Sõpruse pst 244 krohvitud soojustuse niiskustehniline analüüs

Simo Ilomets

Tallinna Tehnikaülikool

03.05.2016 Teadmistepõhine ehitus

European Union
European Social Fund

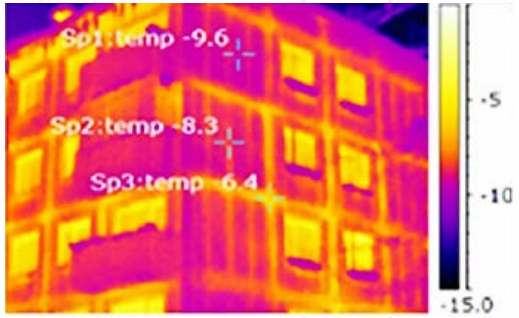
Investing in your future

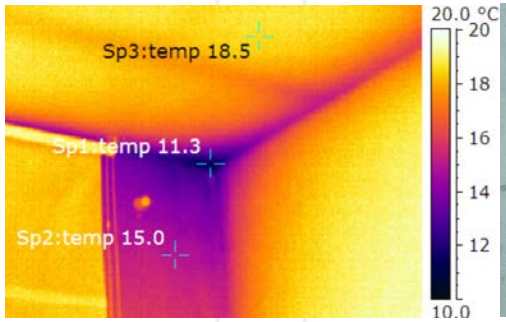
Ettekande sisu

- Teema aktuaalsus
- Uuringu eesmärgid
- Meetodid
- Tulemused, s.h. arvutusmudeli valideerimine
- Kokkuvõte ja järeldused

Teema aktuaalsus

- R/b suurpaneelelamute välisseinte soojusläbivus ~1 W/(m^{2}K)
  - Suured soojuskaod -> suured küttearved
  - Tarindi sisepinna temperatuur 3(5) °C madalam siseõhu temperatuurist -> madal soojuslik mugavus
- Liitekohtades lubamatud külmasillad
  - Täiendav külmasilla joonsoojusläbivus (ψ)
  - Veelgi madalam sisepinna temperatuur põhjustab kõrgema suhtelise niiskuse sisepinnal (f_{Rsi}) -> hallituse, kondensaadi oht
- Väliskooriku karboniseerumine ja terase korrosioon





http://kredex.ee/energiatohususest/energiatohusus/uuringud/

Teema aktuaalsus

- Krohvitud soojustus (SILS) on enimkasutatav fassaadi soojustamise lahendus soodsa hinna tõttu
  - Krohvisüsteemi valik ja projekteerimine
  - Korrektne ehitustööde teostamine
  - Soojus- ja niiskustehniline toimivus, s.h. välja kuivamine
  - Krohvisüsteemi püsivus külmas kliimas
- Kas koos lisasoojustamisega tuleks vahetada ka aknad ja/või tõsta need lisasoojustuse tasapinda?

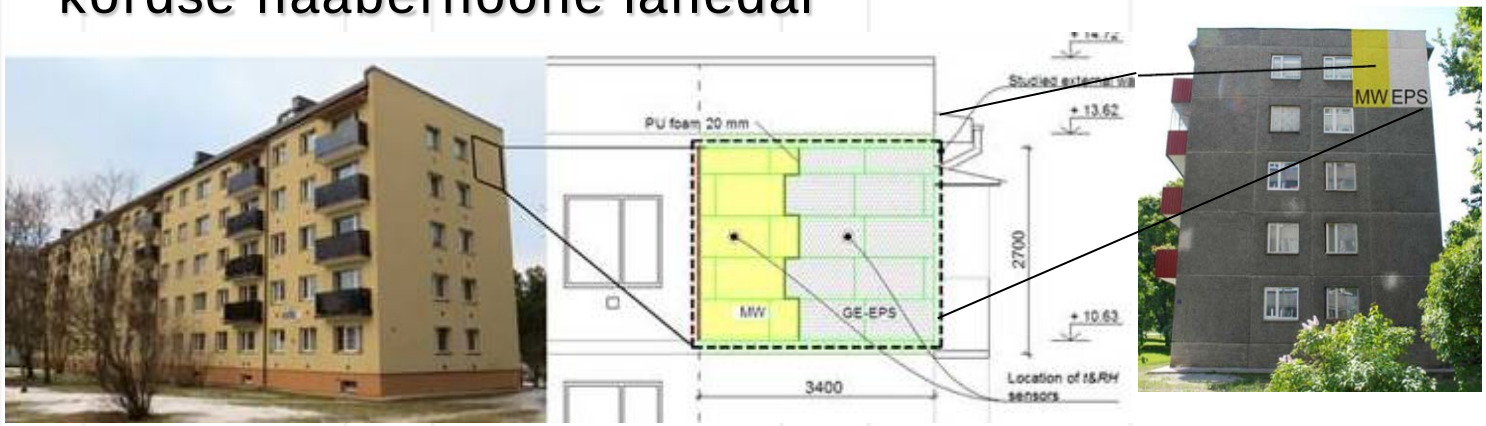
http://kredex.ee/energiatohususest/energiatohusus/uuringud/

Uuringu eesmärgid

- Uurida katseliselt SILS-i soojus- ja niiskustehnilist toimivust enimkasutatavate soojustusmaterjalidega
- Võrrelda tarindi toimivust kahe erineva soojustusmaterjali – mineraalvill ja vahtpolüstüreen, korral
- Selgitada pärast lisasoojustamist väljakuivava niiskuse mõju
- Valideerida arvutusmudel

Meetodid – analüüsitud välissein

- Tüüpne kolmekihiline r/b suurpaneelelamu välissein soojustatud mineraalvilla/vahtpolüstüreeniga
- Ilmakaarte suhtes suunatud kirde/ida suunas 9-kordse naaberhoone lähedal

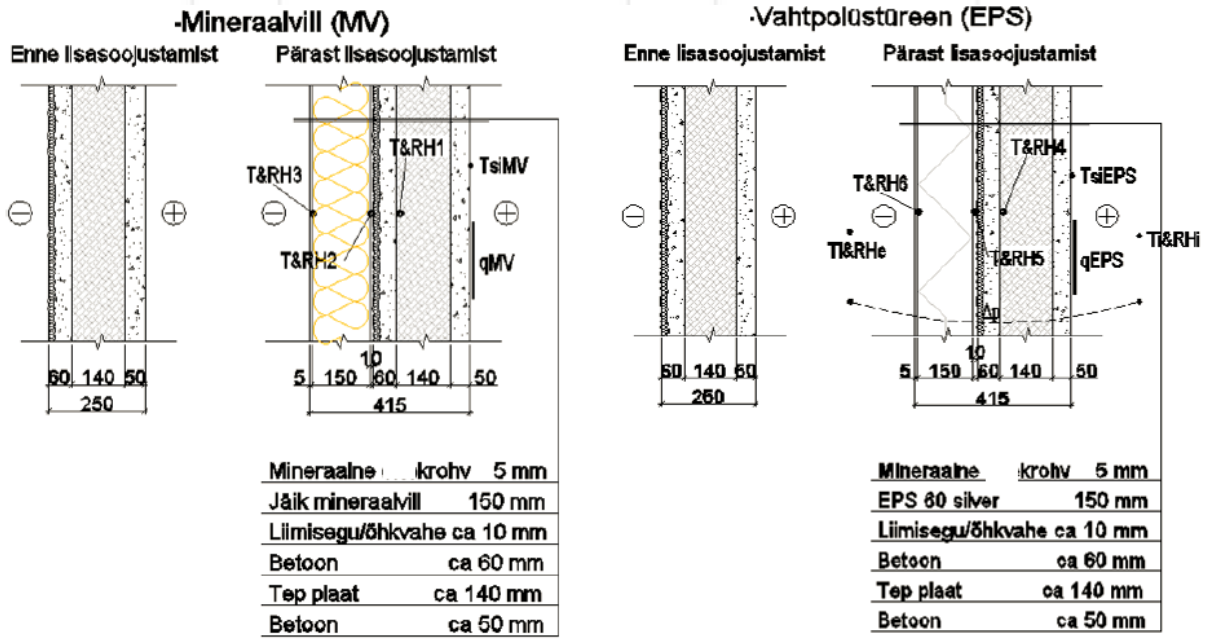


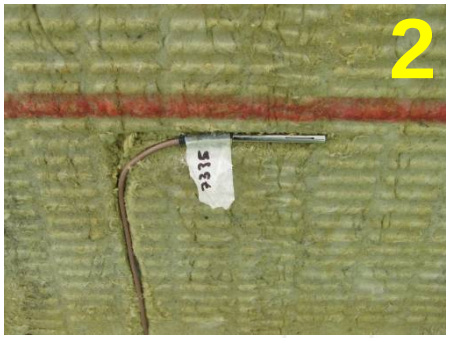
- Kaldvihma koormus vähene
- Niiskuslisa

Δv 2...3 g/m^3

Meetodid – analüüsitud välissein

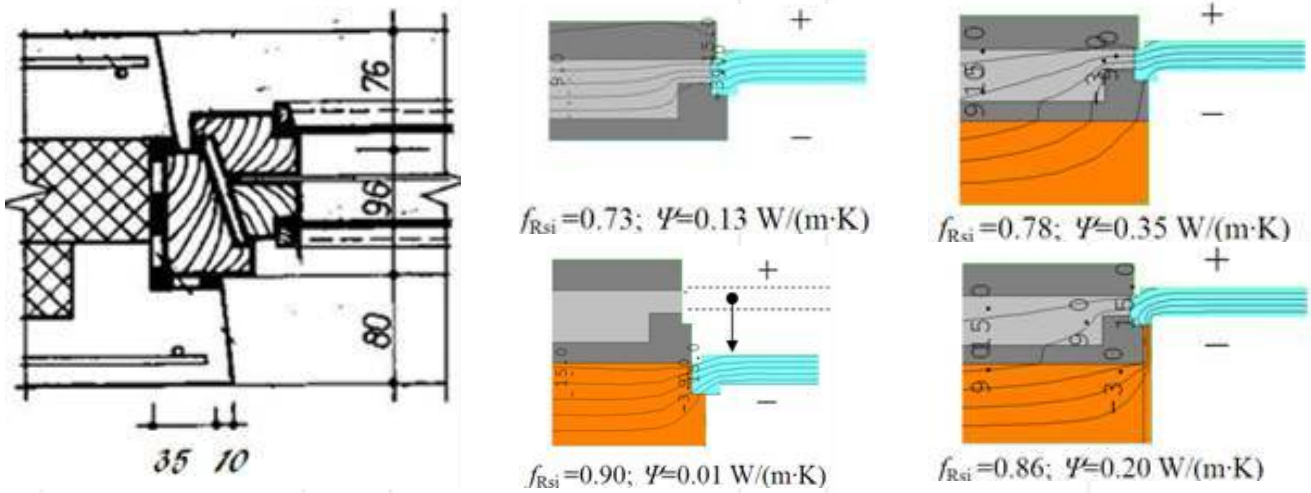
- Kolmel sügavusel temperatuur ja suhteline niiskus seinas, soojusvoog läbi seina, õhurõhkude erinevus üle seina, ääretingimused





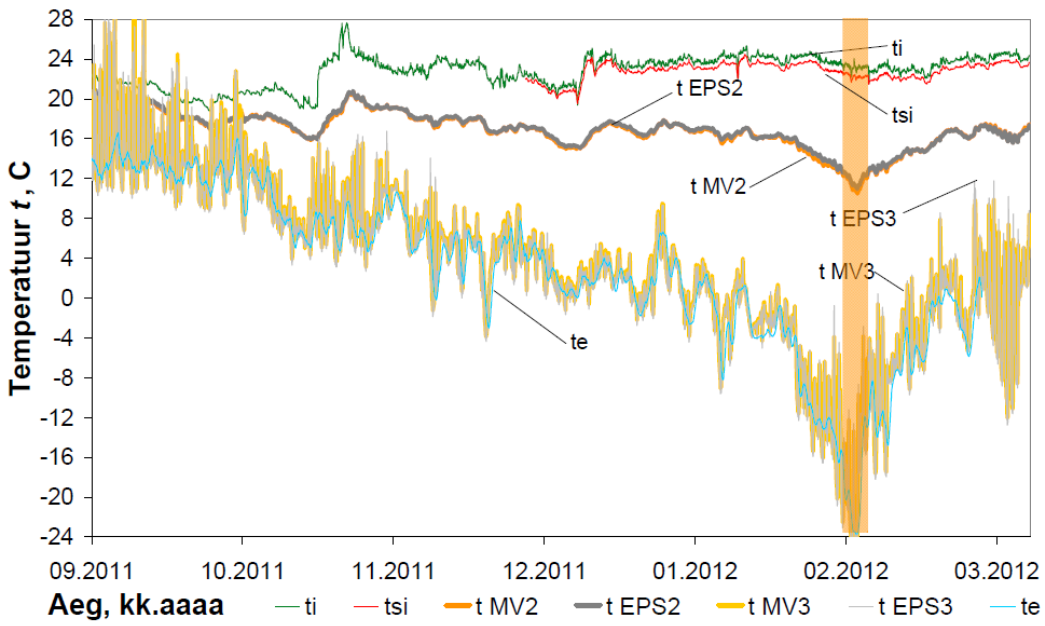
Tulemused – soojuslik toimivus

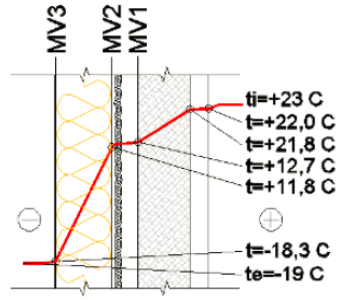
- Aknapale soojustamine praktikas ebaõnnestus

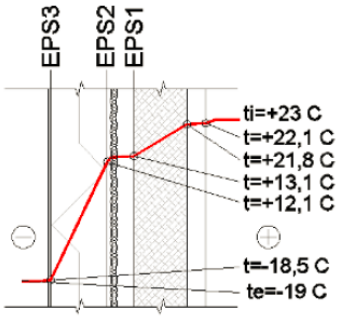


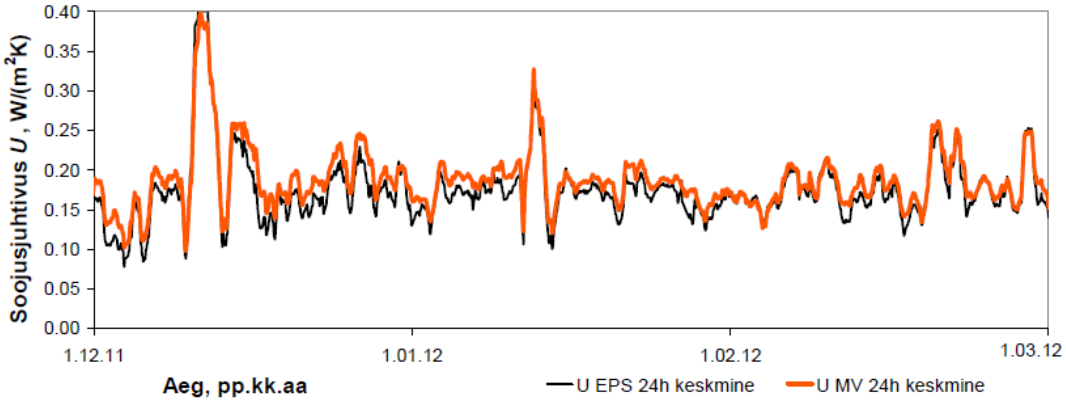
- Välisseina redutseeritud soojusläbivus (tulenevalt välissein/aken liitekoha joonsoojusläbivusest U_c=0,56 W/(m²K) seina U_c=0,17 W/(m²K) asemel

Tulemused – soojuslik toimivus





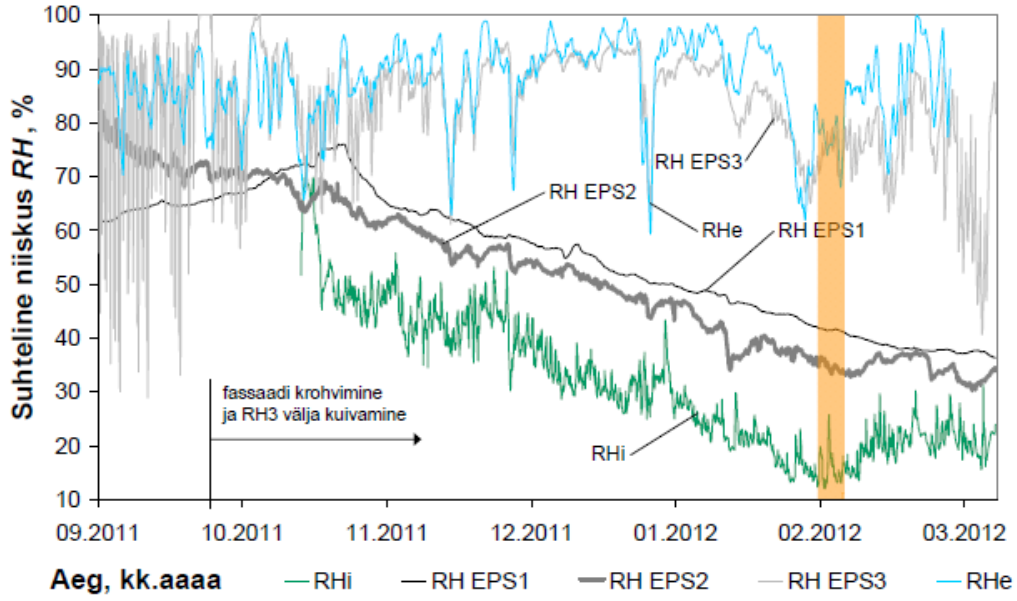


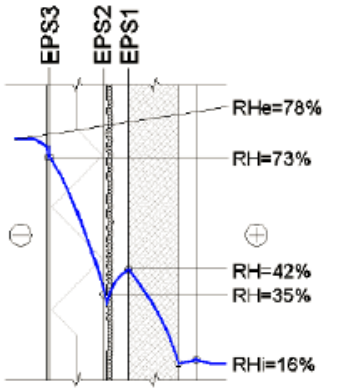


U_{EPS} ~ 0,17 W/(m²K)
U_{MV} ~ 0,19 W/(m²K)
Pinnatemperatuuri oluline tõus

Tulemused – niiskuslik toimivus

- Mõõtetulemused grafiiti sisaldava vahtpolüstüreeniga (EPS)

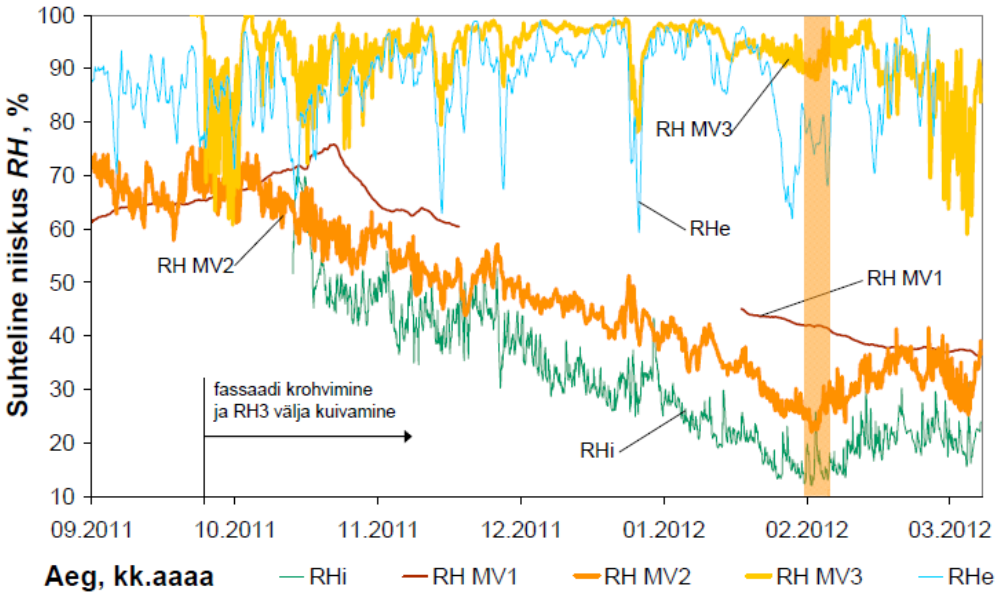


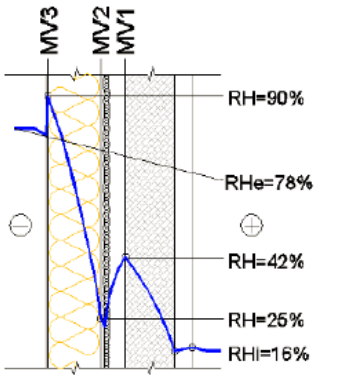


Suhtelise niiskuse jaotus perioodil 1.2.12-5.2.12

Tulemused – niiskuslik toimivus

- Mõõtetulemused koormusttaluva mineraalvillaga (MV)

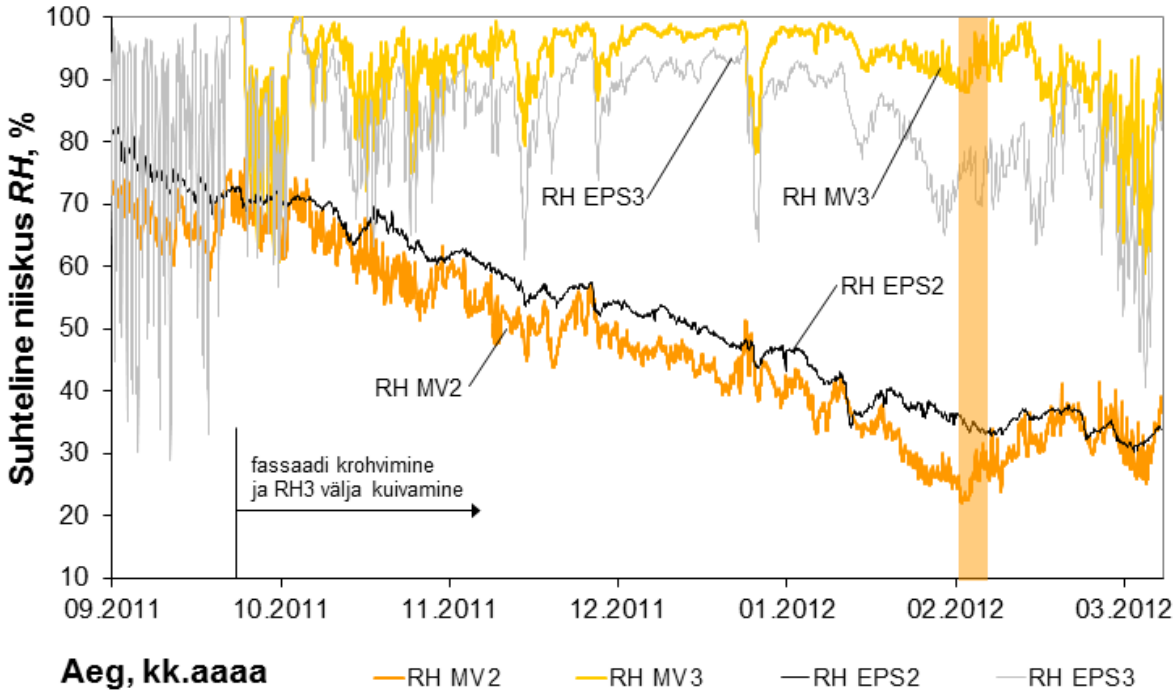


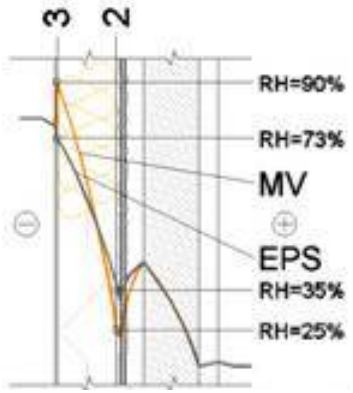


Suhtelise niiskuse jaotus perioodil 1.2.12-5.2.12

Tulemused – niiskuslik toimivus

- Vahtpolüstüreeni (EPS) ja mineraalvilla (MV) võrdlus

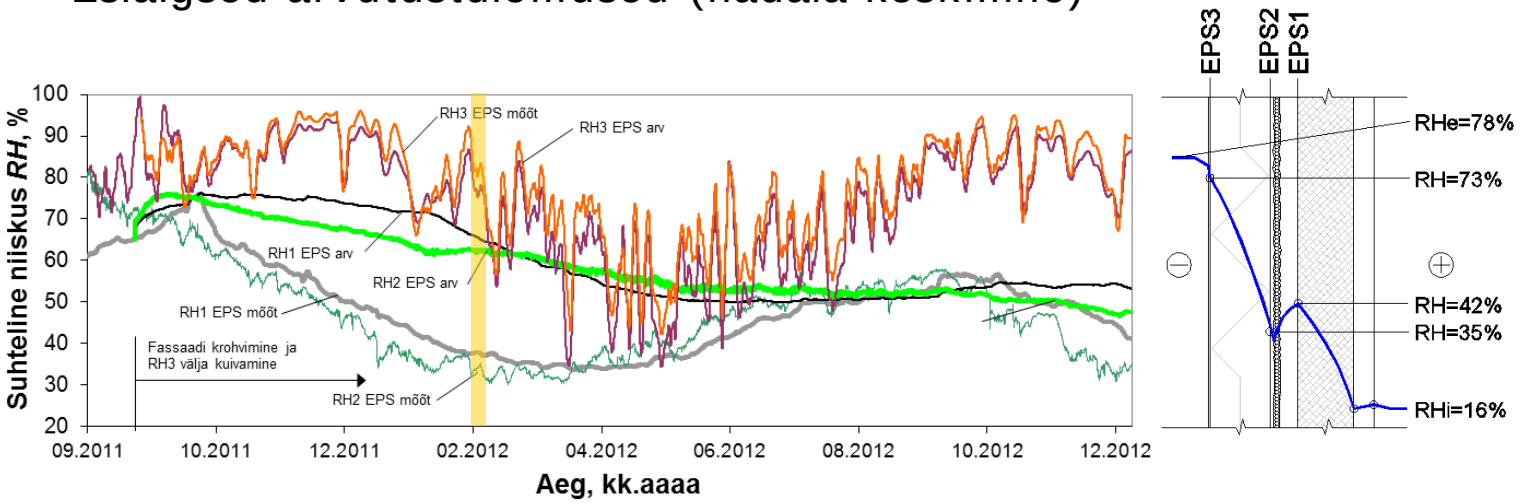




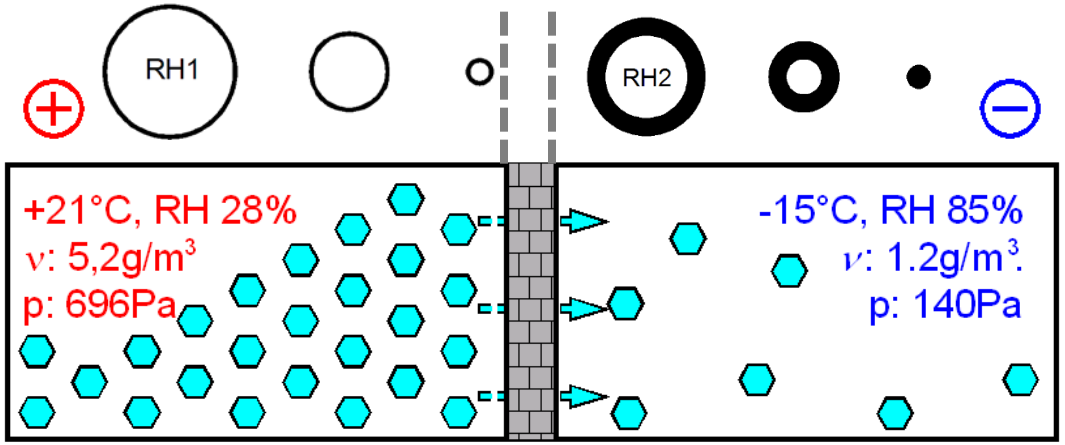
- Mineraalvilla (MV) puhul on RH3 kõrgem ja RH2 madalam
  - Kõrgem kondensaadi risk krohvi sisepinnal -> krohvisüsteemi valik
  - Suurem niiskusvoog difusiooni teel -> kiirem väljakuivamine
  - Sarnane väljakuivamine -> difusioon ei saanud olla domineeriv

Tulemused – niiskuslik toimivus

- Esialgsed arvutustulemused (nädala keskmine)

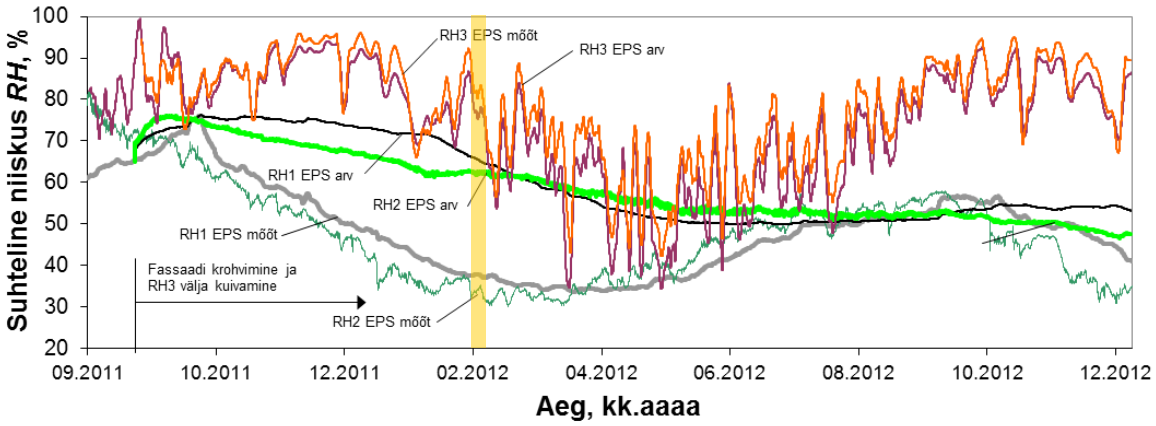


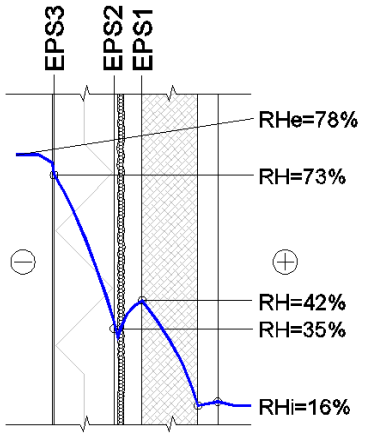
- Veeauru difusioon (μ, S_d, δ)



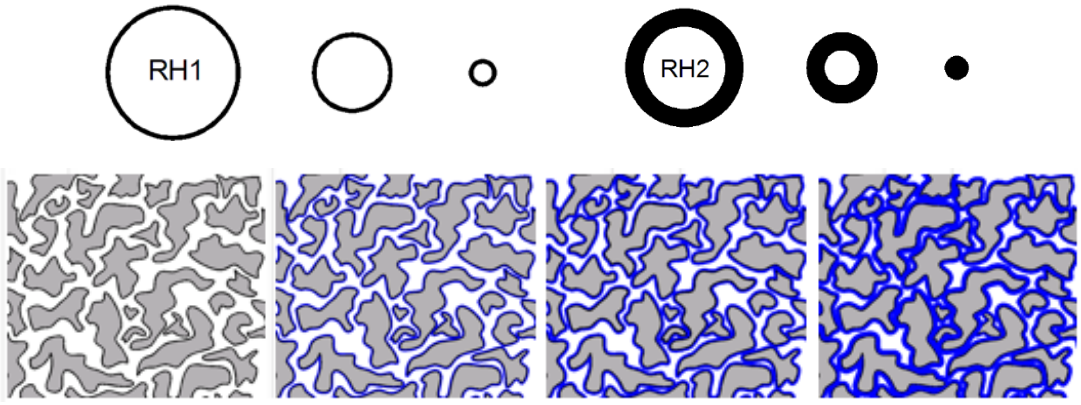
Tulemused – niiskuslik toimivus

- Esialgsed arvutustulemused (nädala keskmine)



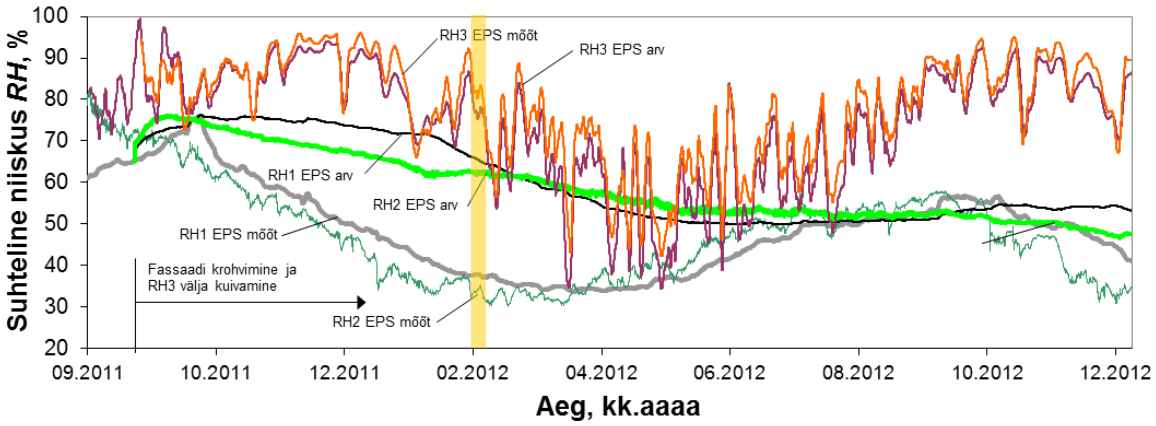


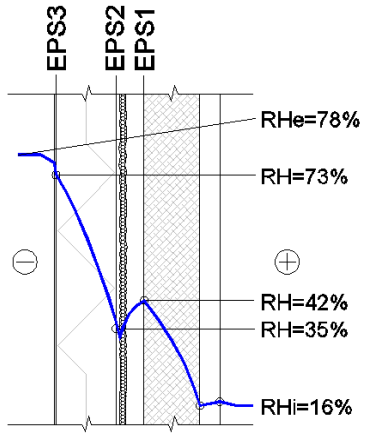
- Kapillaarne niiskuslevi (k_l)



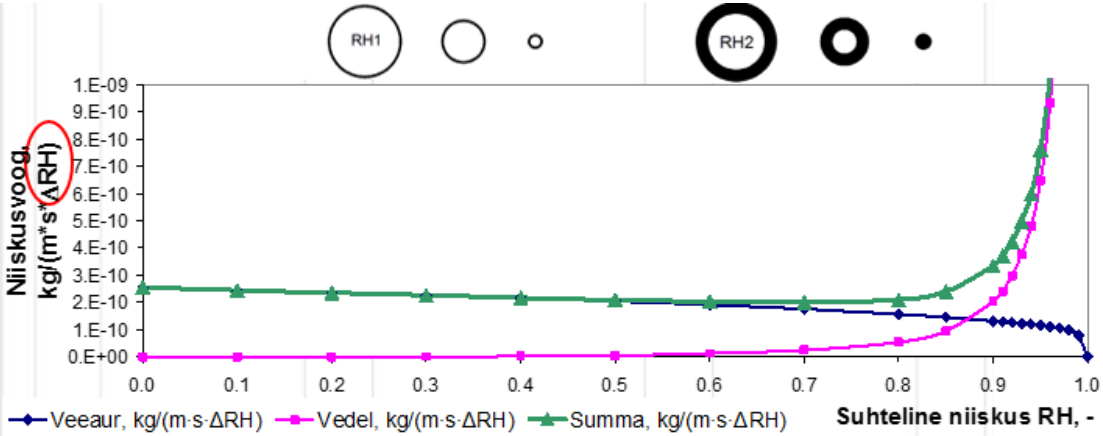
Tulemused – niiskuslik toimivus

- Esialgsed arvutustulemused (nädala keskmine)





- Difusioon + kapillaarne niiskuslevi

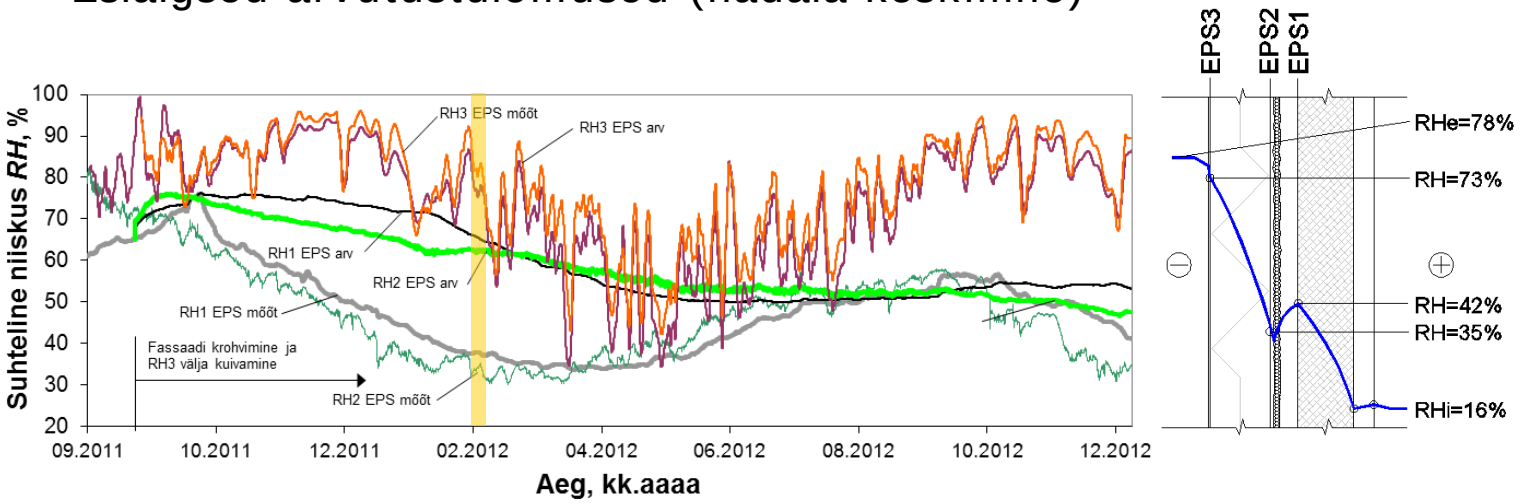


$$g_{veeaur} = \delta_p \cdot \nabla p \left[\frac{kg}{m \cdot s \cdot Pa} \cdot \frac{1}{m} Pa \right]$$

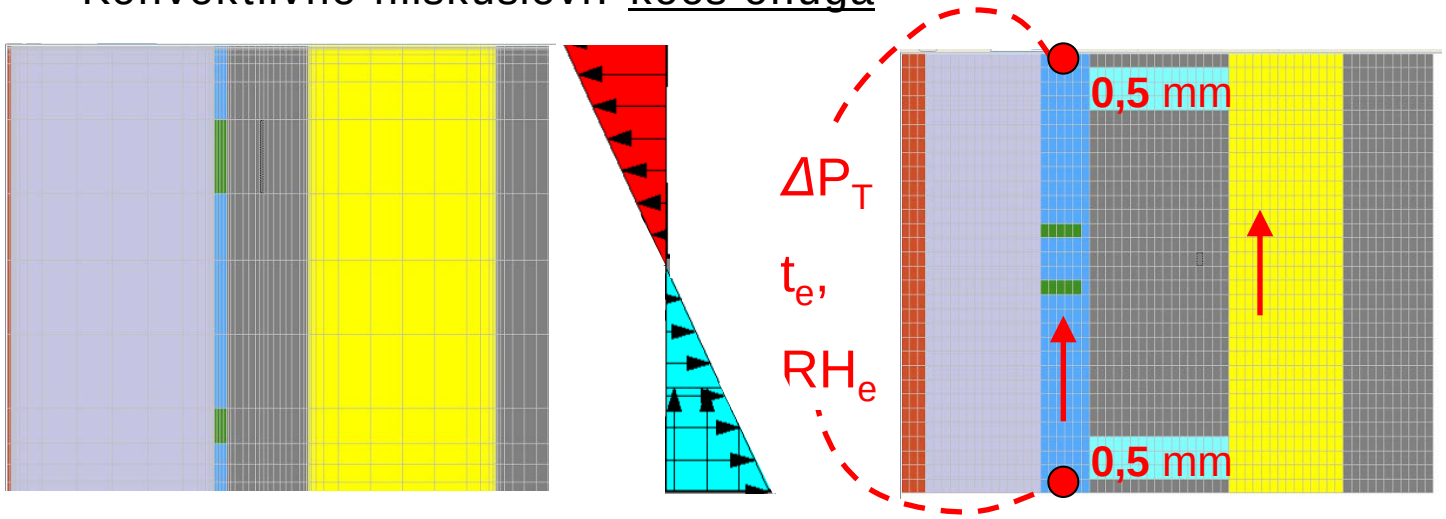
$$g_{vedel} = k_w \cdot \nabla p \left[\frac{kg}{m \cdot s \cdot Pa} \cdot \frac{1}{m} Pa \right]$$

Tulemused – niiskuslik toimivus

- Esialgsed arvutustulemused (nädala keskmine)

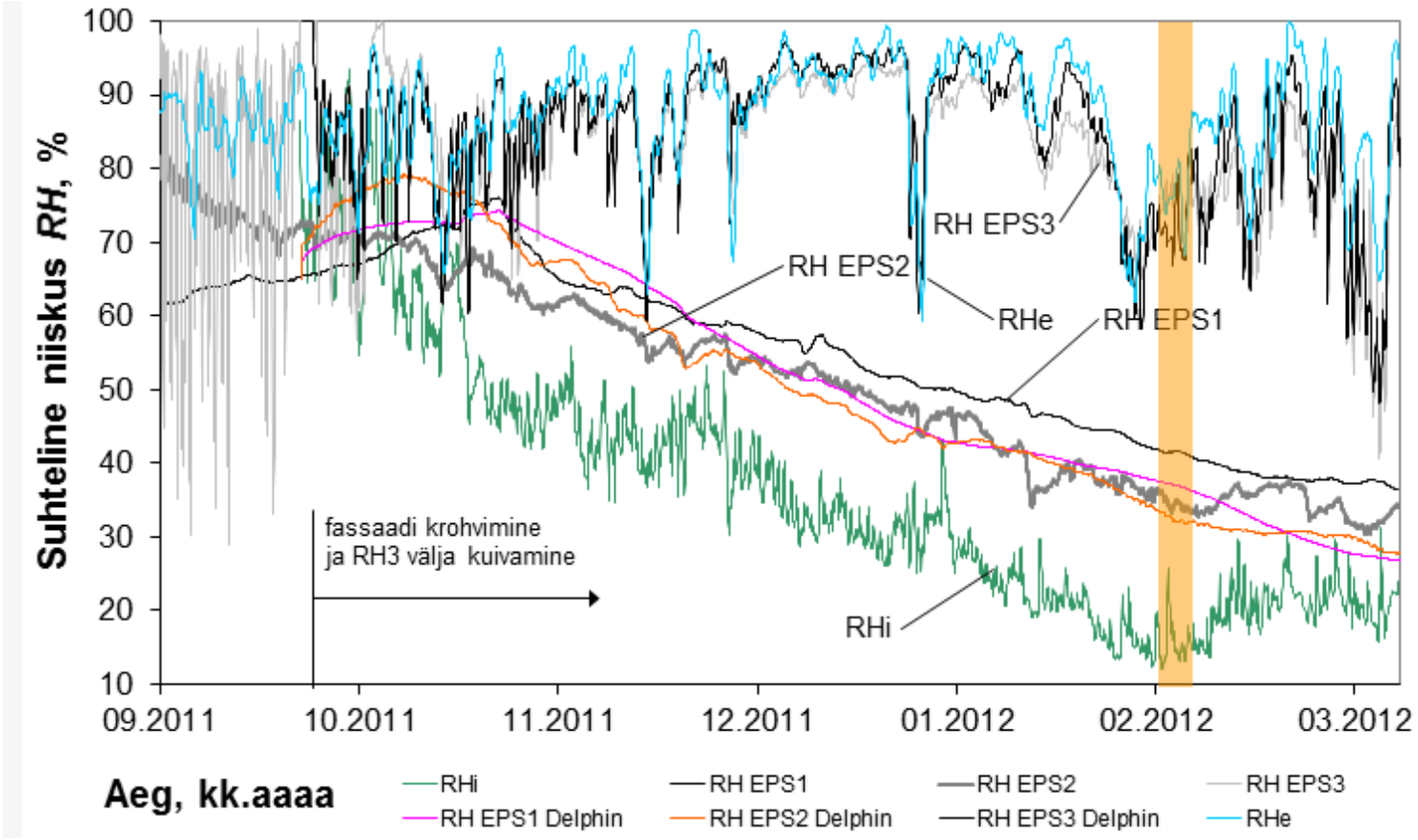


- Konvektiivne niiskuslevi: koos õhuga



Tulemused – niiskuslik toimivus

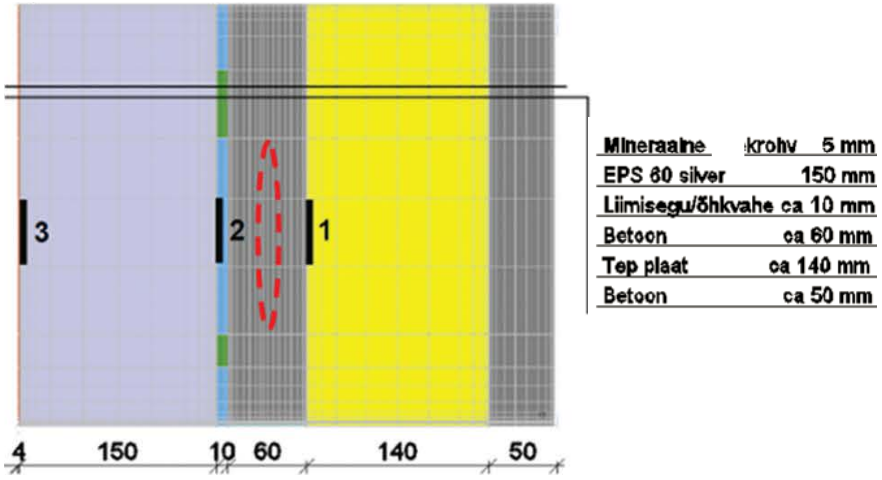
- Lõplikud arvutustulemused arvestades ka veeauru konvektsiooni

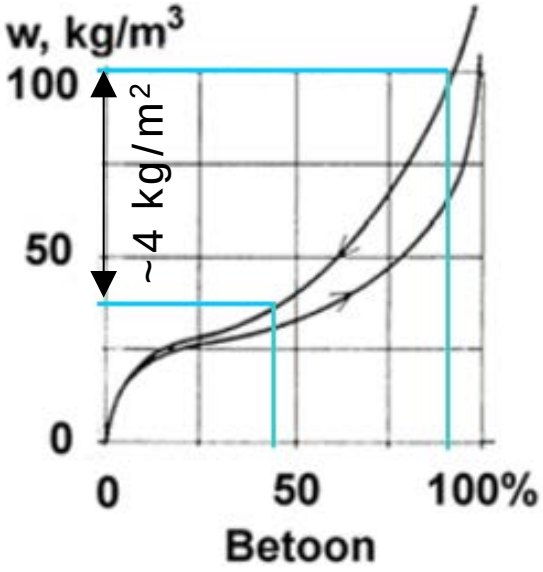


- Mudeli valideerimine -> arvutatud ja mõõdetud tulemused on sarnased

Tulemused – niiskuse väljakuivamine

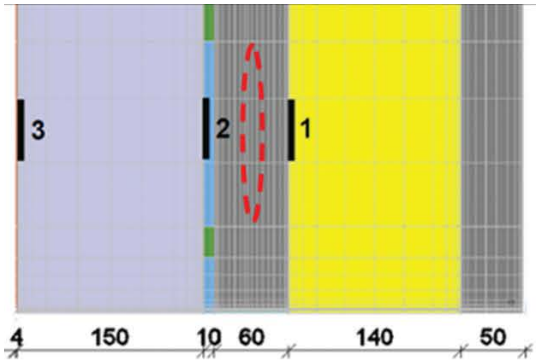
- Tarind kuivab välja esimese kütteperioodi jooksul, kui lisaks difusioonile eksisteerib konvektsioon
  - r/b väliskooriku suhteline niiskus lisasoojustamise ajal nn õhukuiv, kaldvihmast märgumata RH~70%
  - Liimisegu
  - Vähene vesi märgmeetodil teemantpuurimisest (ventilatsiooni avad)
- Sorptsioonkõvara kujust tulenevalt on kõrgemal hügroskoopsest alast (RH>~98%; w~80...100 kg/m^3; u~4%) materjalis oluliselt rohkem niiskust (vedel H_2O, domineerib kapillaarne niiskuslevi)

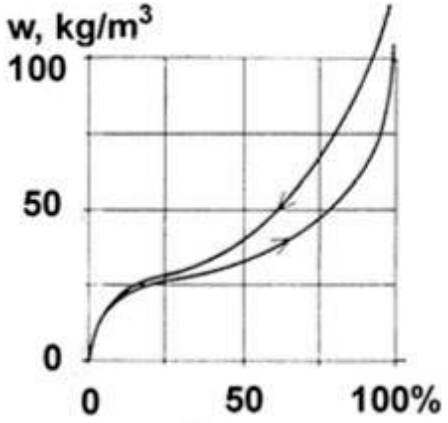


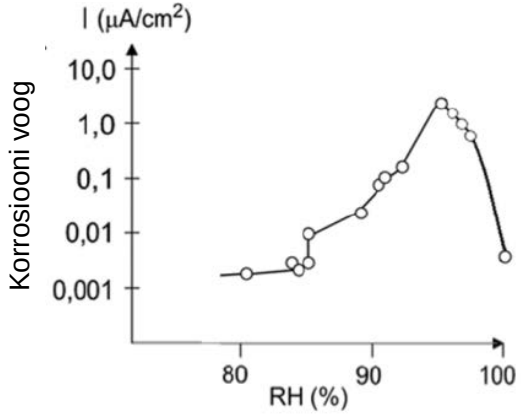


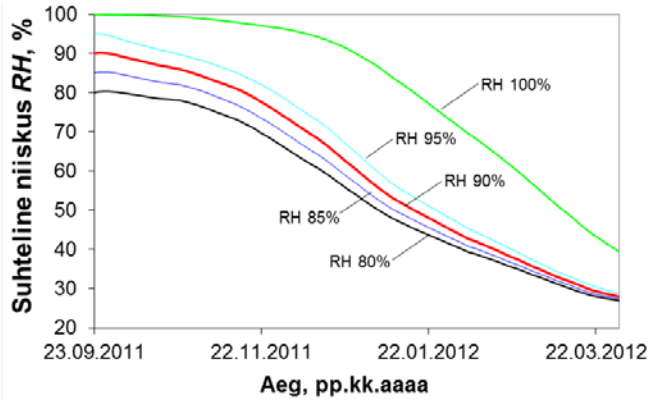
Tulemused – niiskuse väljakuivamine

- Väljakuivamine ainult difusiooni teel võib võtta mitu aastat!
- Kõrge suhteline niiskus ja kõrge temperatuur r/b väliskoorikus pärast lisasoojustamist -> terase korrosioon
- Märg r/b väliskoorik -> väljakuivav niiskus kondenseerub krohvi sisepinnal (eelkõige mineraalvill)









Kokkuvõte ja järeldused

- Mõlema lisasoojustatud välisseina soojuslik toimivus vastab eelduslikule U_{EPS}~0,17 ja U_{MV}~0,19 W/(m^{2}K)
- Välissein/aken joonsoojusläbivus ligikaudu kolmekordistab välisseina korrigeeritud soojusläbivuse U_c~0,17->0,56 W/(m^{2}K)
- Lisaks veeauru difusioonile esines konvektsiooni välisseina ja lisasoojustuse vahel ning olemasolevas tep-plaadis (pragude laius kuni 1 mm)
- Konvektsioon seinas ei põhjusta märkimisväärset soojusläbivuse suurenemist
- R/b väliskooriku niiskus kuivab välja esimese kütteperioodi jooksul, kui esineb konvektiivne niiskuslevi
- R/b väliskooriku niiskuse väljakuivamine ainult difusiooni teel võib võtta mitu aastat (sel ajal intensiivsem korrosioon)
- Väliskooriku niiskuslikku olukorda tuleb enne tööde alustamist teada, vajadusel mõõta (RH~98%; w~80...100 kg/m^3; u~4%)

Kokkuvõte ja järeldused

- Suur väljakuivava niiskuse voog võib kondenseeruda krohvi sisepinnal (põhjustades seina soojusläbivuse suurenemist ja krohvi lagunemist külmumisel/sulamisel)
- Võimalused väliskooriku märgumise vältimiseks:
  - Kaldvihma koormus (hoone asukoht, kõrgus, arhitektuur, naabrus)
  - Fassaadi kaitsmine telgi/tellingute kattega kaldvihma eest
  - Aastaaja valik ja ilma arvestamine ehitustööde teostamisel
- Krohvisüsteemi pika-ajalise püsivuse tagamiseks on vajalik kõrgel professionaalsal tasemel:
  - Projekteerimine (nõuded aluspinnale, soojustuse valik, krohvisüsteemi valik (tüüp, kihid veeimavus, veeaurujuhtivus, nakketugevus, pragunemine, ülevärvitav või mitte, detailsed sõlmelahendused jne)
  - ehitustööde teostust
  - edasised toimuvusanalüüsid ja uuringud

Tänan tähelepanelikult kuulamise eest!

simo.ilomets@ttu.ee