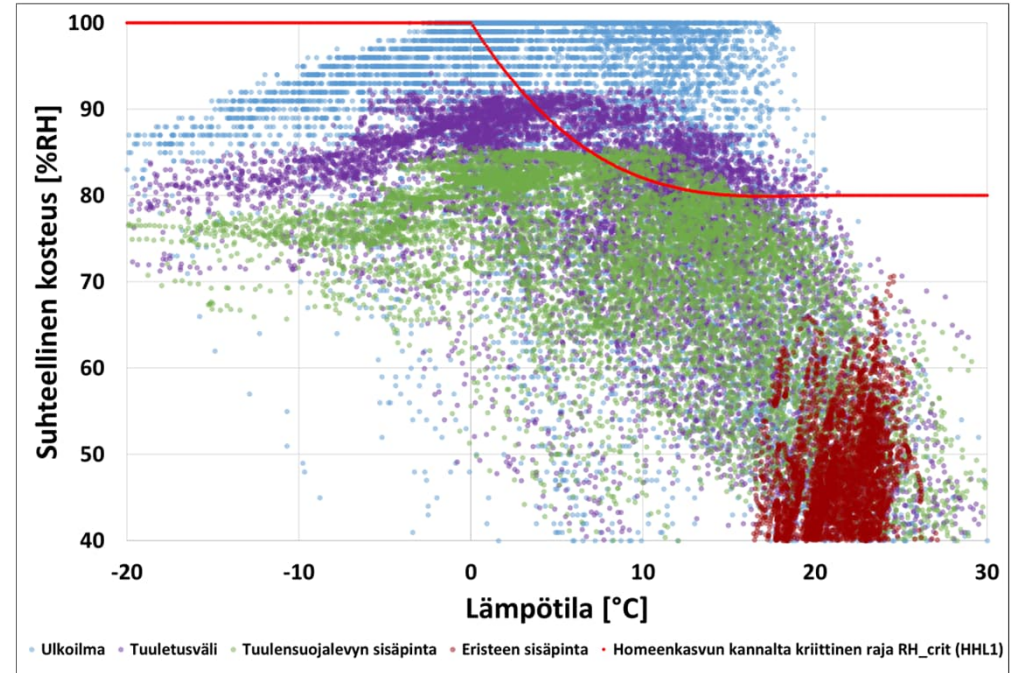
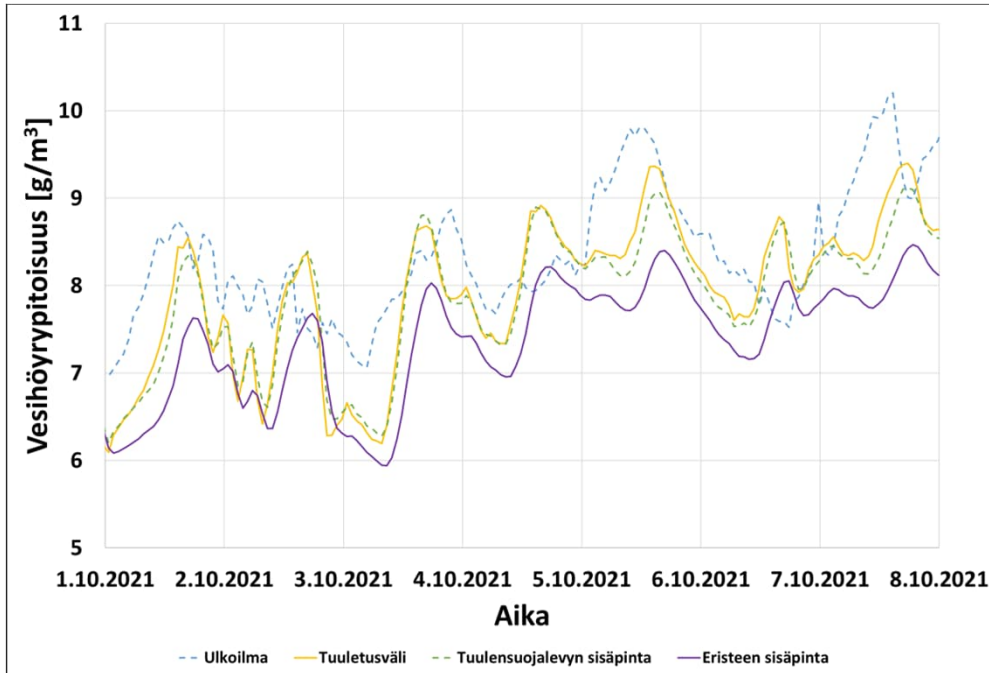
Puuverhous	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Paroc Cortex kivivillatuulensuoja	30 mm
Kivivillaeriste	200 mm
Vaneri	15 mm

# Mittausjaksot



Syksy on rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta mielenkiintoisinta aikaa. Tarkasteltavaksi on otettu kolmen eri vuoden syksyiltä syys-, loka- ja marraskuu. ECOSAFE2-projektin uudemmat koe-elementit ovat olleet mittauksessa vain viimeisimmän syksy 2022.

# Rajapintojen kosteusolosuhteet



Tarkastelupisteen valinta: Homeenkasvun kannalta kriittisin rajapinta on tuulensuojalevyn sisäpinta, joka on eristekerrosta vasten. Runkotolpat johtava lämpöä sisältä, joten tarkasteluun otettiin eristeen kohdalta tehdyt mittaukset. Tarkastelut painotettiin pohjoispuolen elementeille, joiden olosuhteet olivat haastavimmat.

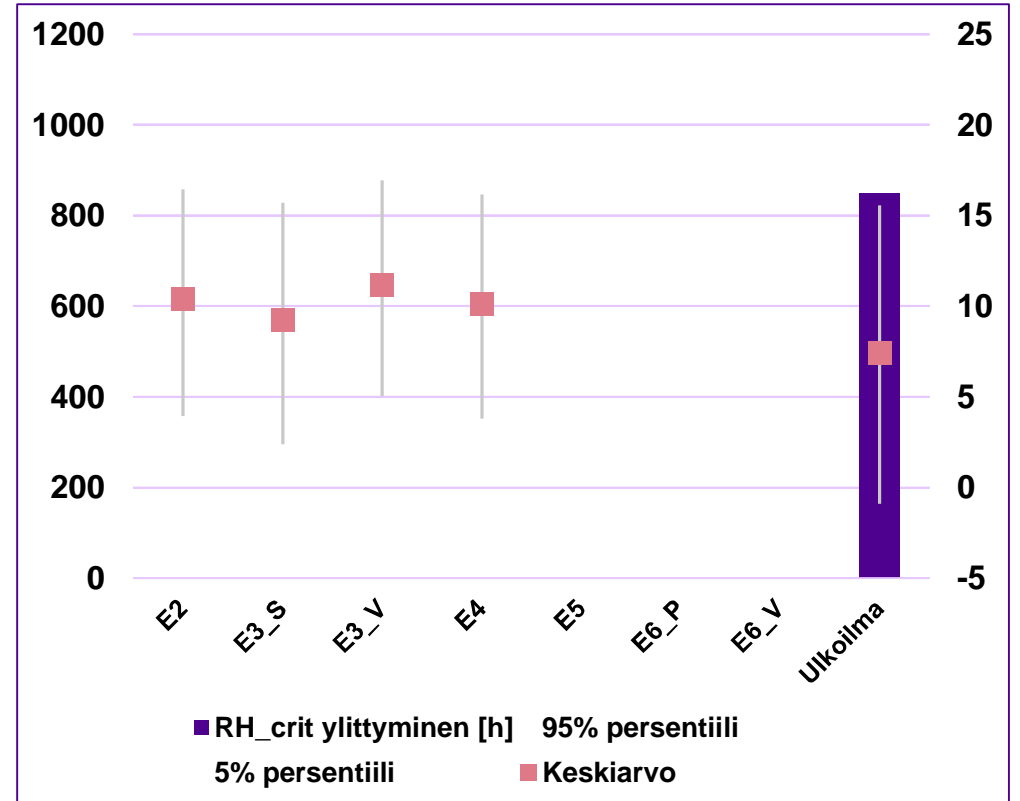
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – lämpötila

## Lämpötila – syksy 2020

- Viereisessä taulukossa on esitetty rakenteiden mittaustulokset jaksolta 1.9.2020–30.11.2020.
- Tuulensuojalevyn eristävyysvaikutukset tulevat hyvin esille vierisessä kuvassa.

### Keskiarvot:

Ulkoilma	7,4
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	10,4
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	9,3
E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	11,2
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	10,1
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	
E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	





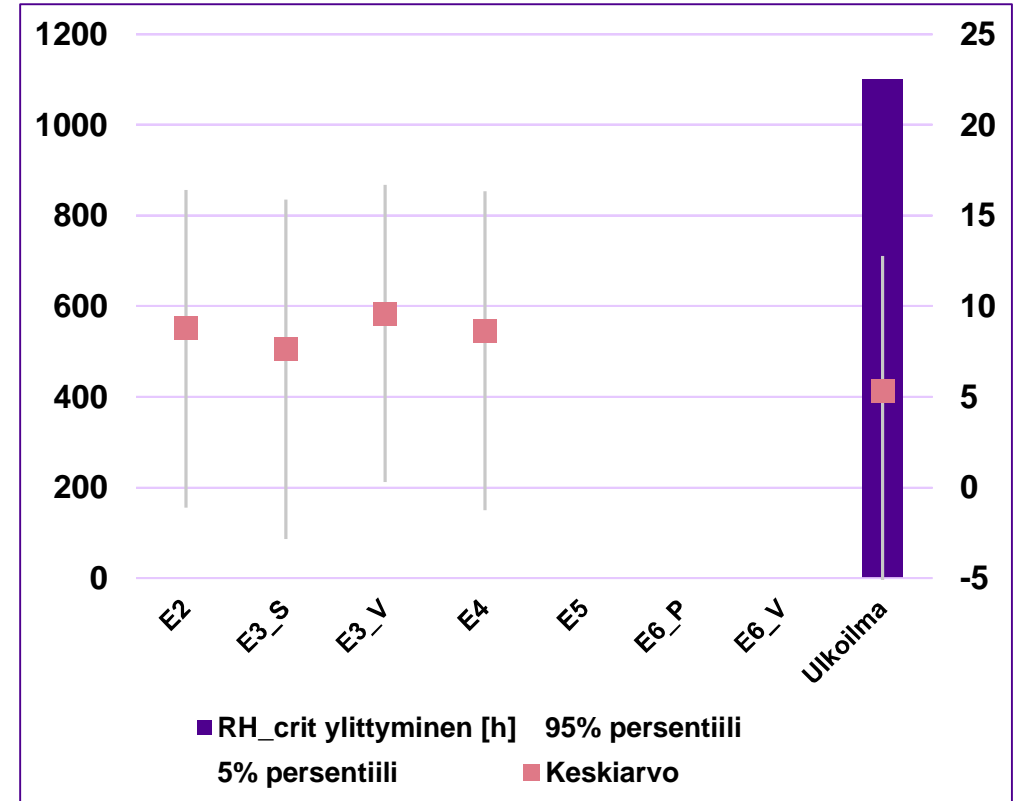
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – lämpötila

## Lämpötila – syksy 2021

- Viereisessä taulukossa on esitetty rakenteiden mittaustulokset jaksolta 1.9.2021–30.11.2021.
- Tuulensuojalevyn parempi eristävyys ilmenee korkeampana lämpötilana tuulensuojalevyn sisäpinnassa. Korkeampi lämpötila laskee suhteellista kosteutta.

### Keskiarvot:

Ulkoilma	5,3
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	8,8
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	7,7
E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	9,6
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	8,7
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	
E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	



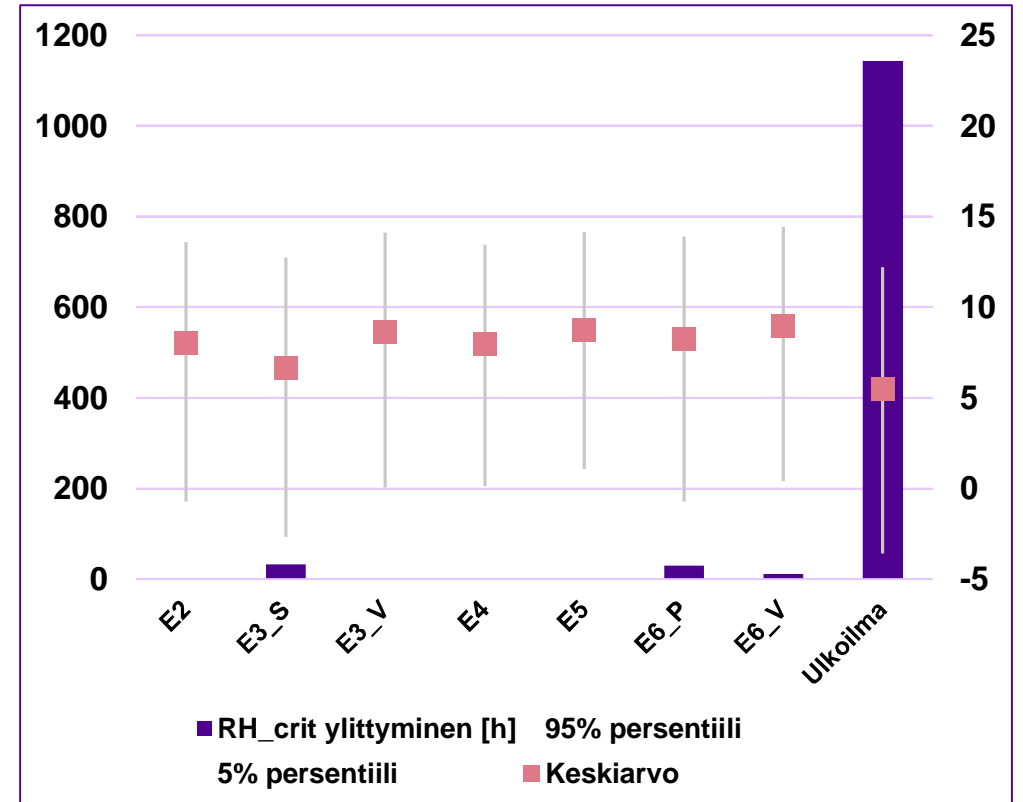
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – lämpötila

## Lämpötila – syksy 2022

- Viereisessä taulukossa on esitetty rakenteiden mittaustulokset jaksolta 1.9.2022–30.11.2022.
- ECOSAFE2-projektin uusien koerakenteiden tulokset ovat tuulensuojalevyjen perusteella hyvin linjassa aiempien tulosten kanssa.

### Keskiarvot:

Ulkoilma	5,5
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	8,0
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	6,6
E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	8,6
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	8,0
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	8,7
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	8,2
E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	8,9



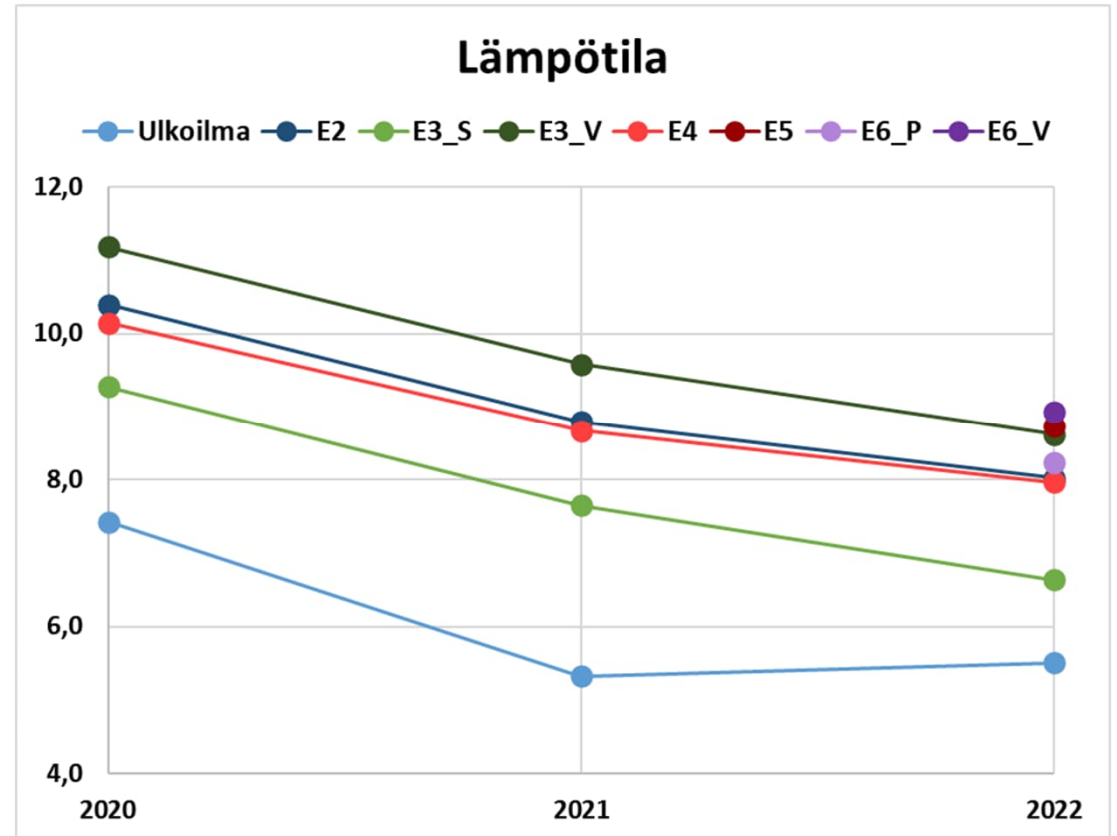
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – lämpötila

## Lämpötila

- Viereisellä kuvaajalla esitetty aiemmat tulokset nivottuna yhteen.
- Tuulensuojalevyn sisäpinnassa korkeampi lämpötila on yleensä parempi. Lämpötilan lasku näkyy kasvuna ilman suhteellisessa kosteudessa.

Keskiarvot 2022 järjestyksessä:

E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	8,9
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	8,7
E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	8,6
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	8,2
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	8,0
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	8,0
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	6,6
Ulkoilma	5,5



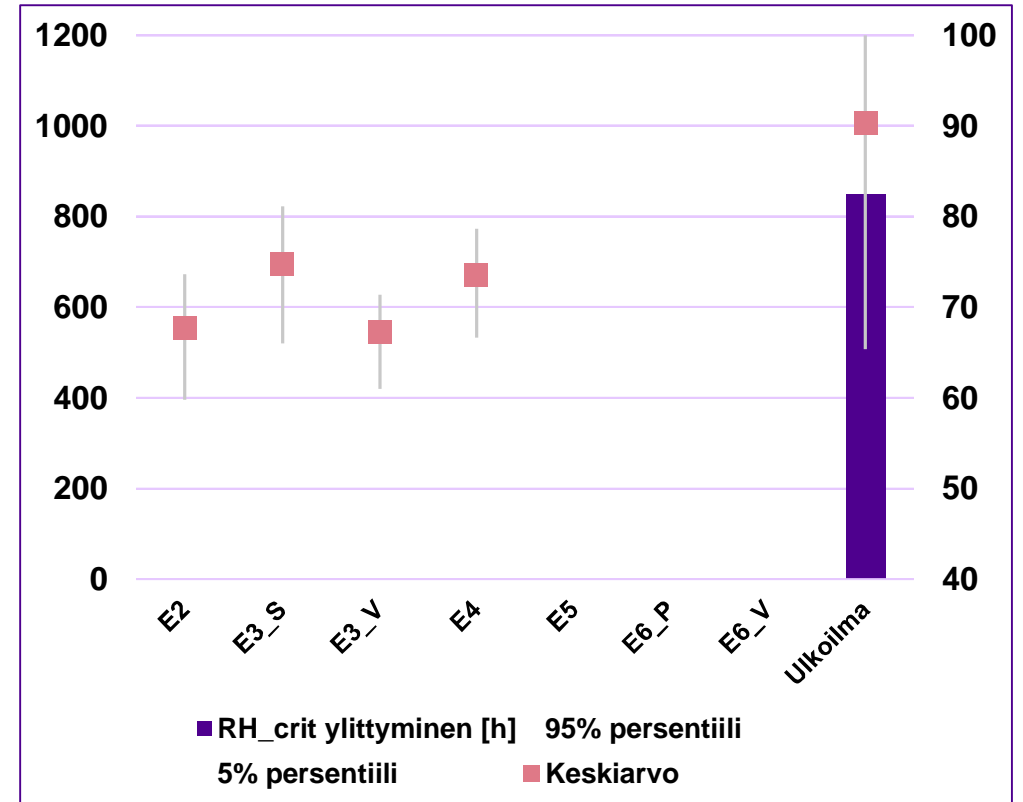
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – suhteellinen kosteus

## Suhteellinen kosteus – syksy 2020

- Viereisessä taulukossa on esitetty rakenteiden mittaustulokset jaksolta 1.9.2020–30.11.2020.
- Aiemmat huonosti lämpöä eristäväksi havaitun savituulensuojalevyn sisäpinnan suhteellinen kosteus on nyt korkein.

### Keskiarvot:

Ulkoilma	90,3
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	67,7
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	74,8
E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	67,3
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	73,5
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	
E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	



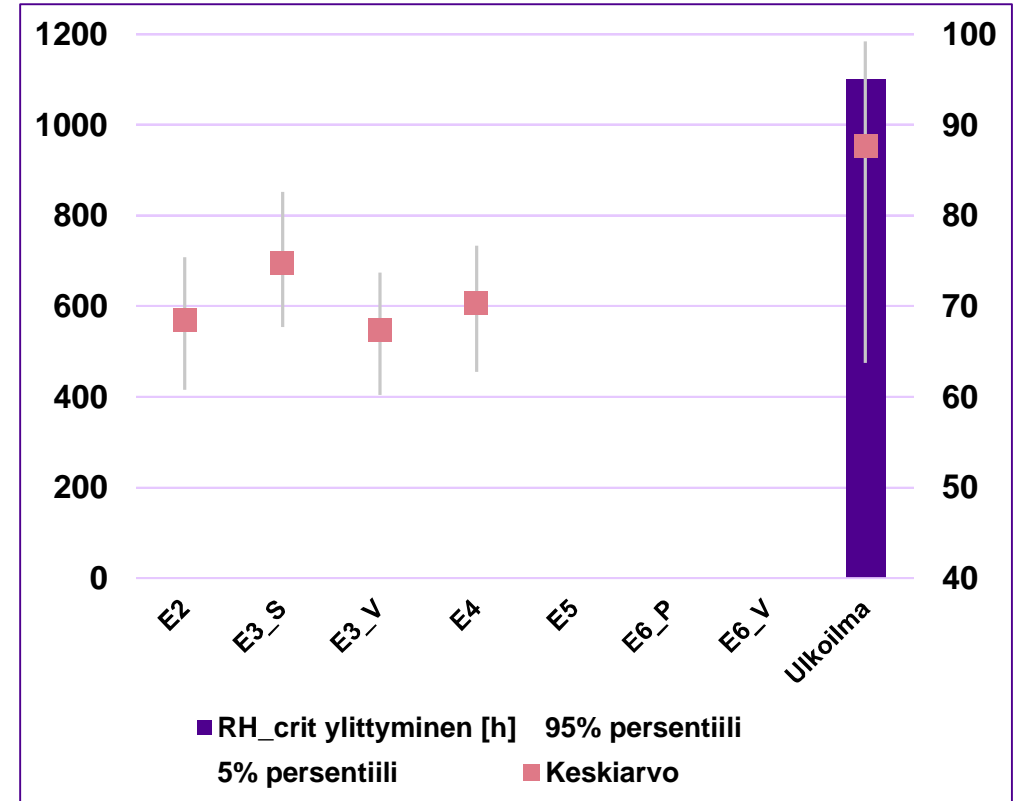
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – suhteellinen kosteus

## Suhteellinen kosteus – syksy 2021

- Viereisessä taulukossa on esitetty rakenteiden mittaustulokset jaksolta 1.9.2021–30.11.2021.
- Savetetun kutterinlastueristeen kanssa puukuitutuulensuoja sisäpinnan suhteellinen kosteus on selvästi matalampi kuin tavallisen kutterinlastueristeen kanssa. (Lämpötilat likimain samoja)

### Keskiarvot:

Ulkoilma	87,7
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	68,5
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	74,8
E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	67,4
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	70,4
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	
E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	



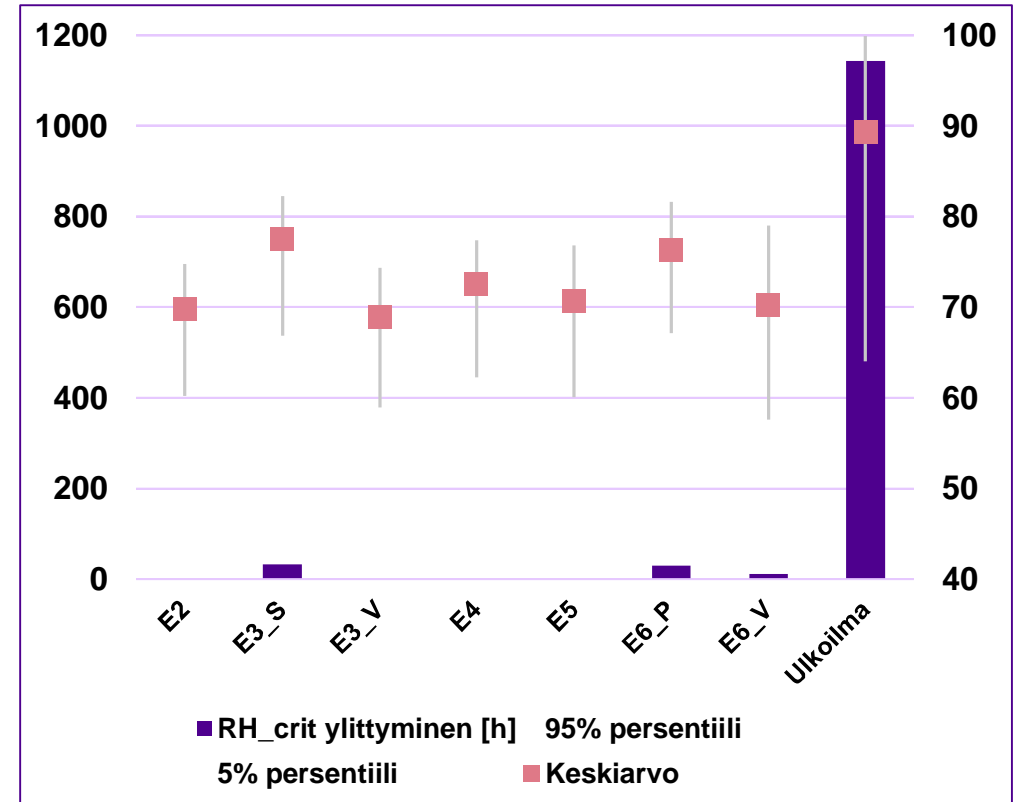
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – suhteellinen kosteus

## Suhteellinen kosteus – syksy 2022

- Viereisessä taulukossa on esitetty rakenteiden mittaustulokset jaksolta 1.9.2022–30.11.2022.
- ECOSAFE2-projektin uusista koerakenteista ns. parhaaksi yhdistelmäksi valittu E5 ei ole odotetusti selkeä parannus edellisiin.

### Keskiarvot:

Ulkoilma	89,4
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	69,8
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	77,5
E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	68,9
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	72,6
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	70,6
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	76,3
E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	70,3



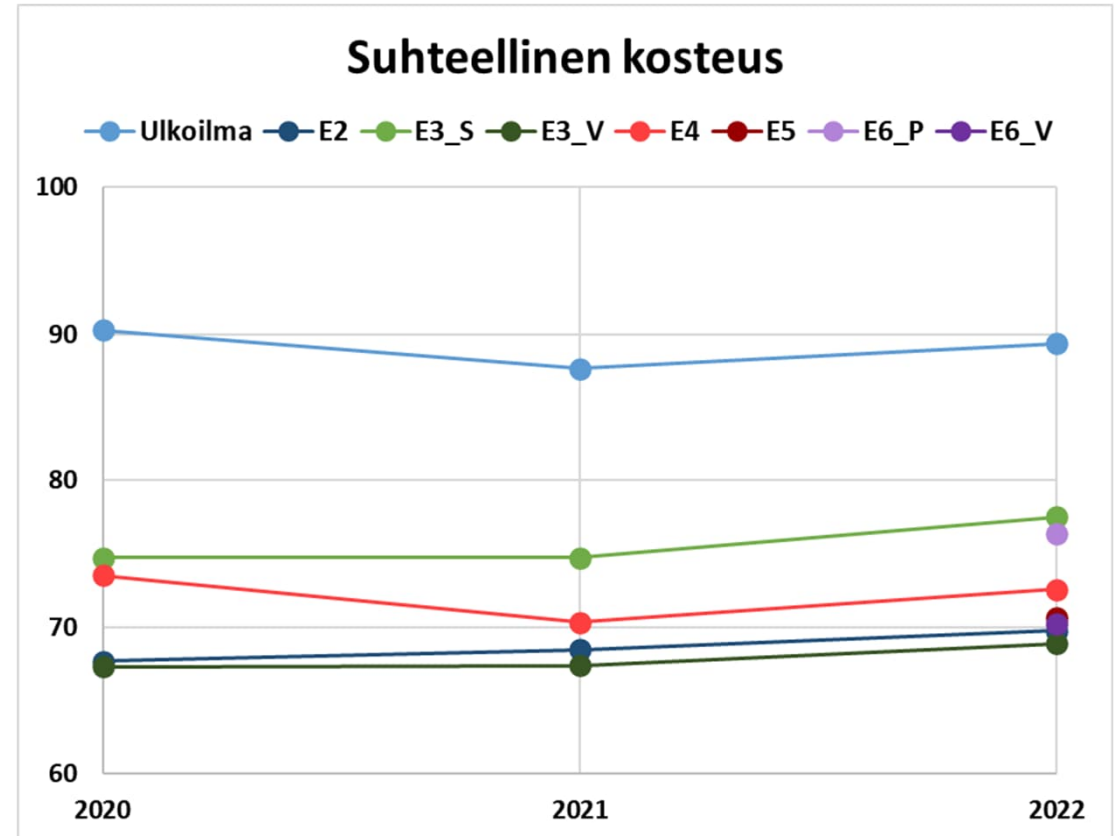
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – suhteellinen kosteus

## Suhteellinen kosteus

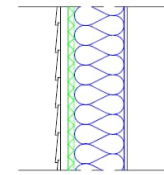
- Viereisellä kuvaajalla esitetty aiemmat tulokset nivottuna yhteen.
- Verrokkirakenteeksi tuotu kivivillaeristeinen rakenne vaikuttaisi reagoivan voimakkaasi tuulensuojalevyn sisäpinnan lämpötilaan. (Rakenteella on verrattain pieni kosteuskapasiteetti)

Keskiarvot 2022 järjestyksessä:

E3_V: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	68,9
E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste	69,8
E6_V: kivivillatuulensuoja, kivivillaeriste	70,3
E5: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste	70,6
E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste	72,6
E6_P: puukuitutuulensuoja, kivivillaeriste	76,3
E3_S: savituulensuoja, kutterinlastueriste	77,5
Ulkoilma	89,4



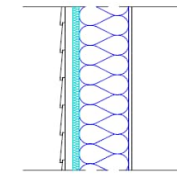
# Tuulensuojalevyn sisäpinta – suhteellinen kosteus



Rakennetyyppi E6\_P

Puuverhous  
Tuuletusväli  
Hunton puukuitutuulensuoja  
Kivivillaeriste  
Vaneri

22 mm  
30 mm  
25 mm  
200 mm  
15 mm

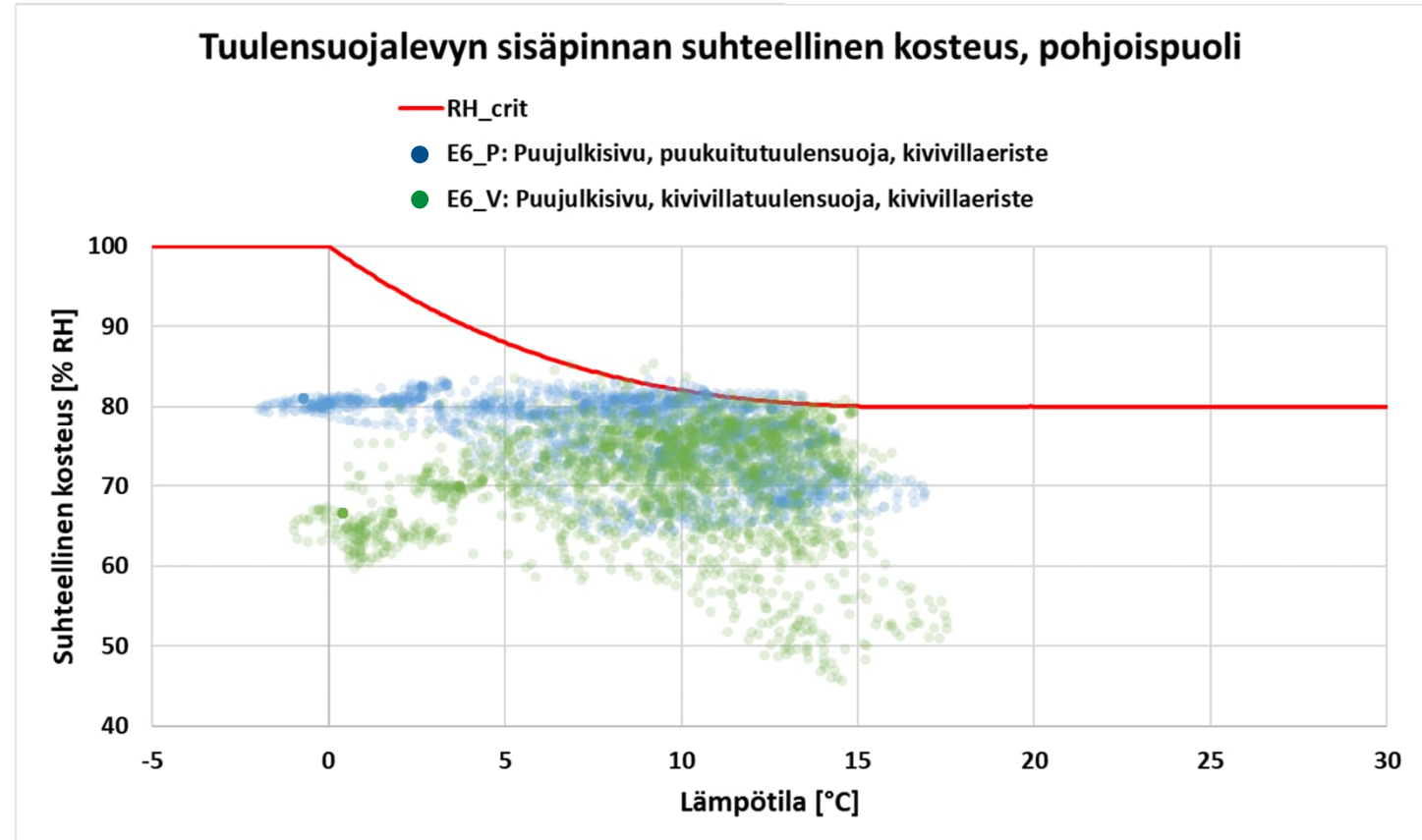


Rakennetyyppi E6\_V

Puuverhous  
Tuuletusväli  
Paroc Cortex kivivillatuulensuoja  
Kivivillaeriste  
Vaneri

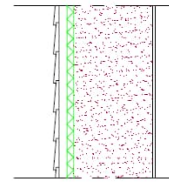
22 mm  
30 mm  
30 mm  
200 mm  
15 mm

- Viereisellä pistepilvikuvaajalla on havainnollistettu puukuitu- ja kivivillatuulensuojalevyjen eroa.
- Puukuitutuulensuojan kanssa nähdään, että korkeampia n. 80 %RH kosteuksia esiintyy selvästi enemmän.



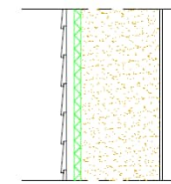


# Tuulensuojalevyn sisäpinta – suhteellinen kosteus



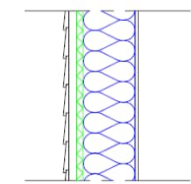
Rakennetyyppi E2

Puuverhous  
22 mm  
Tuuletusväli  
30 mm  
Hunton puukuitutuulensuoja  
25 mm  
Savetettu kutterinlastueriste  
300 mm  
Vaneri  
15 mm



Rakennetyyppi E4

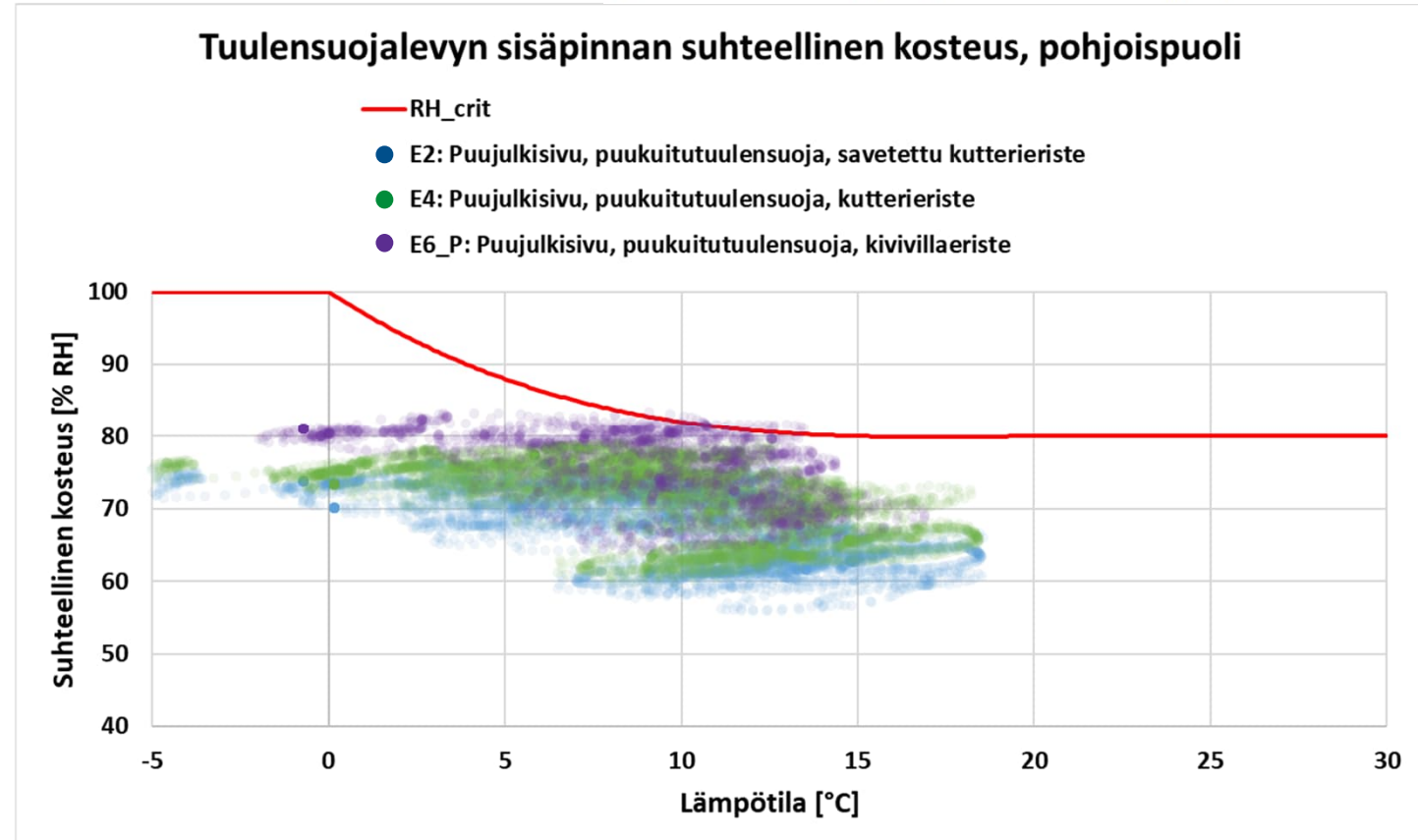
Puuverhous  
22 mm  
Tuuletusväli  
30 mm  
Hunton puukuitutuulensuoja  
25 mm  
Kutterinlastueristys  
300 mm  
Vaneri  
15 mm



Rakennetyyppi E6\_P

Puuverhous  
22 mm  
Tuuletusväli  
30 mm  
Hunton puukuitutuulensuoja  
25 mm  
Kivivillaeriste  
200 mm  
Vaneri  
15 mm

- Viereisellä pistepilvikuvaajalla on havainnollistettu kivivilla-, kutterinlastu- ja savetetun kutterinlastueristeen eroja.
- Tuulensuojalevyn sisäpinnan suhteellinen kosteus korreloi eristeen kosteuskapasiteetin kanssa. Suurempi kosteuskapasiteetti (tiheys) vaikuttaisi keksimäärin alentavan mitattua suhteellista kosteutta.



# Yhteenvedo tuloksista

## Aiemmat havainnot:

Rakenteet listattuna tuulensuojalevyn sisäpinnan suhteellisen kosteuden mukaan parhaasta huonoimpaan:

1. E3\_villa: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste
2. E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste
3. E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste
4. E3\_savi: savituulensuoja, kutterinlastueriste

Rakenteet listattuna tuulensuojalevyn sisäpinnan lämpötilan mukaan parhaasta huonoimpaan:

1. E3\_villa: kivivillatuulensuoja, kutterinlastueriste
2. E2: puukuitutuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste
3. E4: puukuitutuulensuoja, kutterinlastueriste
4. E3\_savi: savituulensuoja, kutterinlastueriste.

## Syksyn 2022 havainnot:

- Puupohjaiset eristeet tasaavat kosteuden vaihtelua odotetusti. Rakenne ei ole yhtä herkkä reagoimaan kosteuden- tai lämpötilan muutoksiin.
- Kivivillaeristeen kanssa (pieni kosteuskapasiteetti) tuulensuojalevyn sisäpinnan lämpötilalla on voimakas vaikutus samaisen rajapinnan suhteelliseen kosteuteen.
- Kun rakenteella on pieni kosteuskapasiteetti, korostuu tuulensuojakerroksen eristyskyky. Korkeampi lämpötila tuulensuoja sisäpinnassa pitää suhteellisen kosteuden matalampana.
- Korkea kosteuskapasiteetti puolestaan vaikuttaisi alentavan tuulensuojalevyn sisäpinnasta mitattua suhteellista kosteutta.
- Ns. parhaana yhdistelmänä otetun rakenteen E6 (kivivillatuulensuoja, savetettu kutterinlastueriste) suoriutuminen on yhtä hyvällä tasolla kuin alkuperäisten koerakenteiden kanssa kyseisten materiaalien kanssa. Suoriutumisen oletettiin kuitenkin olevan entistä parempaa, mutta tähän ei kuitenkaan päästy.

**Kiitos!**