



**Euroopan unionin
osarahoittama**



HAMK
Hämeen ammatti-
korkeakoulu



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Kanta-Hämeen rakennetun ympäristön sopeutuminen ilmastonmuutokseen (ILMARA)

Rakennuksen materiaalit ja ratkaisut muuttuvassa ilmastossa (TP4)

Johanna Mäntyneva

Pasi Käkelä

HAMK Tech Tutkimusyksikkö



**Euroopan unionin
osarahoittama**



Sisältö

Selitteet

1. Työpaketti 4, Tavoite

2. Työpaketin toteutusperiaate

3. Teräksen vähähiiliset pinnoitteet

3.1 Teräksen pinnoitteet – Sääkokeet

3.2 Sandwich-seinäpaneelien taustapinnoitteen liimattavuuskokeet

3.3 Teräksen pinnoitteet - UV-testi

4. Homerajatarkastelut, ulkoilma

5. Ulko- ja xenontestaus

5.1 Kierrätysbetoni

5.2 Puun pinnoitteet

5.2.1 Puun pinnoitteet: Ulkotestaus

5.2.2 Puun pinnoitteet: Xenon-testaus

6. Kierrätysbetoni

6.1 Kierrätysbetoni, kirjallisuustutkimus

6.2 Kierrätysbetoni, laboratoriotutkimus

7. Seinärakenteiden säätetausta

8. Aurinkopaneelien vaikutuksia kattopinnoitteisiin

9. Yhteenveto ja yleisiä suosituksia



**Euroopan unionin
osarahoittama**



Selitteet

C7-kierrätysbetoni	C7-betoni, tunnetaan myös nimellä C7/8 tai GEN 0, on kevyt ja edullinen betonilaatu, joka sopii pääasiassa ei-kantaviin, ei-rakenteellisiin sovelluksiin. Sen käyttötarkoituksia ovat esimerkiksi perustusten, polkujen ja pienten betonilaattojen pohjustus sekä tiivistys.
v tai v	Vesihöyrypitoisuus (g/m^3), ilman sisältämä vesihöyrypitoisuus ilmoittaa ilmassa olevan vesihöyrymäärän
RH	Suhteellinen kosteus (%), Ilmassa olevan vesihöyryn ja vesihöyryn kyllästyskosteuspitoisuuden suhde.
Sisäilman kosteuslisä	Kertoo kuinka paljon enemmän sisäilmassa on absoluuttista kosteutta kuin ulkona (g/m^3).
Kiilakoe	Teräsohutlevyjen taustapinnoitteen liimattavuuskoe EN 14509 mukaisesti (wedge test).
Hot UV-testi	Korkeamman lämpötilan pidempi UV-testi, jossa lisäksi standarditestiä pidempi UV-vaihe.
RCA	Recycled Concrete Aggregate, kierrätettyä betonimursketta, joka on yleensä peräisin puretuista rakenteista. Käytetään korvaamaan luonnonkiviaineksia betonissa tai erilaisissa täytöissä infrarakentamisessa.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



Työpaketti 4:n tavoite

HANKEHAKEMUKSESTA:

Rakentamisen materiaalit ja ratkaisut muuttuvassa ilmastossa

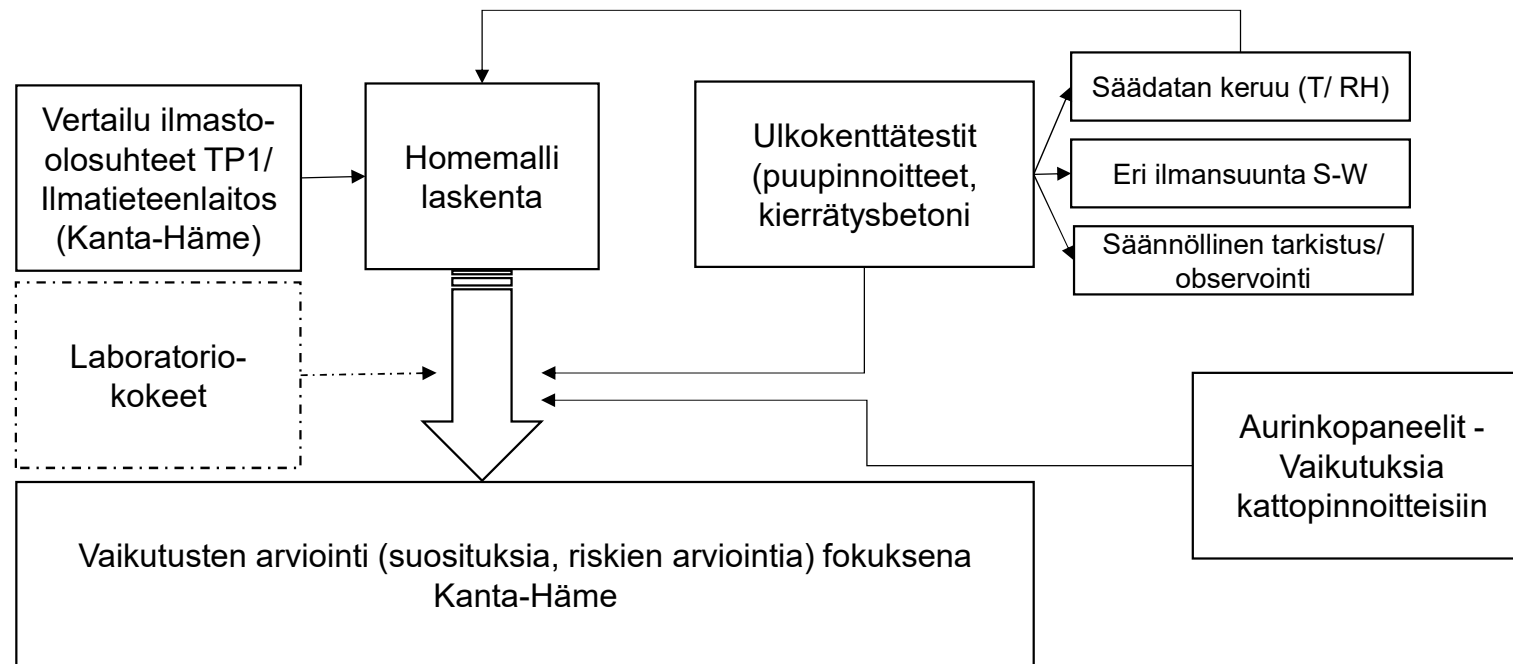
- TP 4 tukee yritysten ja alueiden pilotointi- ja kokeiluympäristöjen kehittämistä hiilineutraaliuteen sekä ilmastonmuutokseen sopeutumiseen tarjoamalla yrityksille alustan osallistua ilmastonmuutosta simuloivien kokeiden toteuttamiseen. Rakennusmateriaaleja altistetaan 20 vuoden päässä vallitsevia sääilmiöitä vastaaville olosuhteille tai niiden aiheuttamille riskeille ja materiaalien säänkestoa analysoidaan ja verrataan nykykäytäntönä oleviin standardien säärasitusluokkiin. TP 4 tukee rakentamiseen liittyvien elinkeinojen, kuten rakennuttajien, materiaalivalmistajien ja huoltoyhtiöiden sopeutumista ilmastonmuutokseen tukemalla innovatiivisten menetelmien ja tuotteiden kehittymistä, joiden avulla edistetään sopeutumista ilmastonmuutokseen. Näitä ovat mm. kierrätysbetoni, elinkaareltaan hyvin pitkät teräselementit sekä vähäpäästöiset pinnoitteet.
- Tavoitteet:- Todentaa kokeellisesti vähähiilisten rakennusmateriaalien kestävyyttä muuttuneessa ilmastossa
- Toimenpiteet:- Käytännön säärasituskokeita vähähiilisille rakennusmateriaaleille (2-4 kpl)- Koejärjestelyissä hyödynnetään TP 1:ssä tuotettua täsmäsää tietoa
- Tulokset:- Tieto tulevaisuuden rakennusmateriaalien säänkestosta ja niihin liittyvistä riskeistä- Tarkistuslista rakentajalle: vaadittavat testit, materiaaliratkaisut ja niihin liittyvät ilmatoriskit, asennuksessa aiheutuvat riskit, alueet/suunnat tms. joissa korkea säärasitus



Euroopan unionin
osarahoittama



Työpaketin toteutusperiaate



Tavoitteena testata ja selvittää etenkin uusien vähähiilisten materiaalien toimivuutta nyt ja tulevaisuuden ilmastossa



**Euroopan unionin
osarahoittama**



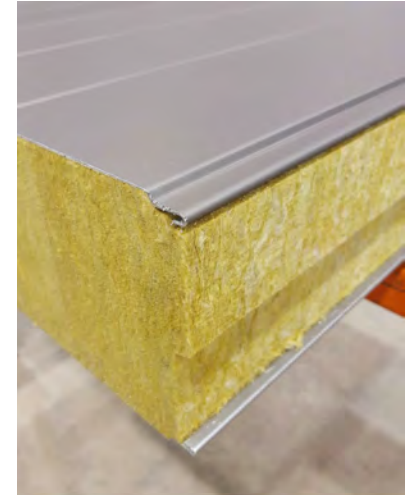
HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

3. Teräksen vähähiiliset pinnoitteet

Taustaa:

Teräksen pinnoitteiden vähähiilisyydellä voidaan tarkoittaa esimerkiksi pienempää määrää liuotinta korvattuna ympäristöystävällisemmällä vaihtoehdoilla tai biopohjaisten komponenttien suurempaa määrää ohutlevypinnoitteen maalissa. Terästuotteiden vähähiilisyys tulee tulevaisuudessa lisääntymään huomattavasti fossiilivapaaseen teräkseen siirryttäessä. Myös kierrätysterästä käytetään nykyään fossiilisen teräksen lisäksi raaka-aineena.

Hankkeessa tehtiin erilaisia sään- ja kosteudenkestävyyskokeita vähähiilisille maalipinnoitetuille teräsohutlevyille. Tulevaisuudessa Kanta-Hämeen alueella suurella todennäköisyydellä lisääntyvä kosteus ja viistosateet rasittavat rakennusmateriaaleja eri tavoin. Näitä ilmiöitä testattiin leudon talven olosuhteita simuloivilla sääkokeilla ja liimattujen kappaleiden kosteuskokeilla. UV-testillä haluttiin selvittää pinnoitteiden käyttäytymistä tulevaisuuden kohonneissa lämpötiloissa ja kosteudessa. Rankempana pidettyjen (korkeampi lämpötila/kosteus tai pidempi testiaika) testien tuloksia verrattiin mahdollisuuksien mukaan standarditestien tuloksiin.





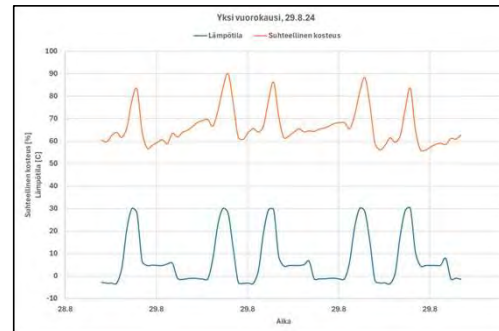
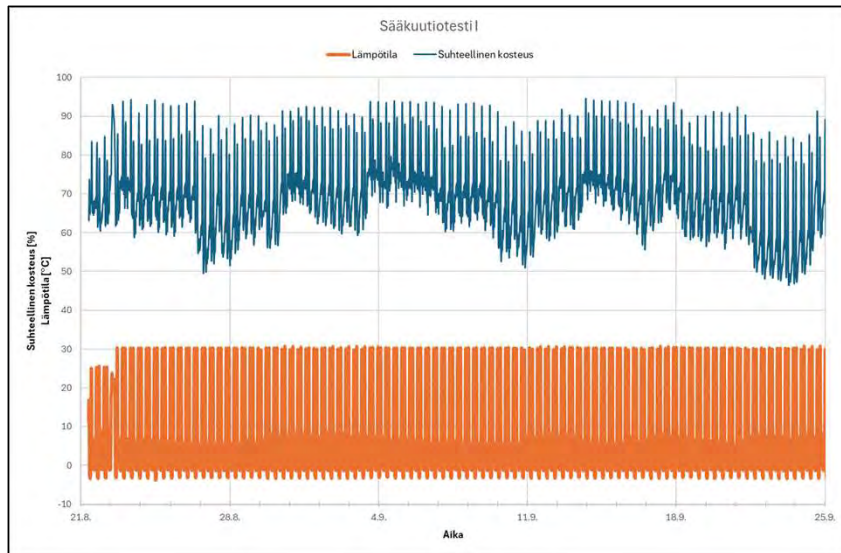
Euroopan unionin
osarahoittama



3.1.1 Teräksen pinnoitteet - Sääkokeet

Taustaa:

Ensimmäisen sääkokeen tavoitteena oli simuloida tulevaisuuden talven kosteita olosuhteita, joissa lämpötila sahaa nollan molemmin puolin, sisältäen viistosadetta, lämmitys- ja jäähdytysvaiheita. Säärasituslaitteistolla altistettiin vähähiilisiä pinnoitettuja teräsohutlevynäytteitä, muovattuina (taivutus, iskumainen muovaus ja keinotekoinen naarmu) ja muovaamattomina. Kuukauden testin jälkeen näytteet tarkasteltiin visuaalisesti ja muovattujen kohtien osalta.





**Euroopan unionin
osarahoittama**



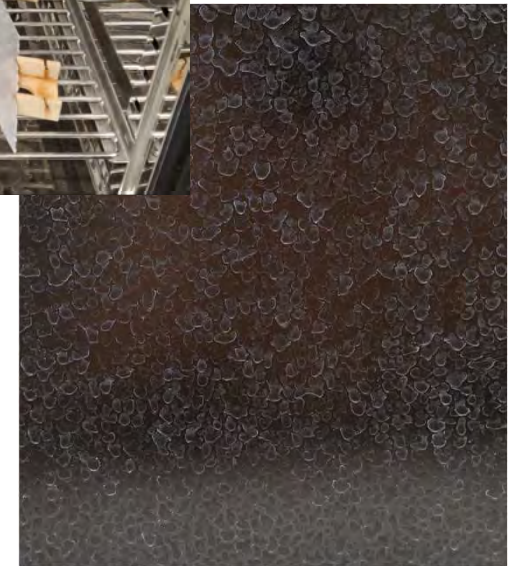
3.1.2 Teräksen pinnoitteet - Sääkokeet

Tulokset:

Näytteiden muovatut kohdat eivät kärsineet testissä mitenkään visuaalisesti arvioituna. Kaikkien näytteiden pinta oli kuitenkin tasaisesti ja yhtälailla laikukas. Tätä ilmiötä pyrittiin selvittämään lisää jatkotestillä toisessa olosuhdekaapissa käyttäen samantapaista räsituskykliä, mutta säärasituslaitteen sadetusvaihe korvattiin käsin suihkuttamalla. Ionivaihdetulla vedellä ei laikkuja saatu aikaan, mutta hanavedellä saatiin melko nopeastikin. Laikut olivatkin mitä todennäköisimmin hanaveden kalkkia, joka on säärasituslaitteella (infrapunalämmittimet) pinttynyt pintaan pitkähkössä kokeessa. Niitä ei saatu poistettua pyyhkimällä, vesipesulla eikä happamalla pesuaineella. Ulkotesteissä vastaavaa laikukkuutta ei yleensä kuitenkaan havaita, joten tehty testi ei välttämättä ole maalipinnoille todenmukainen eikä suositella jatkossa käytettävänä testinä ko. seinärakenteiden testaukseen suunnitellulla laitteistolla.

Yhteenveto:

Maalipinnoitetut ohutlevytuotteet kestävät yleensä hyvin kosteutta ja sadetta sekä korkeitakin lämpötiloja, mutta tietyt olosuhteiden vaihtelut saattavat tuoda haasteita esimerkiksi muovatuissa taitteissa ja rakenteiden saumakohdissa. Pinnoitteet itsessään todennäköisesti kestävät siis hyvin tulevaisuuden talven vaihtelevat olosuhteet. Kokonaisen ohutlevyseinärakenteen (sandwich-paneeli) testaaminen sellaisenaan laitteistolla voisi olla jatkossa hyödyllisempää kuin pinnoitettujen levyjen altistaminen.





Euroopan unionin
osarahoittama



3.2 Sandwich-seinäpaneelien taustapinnoitteen liimattavuuskokeet

Taustaa:

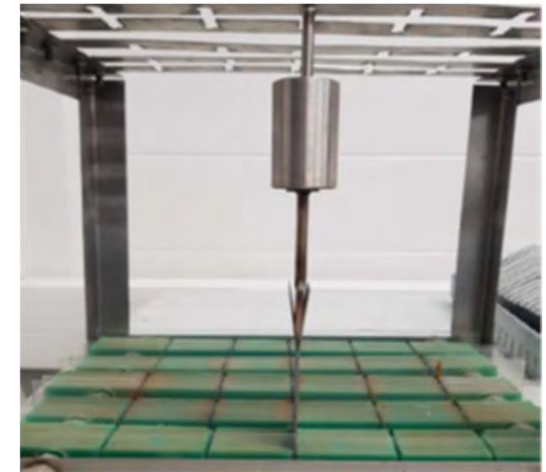
Kiilakokeet eli teräsohutelvyjen taustapinnoitteen liimattavuuskokeet tehtiin standardin *SFS-EN 14509: "Self-supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products. Specifications."*, liite B.5 mukaisesti. 24 tunnin standardikokeen lisäksi tehtiin pidempiä 120 tunnin kokeita, ja tuloksia vertailtiin keskenään. Kokeilla haluttiin simuloida tulevaisuudessa lisääntyvää kosteutta, joka on seinärakenteille haitaksi.

Tulokset:

Tulosten perusteella pidempi koe voi olla jonkin verran lyhyttä rankempi, mutta tuloksiin vaikuttaa kuitenkin monia tekijöitä, ei pelkästään testin pituus. Näitä ovat muun muassa käytetty liima, liimaolosuhteet, liimakerroksen paksuus, veden lämpötila, teräksen jäykkyys ja paksuus sekä käytössä olleet työkalut ja laitteet. Menetelmää kehitettiin hankkeen aikana em. tekijöiden osalta.

Yhteenveto:

Standardin mukainen 24h kiilakoe 70 °C vedessä on jo sellaisenaan melko rankka testi, ja karkeasti ottaen näytteet yleensä kestävät myös pidemmän 120h kokeen, jos ovat kestäneet lyhyemmänkin. Tulevaisuuden lisääntyviä kosteusolosuhteita ajatellen nykyinen testi suositellaan tehtäväksi uusille tuotteille, ja riittäväksi testiksi jo sellaisenaan. Kaikissa tuloksissa on kuitenkin huomioitava, että kyseessä on tietyn testimenetelmän antamat tulokset vain testatuille materiaaleille. Tämän perusteella ei voida tehdä kaikenkattavia johtopäätöksiä kaikkien maalipinnoitteiden kestävydestä todellisissa olosuhteissa. Liimattavuuskokeiden kehitys jatkuu edelleen yritysten kanssa yhteistyössä.





Euroopan unionin
osarahoittama



3.3.1 Teräksen pinnoitteet - UV-testi

Taustaa:

Rankempana pidetyn ns. Hot UV-testin tuloksia verrattiin standardin *SFS-EN 13523-10:2017 "Coil coated metals. Test methods. Part 10: Resistance to fluorescent UV radiation and water condensation"* mukaisen testin tuloksiin. UV-säteilyaltistusta näytteille tulee 2000 tunnin standarditestissä puolet testiajasta eli 1000 tuntia. Pidemmässä Hot UV -testissä näytteet saavat 2000 tunnin testiajassa kokonaisuudessaan hieman enemmän UV-altistusta, 1333 tuntia. Testimenetelmä valitaan yleensä pinnoitteen mukaan, sillä kaikille materiaaleille ei ole edes tarpeen saavuttaa parasta UV-kestävyyttä, vaan vähempikin riittää. 4000 tunnin standarditestiä käytetään yleensä korkeampaa UV-luokitusta vaativimpien pinnoitteiden kohdalla.

Testi	Testiaika	Testisyklin vaiheet	Irradiance (W/m ²)
UV-testi	2000 h / 4000 h	4h UV 60 °C / 4h cond. 40 °C	0,83
Hot UV-testi	5000 h	8h UV 70 °C / 4h cond. 50 °C	0,83





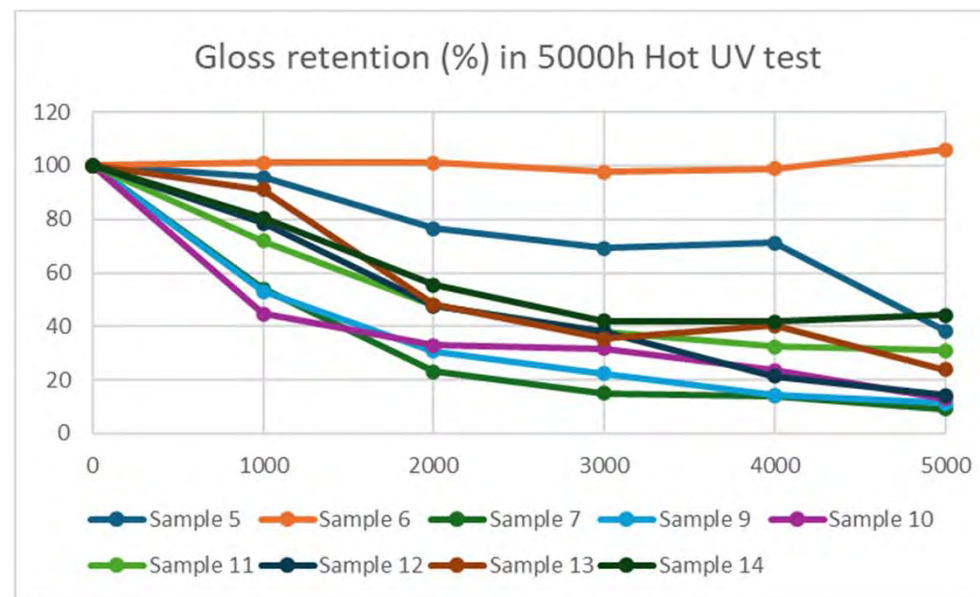
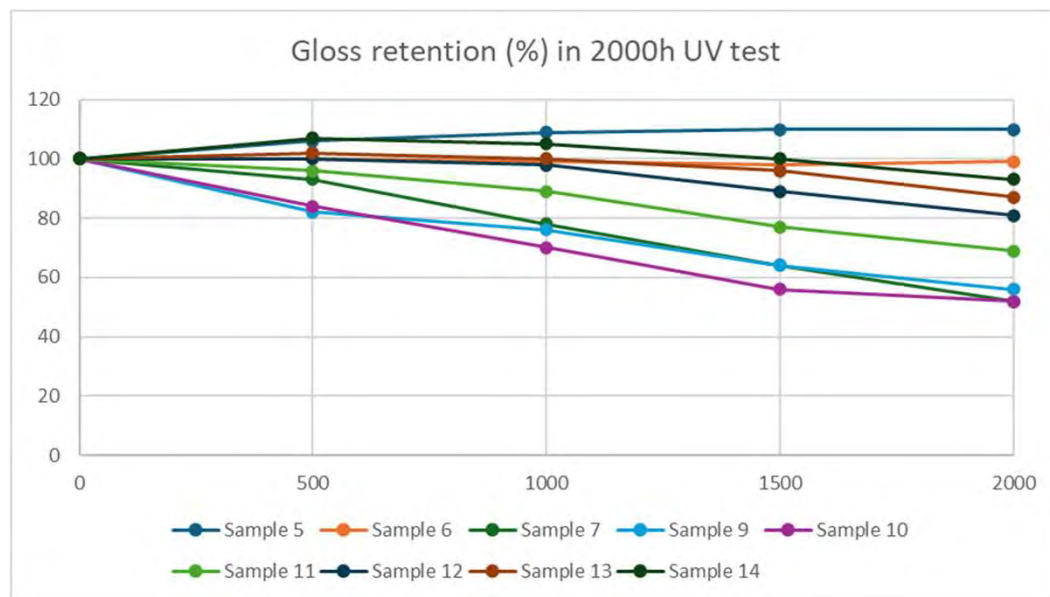
Euroopan unionin
osarahoittama



3.3.2 Teräksen pinnoitteet - UV-testi

Tulokset:

Hot UV testi havaittiin erityisesti *kiillonpysymän* osalta rankemmaksi testiksi hankkeessa testatuille pinnoitteille. 5000 tunnin Hot UV –testissä kiillot laskivat merkittävästi lähes kaikilla testatuilla pinnoitteilla, ja olivat laskeneet suurella osalla jo 2000 tunnin testiajassa, joten pelkkä testiajan pituus ei tulosta selitä.





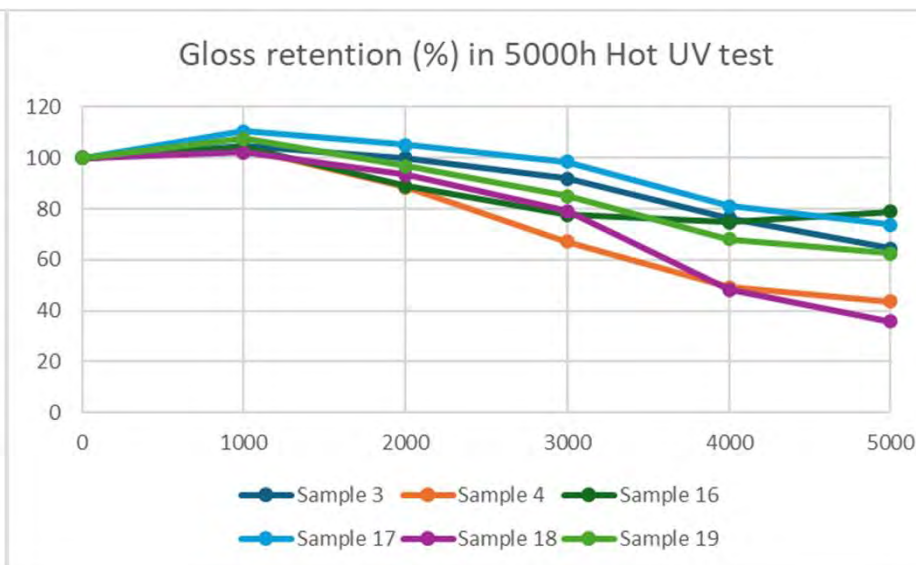
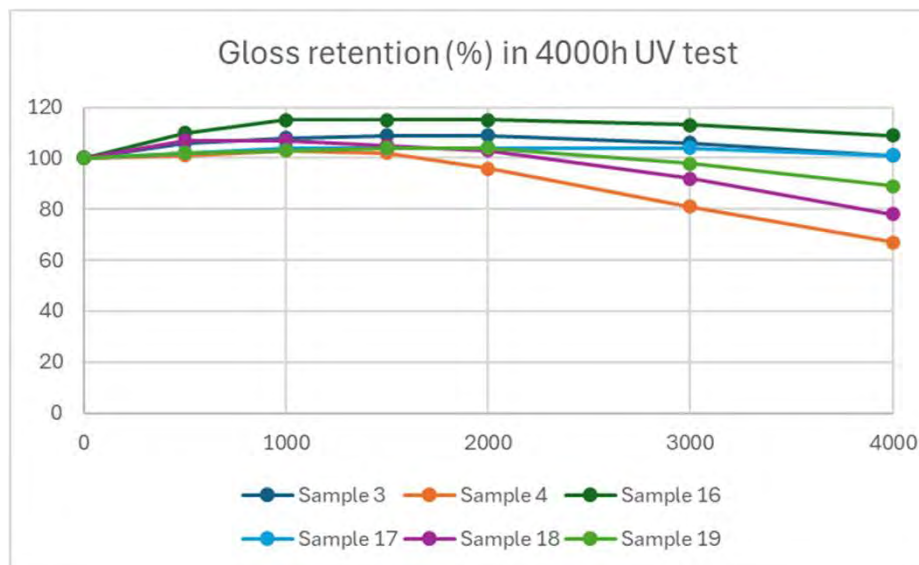
Euroopan unionin
osarahoittama



3.3.3 Teräksen pinnoitteet - UV-testi

Tulokset:

4000 tunnin standarditestissä havaittiin kiillon osalta samanlaista ilmiötä kuin 2000 tunnin standarditestissäkin mutta erityyppisillä pinnoitteilla; näytteiden kiilto pysyi testissä pääosin hyvänä (GR > 80%), kun taas Hot UV –testissä kiilto laski testin aikana enemmän (GR < 80%).





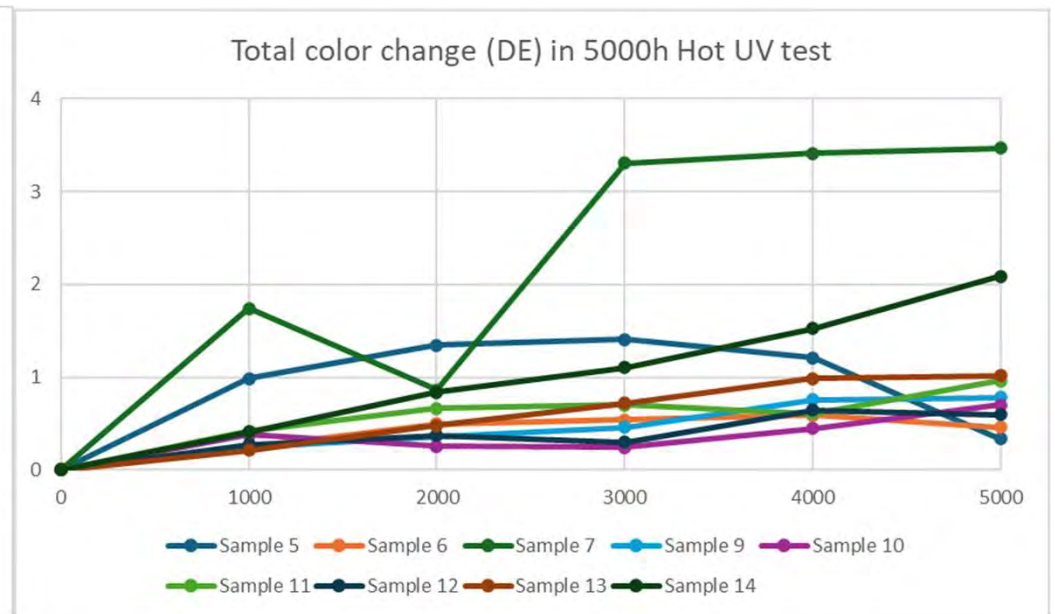
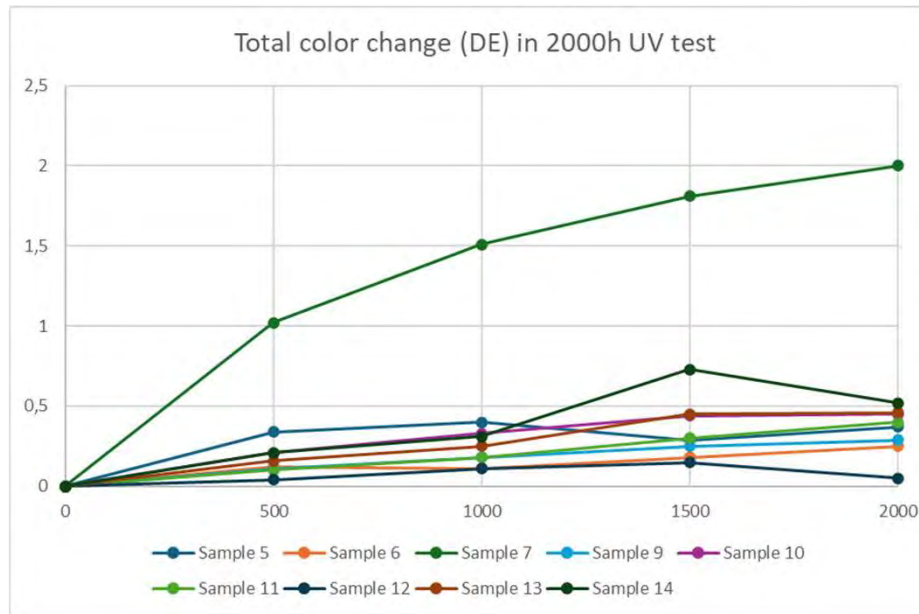
Euroopan unionin
osarahoittama



3.3.4 Teräksen pinnoitteet - UV-testi

Tulokset:

Värinmuutokset Hot UV-testissä pysyivät yleisesti ottaen maltillisina ($DE < 1$), muutamien poikkeuksin. Samat pinnoitteet olivat 2000 tunnin standarditestissä ja 5000 tunnin Hot UV-testissä värinmuutosten osalta heikoimmat. Hot UV-testissä oli havaittavissa enemmän värimittauksissa mittaustulosten heittelyä tai tulosten paranemista (DE pienenemistä) testin edetessä. Tähän voi vaikuttaa erilaiset pinnoitetyypit kuten metallisävyiset näytteet, tai näytteissä havaittu kuplinta.





Euroopan unionin
osarahoittama



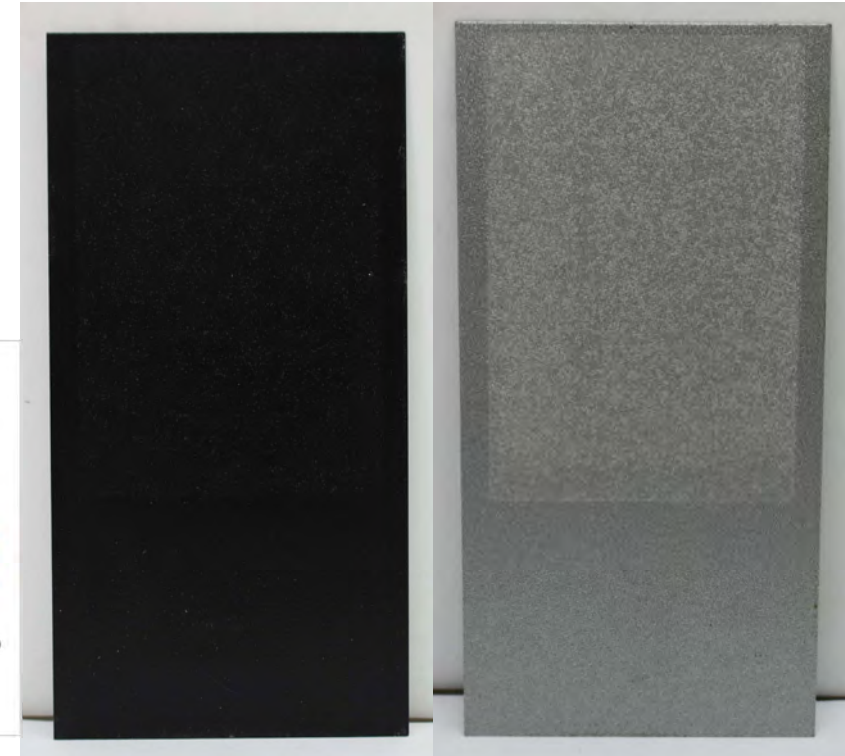
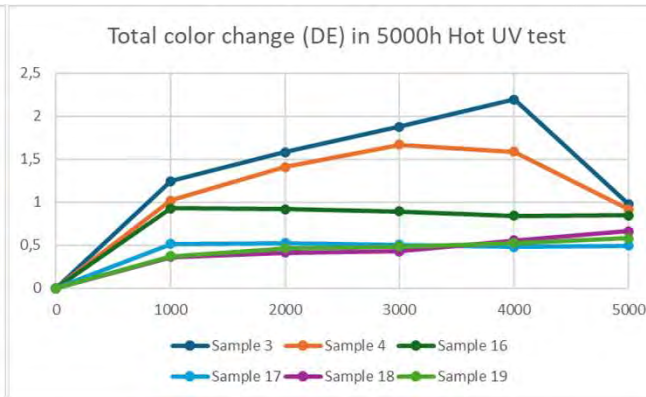
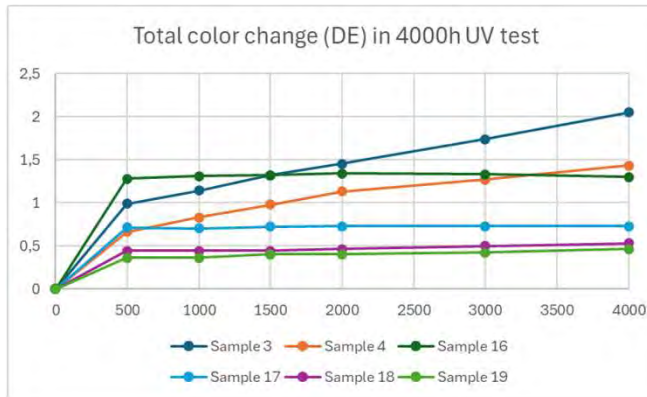
3.3.5 Teräksen pinnoitteet - UV-testi

Tulokset:

Yllättäen värinmuutokset olivat tietyillä pinnoitteilla hieman lyhyemmässä 4000 tunnin standarditestissä jopa suurempia. Hot UV-testissä kyseisillä pinnoitteilla värinmuutos testin päätyttyä oli pientä ($DE < 1$), mutta arvot olivat testin aikana suurempiakin osalla pinnoitteista. Värinmuutos oli tasaisempaa standarditestissä. Hot UV-testissä havaittiin kuplintaa lähes kaikilla pinnoitteilla, millä voi olla vaikutusta mittaustuloksiin.

Yhteenveto:

Standarditestien ja korkean lämpötilan testin tulokset mukailivat melko hyvin toisiaan, mutta joitain eroja havaittiin. Korkean lämpötilan testillä oli vaikutusta erityisesti pinnoitteiden kiiltoon laskevasti. Värinmuutos oli tasaisempaa standarditesteissä. Korkean lämpötilan pidempää testiä voitaneen suositella siinä tapauksessa, että pinnoitteiden välille halutaan selkeämpiä eroja. Kaikissa tuloksissa on huomioitava, että kyseessä on tietyn kiihdytetyn testimenetelmän antamat tulokset vain testatuille materiaaleille. Tämän perusteella ei voida tehdä kaikenkattavia johtopäätöksiä kaikkien maalipinnoitteiden kestävydestä todellisissa olosuhteissa.





Euroopan unionin
osarahoittama



3.3.6 Teräksen pinnoitteet - UV-testi: pinnoitteiden lämpeneminen

Taustaa:

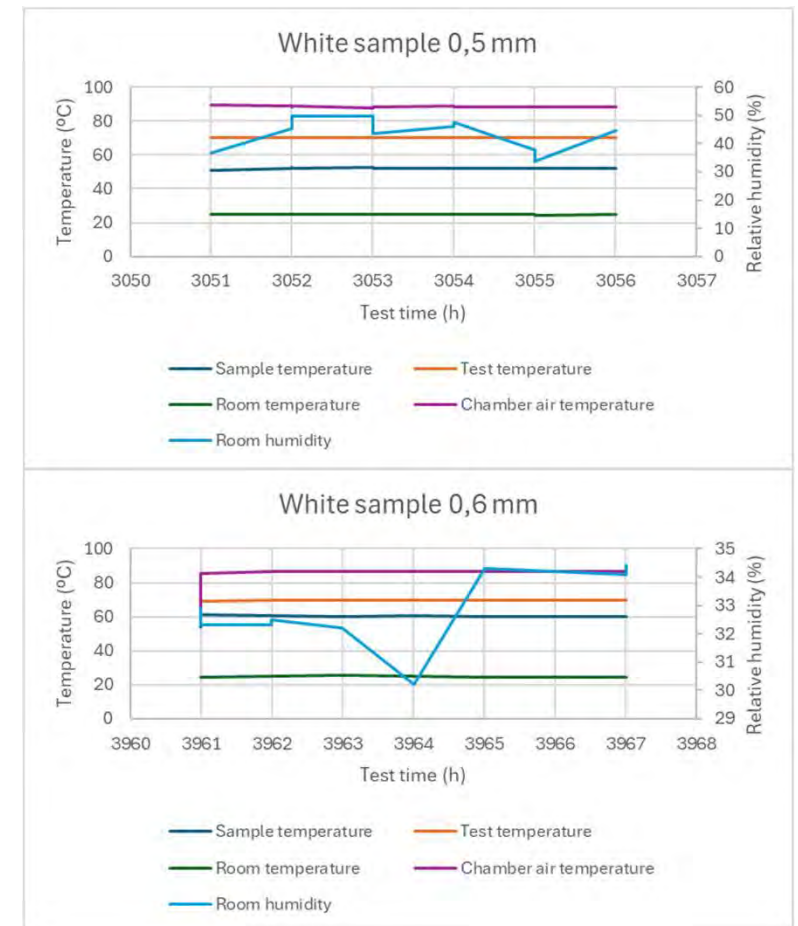
Vaaleiden materiaalien käyttö lisää kaupunkialueilta heijastuvan auringonsäteilyn osuutta, mikä on yksi tehokkaimmista keinoista lieventää lämpösaarekeilmiötä. Pinnoitteiden lämpenemisen roolia tulevaisuuden ilmastossa haluttiin osaltaan selvittää hankkeessa. UV-testauksen toisena tavoitteena olikin tutkia, lämpenevätkö tumma ja vaalea maalattu ohutlevynäyte taustaltaan eri lailla UV-testin aikana. Taustan lämpötilan mittaaminen testin aikana onnistuu testilaitteella paremmin kuin pintapuolen mittaaminen.

Tulokset:

Testin aikana mitattiin ja seurattiin seuraavia olosuhteita näytteiden taustan lämpötilan lisäksi: testin lämpötila, huoneen olosuhteet (suhteellinen kosteus ja lämpötila) ja UV-kammion sisäilman lämpötila. Testin lämpötila pysyi varsin stabiilina, toki UV- ja kosteusvaiheiden vaihtuessa lämpötila muuttui. Huoneen olosuhteet vaihtelivat erityisesti suhteellisen kosteuden osalta, sillä huoneessa oli päällä samanaikaisesti useita olosuhdetestejä. Kammion ilman lämpötila riippui selkeästi mittauskohdasta, eikä mittausdata tästä ollut kovin luotettavaa. Kammion lämpötila oli aina kuitenkin korkein mitattu lämpötila. Seurantaa tehtiin työpäivien aikana, joten datan keruu oli vaihtelevaa ja testisyklin vaiheista (UV/kosteus) riippuvaa.

Yhteenveto:

Näytteen taustan lämpötilassa havaittiin maksimissaan n. 10 °C vaihteluita eri näytteiden välillä. Erot olivat kuitenkin riippuvaisia myös muista tekijöistä kuin pintapuolen sävystä (tumma/vaalea). Teräksen paksuudella oli vaikutuksensa taustan lämpötilaan, kuten myös mittauskohdalla, joka siirrettävien antureiden kanssa vaihteli. Näytteissä ei ollut mukana toisiinsa verrattavissa olevia vastaavia tummaa ja vaaleaa näytettä täysin samaa pinnoitetyyppiä ja teräspaksuutta, mikä hankaloitti luotettavien johtopäätösten tekemistä. Mittausta voisi mahdollisissa jatkotesteissä kehittää jatkuvatyypiseksi, jotta saataisiin syklin eri vaiheiden (UV/kosteus) aikainen lämpötila seurattua jatkuvana ilman antureiden siirtelyä.





**Euroopan unionin
osarahoittama**

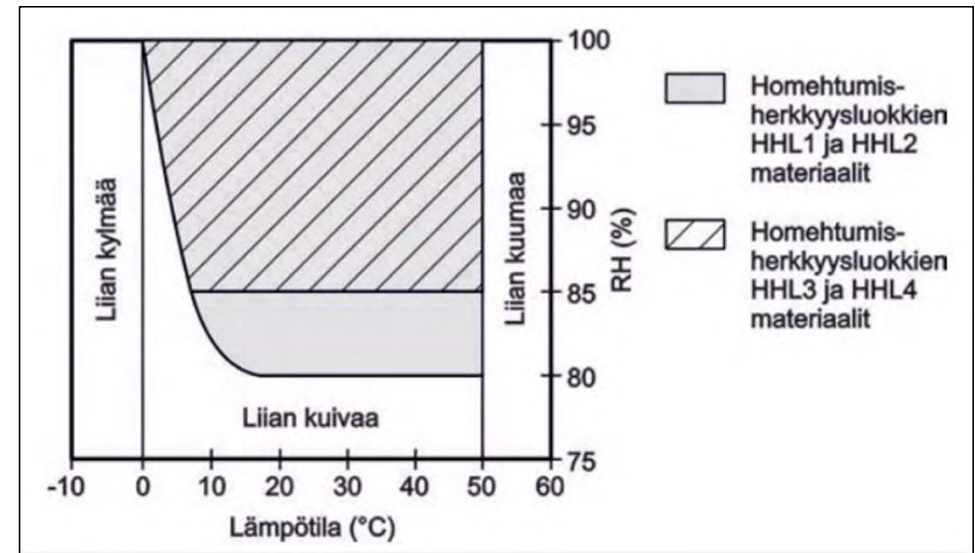


HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

4.1 Homerajatarkastelut

Ilmastonmuutos vahvistaa rakenteille jo olemassa olevia rasituksia. Rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta riskitekijöitä ovat kosteuden kondensoituminen kylminä aikoina sekä toisaalta homeen kasvu lämpiminä ja kosteina kausina. Homeiden ja mikrobin kasvua voidaan tarkastella laskennallisesti VTT:n ja TTY:n yhdessä kehittämän Suomalaisen homemallin avulla. Homeen kasvu voi aiheuttaa paitsi vaurioita rakenteille niin myös terveysriskejä rakennuksen käyttäjille. Homemallissa on useita muuttujia, joista tärkeimmät ovat lämpötila ja suhteellinen kosteus. Yksinkertaistetusti todeten saatu indeksiluku kertoo riskitasosta. Indeksi arvot ovat välillä 0-6, missä nolla tarkoittaa, ettei riskiä mallin mukaan ole homeen syntymiselle.

Ilmara-hankkeessa olosuhteita on mitattu kampusalueelta ja Riihimäellä sijaitsevasta koekohteesta. Lisäksi on hyödynnetty Ilmatieteenlaitoksen avointa dataa. Homeindeksin arvoja laskettiin käyttäen Ilmatieteenlaitoksen avointa dataa sekä Visamäen (Hämeenlinna) ulkokentältä mitattua dataa. Laskennassa käytettiin samoja parametrejä kaikille, joten siltä osin ne ovat verrannollisia. Laskenta tehtiin samalle ajanjaksolle kuin ulkokentällä projektin aikana tehdyt mittaukset. Laskentaa tehtiin eri osiin Suomea. Laskentaan epävarmuutta aiheuttaa erilaiset tuuli- ja sadeolosuhteet, joiden vaikutus on ainoastaan epäsuorasti datassa mukana. Laskennan absoluuttisiin arvoihin ei niinkään keskitytty vaan tulosten keskinäisiin eroihin. Yhtenä projektin tavoitteista oli saada tietoa riskeistä erityisesti Kanta-Hämeen alueella.



Lähde: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>

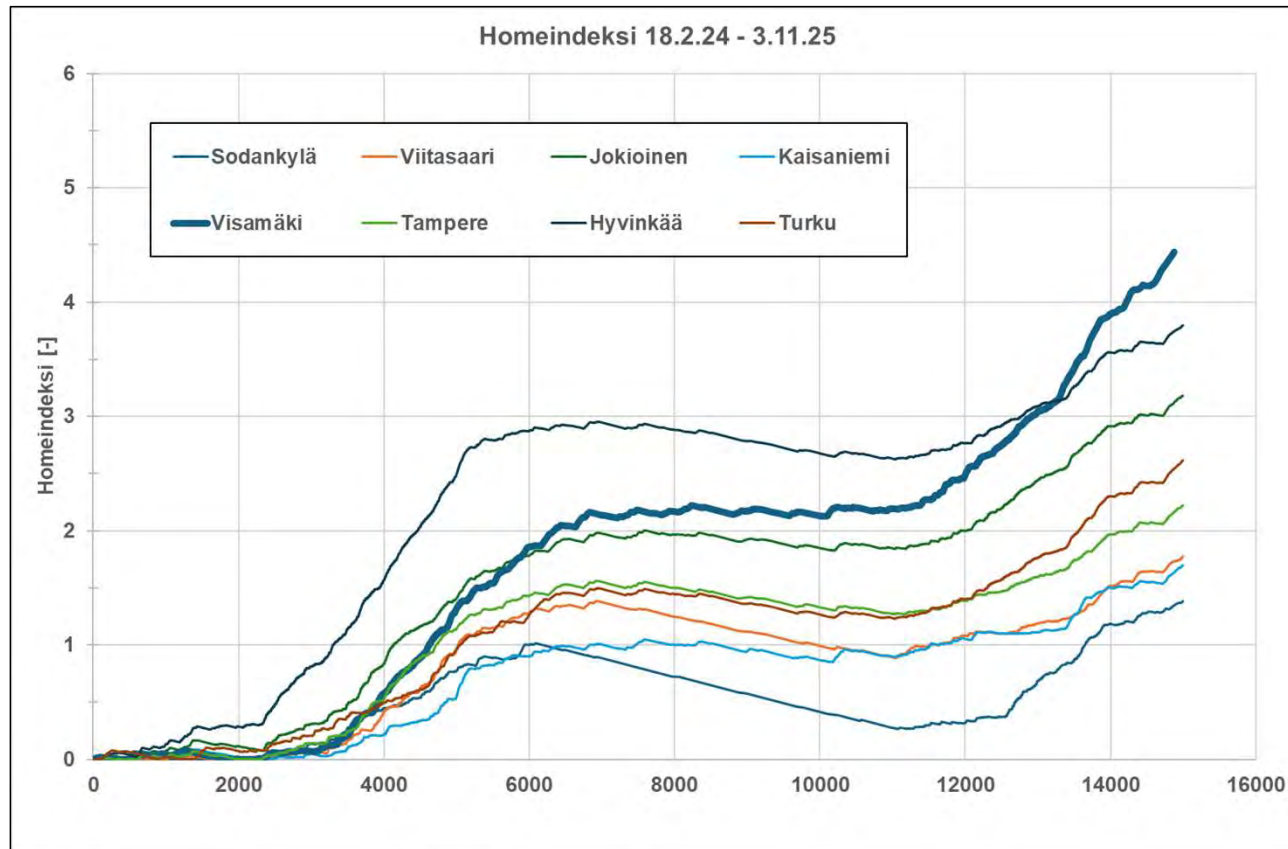


Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

4.2 Homerajatarkastelut



Oheisessa kuvassa on laskettu homeindeksin arvoja samoilla parametreillä eri paikkakunnille lähtien rannikolta sisämaahan pohjoiseen. Kanta-Hämeen alueelta paikkoina on Hämeenlinna, Jokioinen ja Hyvinkää. Riihimäen koekohteesta laskettuja arvoja ei ole esitetty tässä kuvaajassa, koska mittausjakso ei ole vertailukelpoinen. Riihimäeltä ei myöskään ole saatavilla muuta avointa dataa.

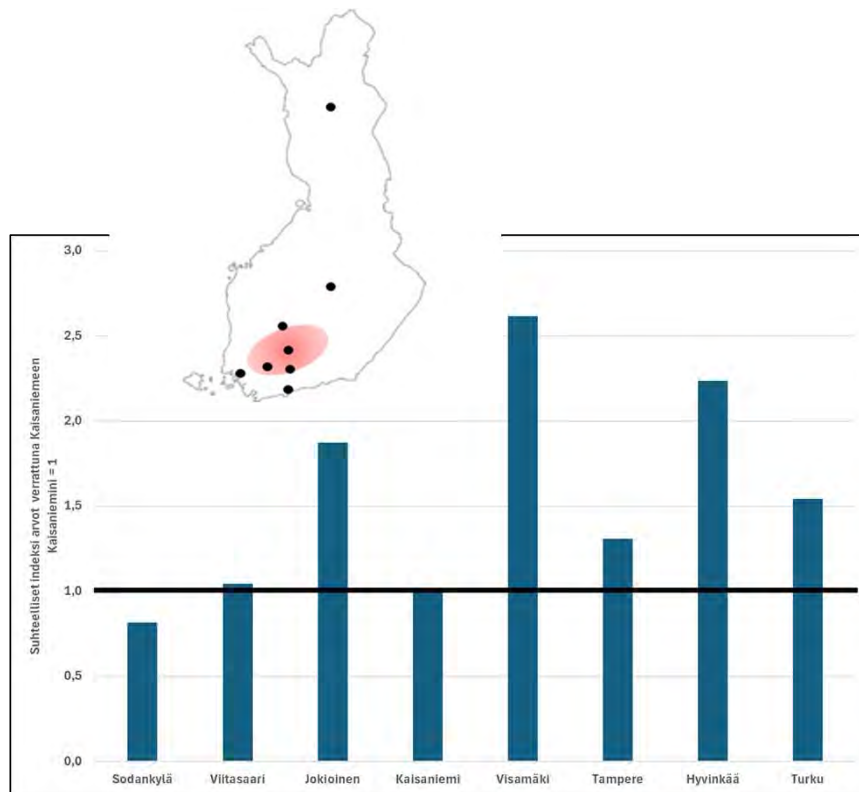
Tarkastelussa ei niinkään pidä keskittyä absoluuttisiin arvoihin vaan keskinäisiin suhteisiin ja eroihin. Indeksien kehittyminen on kaikilla lasketuilla alueilla samansuuntainen. Indeksien kasvaminen ja taantuminen kestää lähes saman ajan kaikissa lasketuissa kohteissa. Eli isossa kuvassa säätilan vaihtelut tapahtuvat Suomessa samaan aikaan ja samansuuntaisesti. Selkeä ero puolestaan tulee indeksien suuruudesta, eli vaikka kuvaajat ovat yhdenmukaisia niin niillä on selvä tasoero.



Euroopan unionin
osarahoittama



4.3 Homerajatarkastelut



Homeriskin syntyminen on siis lämpötila- ja kosteusriippuvainen. Kuitenkin kasvun edellytyksenä pidetään alarajana 0 asteen lämpötilaa ja ylärajana 50 °C sekä suhteellisen kosteuden minimiarvona 80 %-RH. Näiden olosuhteiden ulkopuolella joko kasvua ei synny tai jo alkanut kasvu siirtyy lepotilaan alkaen mahdollisesti taantua.

Oheisessa kuvassa lasketut homeindeksin arvot on muutettu siten, että Kaisaniemen arvo on 1 ja muita verrataan siihen. Lasketuissa tapauksissa Keski- ja Pohjois-Suomen arvot olivat alhaisimpia johtuen kylmemmästä keskimääräisestä ilmastosta sekä osin kuivemmasta mantereisesta ilmastosta. Mielenkiintoinen havainto sen sijaan oli, että arvot ovat Kanta-Hämeen alueella selkeästi (jopa 2,5-kertaisesti) korkeampia kuin rannikolla, vaikka rannikolla esim. viistosateen intensiteetti on suurempi. Tämän otannan perusteella voidaan olettaa homeenkasvun riskin olevan suurempi tietyllä etäisyydellä rannikolta tällä alueella. Tämä voi johtua esim. eroista tuulisuudessa ja pilvisyydestä. Tulevaisuudessa ilmaston lämpeneminen ja kosteuden kasvu lisääntee entisestään tätä riskiä.



Euroopan unionin
osarahoittama



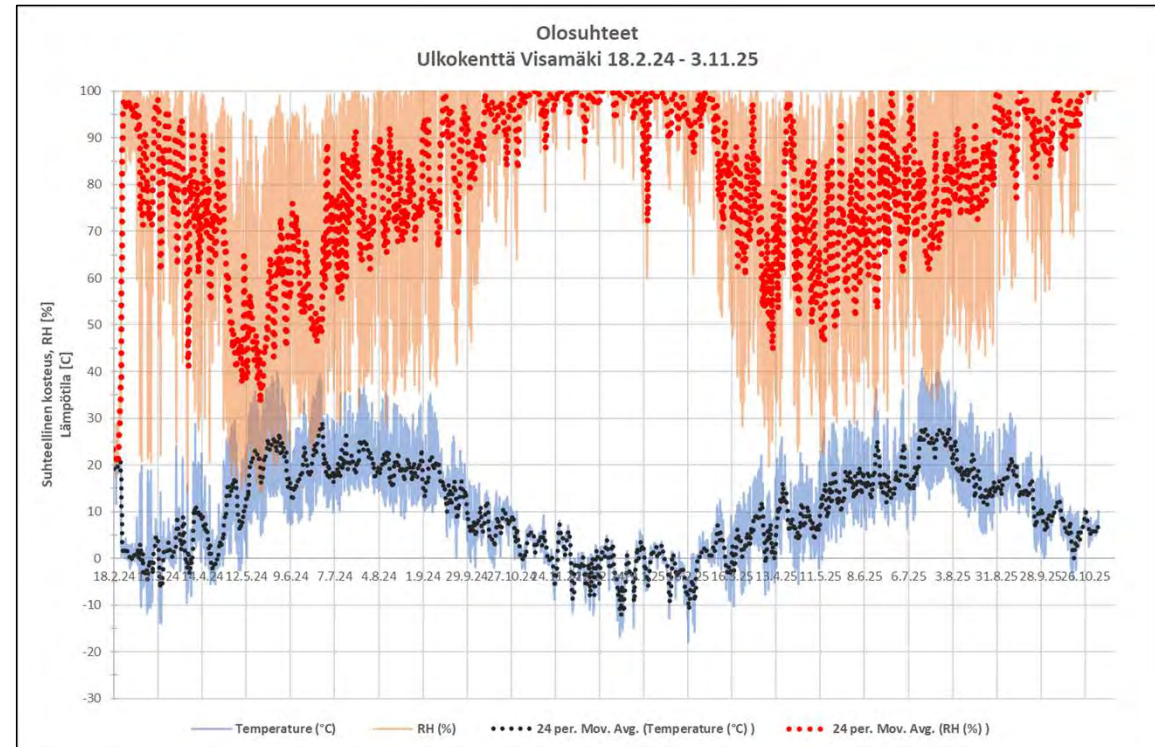
5. Ulkotestaus

Tausta:

Tarkoituksena oli selvittää uusien vähähiilisten pinnoitteiden ja kierrätysbetonin resistenssiä sääolosuhteille ja käyttökelpoisuutta Suomessa vallitsevissa ulko-olosuhteissa.

Menetelmä:

Koekappaleita altistettiin ulkoilman olosuhteille HAMKin ulkotestausalueella. Koekappaleiden suuntaus oli länteen ja ne asetettiin 45 asteen kulmaan vertikaalisuunnassa. Siten koekappaleiden pinnoille tuleva säteily ja saderasitus oli mahdollisimman iso. Testikentän läheisyydessä on useita lehtipuita, joten pinnoille kerääntyi verrattain paljon siitepölyä yms. hiukkasia. Ulkokentältä mitattiin lämpötila ja suhteellinen kosteus (RH) tunnin välein mittaavalla dataloggerilla Onset HOBO MX2300. Säätietojen perusteella laskettiin ulkokentän olosuhteissa vallinnut 'homeenkasvun' potentiaali käyttäen Suomalaista homemallia¹ ja verrattiin sitä silmämääräisesti tehtyihin havaintoihin.



Ulkokoekentältä mitatut olosuhteet testausajalta. Testausajan lämpötilan keskiarvo oli 10,5 °C ja suhteellisen kosteuden keskiarvo 78 %-RH. Näitä mitattuja keskiarvoja ei verrata suoraan Suomesta mitattuihin vuosikeskiarvoihin.

¹⁾ Homeiden ja mikrobien kasvun tarkasteluun VTT:n ja TTY:n yhdessä kehittämä laskennallinen Suomalainen homemalli



Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

5.1 Kierrätysbetoni

Koekappaleet:

Kierrätysbetonista valmistettuja koekappaleita (400x400) ja verrokkikappaleita asetettiin HAMKin ulkokenttätestausalueelle syksyllä 2023. Koekappaleet valmisti Trifami 3D.

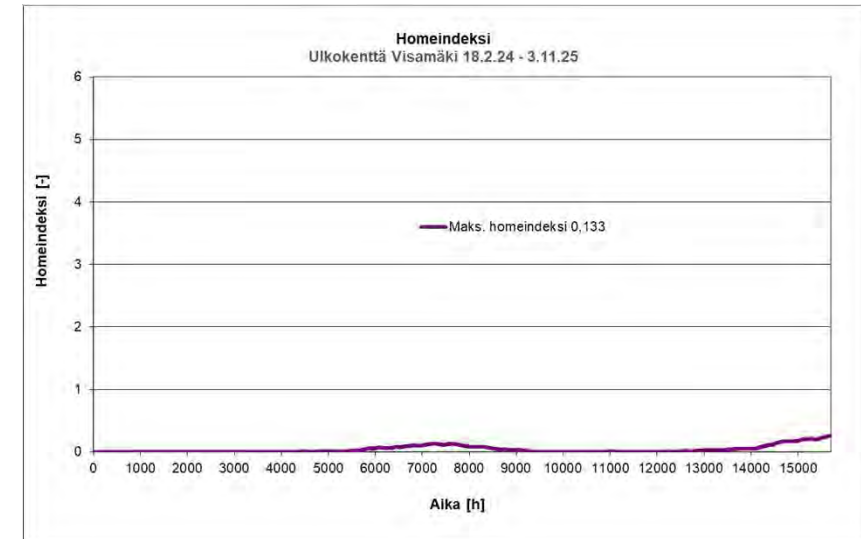
Tulokset:

Tutkitun ajanjakson ajalta homeindeksin⁽¹⁾ arvoksi saatiin käyttäen sementtipohjaisille materiaaleille tarkoitettuja ominaisarvoja maksimissaan 0,13. Tämä tarkoittaa, että vallinneissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa riski homeen kasvun syntymiselle on laskennallisesti olematon. Tätä tukivat visuaaliset havainnot, jotka lisäksi on mukana tutkimuspaikan vaikutukset (puut, siitepöly, katupöly yms epäpuhtaudet). Homeenkasvun syntymiseen ei käytetty erillisiä herätteitä.

Lisäksi koekappaleista mitattiin kuutiopuristuslujuus projektin alkuvaiheilla (12/2023). Arvoksi saatiin 39 MPa. Toinen mittaus tehtiin 10/2025 ulkosäilytyksen jälkeen, jolloin arvo oli 38 MPa. Mittausten välillä ei ollut eroa, joten siltä osin voidaan todeta ettei ulko-olosuhteilla ollut vaikutusta kierrätysbetonin lujuusominaisuuksiin.

Yhteenveto:

Tämän kokeen perusteella homeenkasvun kannalta kierrätysbetonia voidaan pitää käyttäytymiseltään samanlaisena ja yhtä resistenssinä kuin uutta betonia. On kuitenkin huomioitava, että otos oli verrattain pieni ja ajanjakso verrattain lyhyt.



Homeindeksin⁽¹⁾ kehittyminen testausajanjaksolla

¹⁾ Homeiden ja mikrobien kasvun tarkasteluun VTT:n ja TTY:n yhdessä kehittämä laskennallinen Suomalainen homemalli



Euroopan unionin
osarahoittama



5.2 Puun pinnoitteet

Taustaa:

Tavoitteena oli selvittää vähähiilisten pinnoitteiden kestoja ulko-olosuhteissa yhden vuoden *ulkotestauksella* sekä laboratoriossa kiihdytettyä *xenon-valotestillä*. Materiaaleina käytettiin erilaisia hukkakahvia (yritysyhteistyö Natural Indigo Finland kanssa) ja puunkuoriuutteita sisältäviä puun suojaukseen valmistettuja pinnoitteita (öljy, lakka, petsi, vaha, maali). Xenon-testillä tutkittiin vain hukkakahvilla pinnoitettuja näytteitä, ulkotestissä oli myös puunkuorinäytteitä mukana. Molemmissa testeissä käytettiin kaupallisella pigmentillä pinnoitettuja vertailukappaleita.

Ulkotesti tehtiin soveltaen standardia:

SFS-EN 927-3:2019 "Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 3: Natural weathering test".

Alkutilanne



1 kk



4 kk





Euroopan unionin
osarahoittama



5.2.1 Puun pinnoitteet: ulkotestaus

Tulokset:

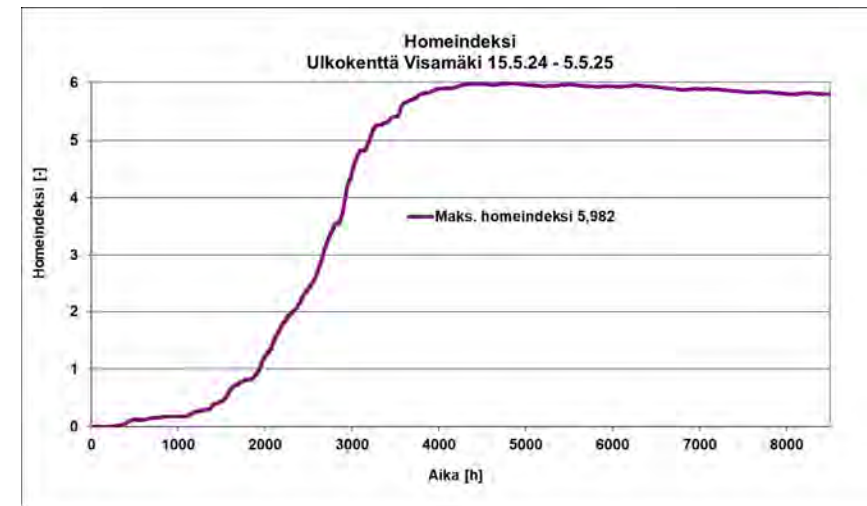
Oletuksena oli, että puunkuoriaineilla olisi luonnollisesti biologista kasvustoa estävä ominaisuus. Tulokset osoittavat kuitenkin päinvastaista eli kyseiset pinnoitteet toimivat pikemminkin homeen kasvualustana kuin sen ehkäisijänä.

Kaupallisella väriaineella pinnoitetuissa vertailunäytteissä ei näkynyt homea testin kuluessa, mutta pinnoitteet kuoriutuivat näistäkin irti vuoden ulkotestin jälkeen. Kaikissa puunkuorikappaleissa havaittiin runsaasti homea vuoden ulkotestin jälkeen, ja sitä oli havaittavissa jo selvästi aiemminkin (4kk). Olennaisimpana arviointikriteerinä oli näytteiden visuaalinen arvio, sillä pinnan väri- ja kiiltomittaukset eivät pinnoitteen pois kuluessa enää mitanneet pinnoitetta vaan itse puumateriaalia. Värin- ja kiillonmuutokset olivat testatuilla vähähiilisillä pinnoitteilla kuitenkin merkittäviä.

Homeindeksin¹⁾ arvo ajalla 15.5.24.24 - 5.5.25 käyttäen herkän puumateriaalin lähtöarvoja. Maksimiarvo lähes 6,0, mikä tarkoittaa erittäin korkeaa (korkeinta) riskiä homeenkasvun synnylle.



10 kk



¹⁾ Homeiden ja mikrobien kasvun tarkasteluun VTT:n ja TTY:n yhdessä kehittämä laskennallinen Suomalainen homemalli



Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

5.2.2 Puun pinnoitteet: xenon-testaus

Testimenetelmä:

Pari viikon (588h) xenon-testissä altistettiin hukkakahvilla pinnoitettuja puunäytteitä vertailukappaleiden kanssa. Näytteet tarkastettiin 51h, 120h ja 220h kohdalla, ja osa näytteistä poistettiin testistä visuaalisen arvion perusteella välitarkastusten yhteydessä. Xenon-testi (388h) tehtiin soveltaen standardia:

SFS-EN ISO 16474-2:2013 "Paints and varnishes. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 2: Xenon-arc lamps (ISO 16474-2:2013)" (Method A, cycle 1)

Tulokset:

Olennaisimpana arviointikriteerinä oli näytteiden visuaalinen arvio, sillä pinnan väri- ja kiiltomittaukset eivät pinnoitteen pois kuluessa enää mitanneet pinnoitetta vaan itse puumateriaalia. Pinnoitteen kuluminen testissä oli kahvipinnoitteilla epätasaista. Hukkakahvilla pinnoitetut näytteet eivät pärjänneet xenon-testissä kaupalliseen verrokkiin nähden. Näytteet, joissa hukkakahvia oli maaliin sekoitettuna, poistettiin testistä jo 51h jälkeen värin kadottua niistä kokonaan.

Yhteenveto:

Sekä ulkotestin että xenon-testin perusteella voidaan todeta, että kyseiset vähähiiliset pinnoitteet eivät sovellu ulkokäyttöön. Suurempi määrä hukkakahvia lisättynä pinnoitteeseen johti heikompaan säänkestoon molemmissa testeissä. Kyseiset biopohjaiset aineet (hukkakahvi, puunkuoret) pinnoitteeseen lisättynä saattavat toki toimia joidenkin pinnoitteiden (esim. lakka, öljy) lisänä ja joissain käyttötarkoituksissa esimerkiksi sisätiloissa. Tämä vaatisi kuitenkin lisättestausta, mikä ei kuulunut tämän hankkeen tavoitteisiin eli rakennusmateriaalien tutkimukseen.





Euroopan unionin
osarahoittama



6.1 Kierrätysbetoni, kirjallisuustutkimus

Taustaversio kokonaisuudessaan: *Environmental change impact on concrete structures, Maksim Furminski, 2024.*

- Betonin kierrätyksellä tarkoitetaan vanhojen betonirakenteiden purkamista, poistamista ja murskaamista, minkä jälkeen murske hyödynnetään uuden materiaalin raaka-aineena. Kierrätysbetoni voi tarjota monia etuja ja käyttökohteita, ja se on usein ympäristöystävällinen vaihtoehto betonin uudelleenkäyttöön.
- Vanha tarpeeton betoni voidaan kierrättää käyttäen sitä kiviainesta korvaavana materiaalina. Useimmissa tapauksissa kierrätettyä betonia käytetään infrarakenteissa pohjamateriaalina, mutta sitä voidaan myös yhdistää uusiin materiaaleihin ja käyttää uudelleen kiviaineksena uudessa betonissa.
- Kierrätysbetonia voidaan käyttää myös murskeena infrarakenteissa. Tällöin sitä käytetään tyypillisesti stabilointiin, pohjakerroksena tienpohjaan/-täyttöihin tai kiviaineksena lisänä myös täytehiekkanä ja erilaisten kallistusten tekemiseen. Lisäksi hienorakeinen materiaali neutraloi pH-tasoja.
- Betonin kierrätyksellä on mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä ja pienentää ympäristövaikutuksia. Kaikkien rakennusjätteiden kaatopaikkakustannukset jatkavat nousuaan, ja jätteiden kuljetus alueelta toiselle on lisäkulu. Etenkin kuljetus- ja hävittämiskustannuksissa kierrätys voi tuoda merkittäviä säästöjä. Kustannusten nousun lisäksi kaatopaikkojen sääntely kiristyy, mikä tarkoittaa, että monet urakoitsijat ja kiinteistönomistajat kokevat vaikeaksi hävittää tiettyjä materiaaleja, kuten betonia. Betonijäte vie merkittävän osan kaatopaikkojen tilasta, eivätkä kaikki kaatopaikat pysty käsittelemään isoja, painavia kappaleita ja isoja määriä. Kierrätys estää näitä materiaaleja pääymästä kaatopaikoille ja mahdollistaa niiden uudelleenkäytön muissa sovelluksissa. Kierrätys säästää myös energiaa, jota muuten käytettäisiin uusien kiviaineksien louhintaan, käsittelyyn tai kuljetukseen – mikä on sekin ympäristölle edullista.



Kuvan lähde: <https://www.ftmmachinery.com/blog/how-to-make-recycled-concrete-aggregate-and-what-is-it-used-for.html>

Rakennus- ja purkujätteen kierrätys kierrätetyn betonikiviaineksena valmistuksessa on houkutteleva lähestymistapa ympäristön ja talouden kannalta. Kierrätetyn betonikiviaineksena heikommat ominaisuudet ovat kuitenkin suuri este luonnonkiviaineksena korvaamiselle kierrätetyllä materiaalilla. Tällä hetkellä kierrätetyn betonikiviaineksena rakenteellinen käyttö on melko rajallista.



Euroopan unionin
osarahoittama



6.2.1 Kierrätysbetoni, laboratoriotutkimus

Tutkimus laajempänä kokonaisuutena: *“Performance of Recycled Concrete Aggregates (RCA) in Concrete Mix design, Maksim Furminski, 2025”*

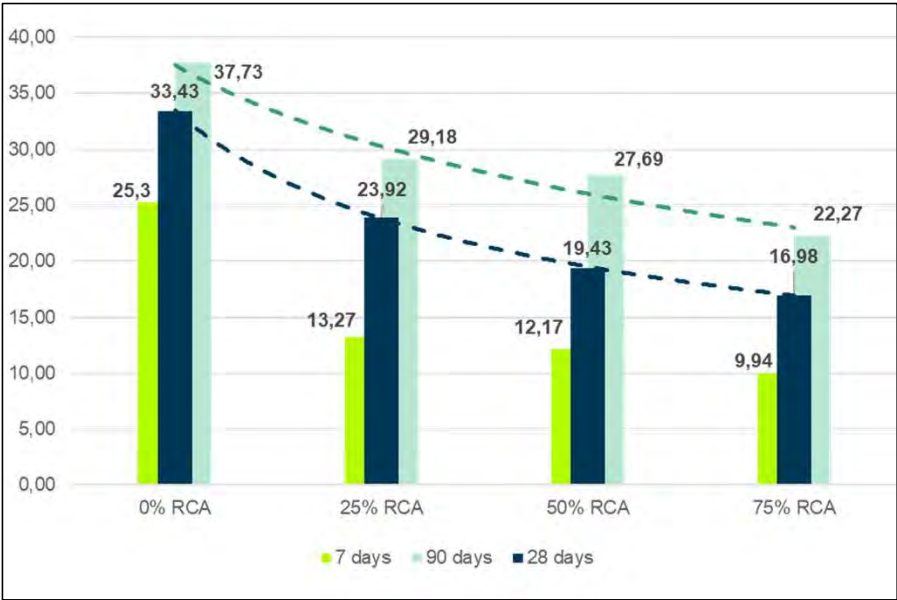
- Kestävät ja ympäristöä vähemmän kuormittavat rakentamiskäytännöt ovat yhä tärkeämpiä, mikä lisää tarvetta löytää vaihtoehtoisia materiaaleja. Yksi lupaava ratkaisu on kierrätetyn betonimurskeen (RCA) käyttö, joka valmistetaan puretuista betonirakenteista ja korvaa osittain luonnon kiviainekset. Kierrätysbetoni on tyypillisesti huokoisempaa ja imee enemmän vettä kuin luonnon kiviainekset, mikä voi heikentää mekaanista suorituskykyä. Oikea valinta, käsittely ja RCA:n annostelu voivat kuitenkin parantaa sen toimivuutta betonissa.
- Päättävöitteena oli arvioida, voidaanko kierrätettyä betonimursketta (RCA) käyttää ympäristöystävällisen betonin valmistukseen siten, että sen ominaisuudet säilyvät hyväksyttävällä tasolla verrattuna perinteiseen betoniin. Tutkimuksessa tarkasteltiin neljää betoniseosta, joissa RCA korvasi luonnon kiviainestilavuudesta 0 %, 25 %, 50 % ja 75 %. Kappaleista testattiin puristuslujuus ja niiden kestävyyttä arvioitiin jäätymis-sulamisjaksoissa suolaveden vaikutuksen alaisena. Jäätymis-sulamistesti on erityisen merkityksellinen, sillä suurempi RCA-pitoisuus oletettavasti lisää huokoisuutta, mikä voi johtaa pintahalkeiluun toistuvien jäätymis- ja sulamisjaksojen seurauksena. Laajempi sisältö luo myös yleiskatsauksen RCA-betonin valmistus- ja valuprosessista, korostaen RCA:n käyttäytymistä sekoituksen ja tiivistyksen aikana.
- Tulokset osoittavat puristuslujuuden merkittävää heikkenemistä RCA:n osuuden kasvaessa. Jäätymis-sulamistestissä havaittiin suurempaa alkuvaiheen pintavaurioitumista RCA-seoksissa, mutta ei pidemmällä jaksolla. Tämä viittaa siihen, että vaikka RCA on aluksi herkempi, sen pitkäaikaiskestävyys jäätymis-sulamisolosuhteissa ei välttämättä ole heikompi korkean huokoisuuden vuoksi. Lisäksi betonin paino ja tiheys vähenivät noin 15 %:lla 50 %-til RCA, mikä osoittaa mahdollisia etuja kevyissä betonisovelluksissa. Havainnot tarjoavat arvokasta tietoa RCA:n käyttökelpoisuudesta kestävästä kierrätysbetonin tuotannossa, erityisesti ei-kantavissa tai kevyesti kuormitetuissa rakenteissa.



6.2.2 Kierrätysbetoni, laboratoriotutkimus, tuloksia

Tutkimus laajempänä kokonaisuutena: “Performance of Recycled Concrete Aggregates (RCA) in Concrete Mix design, Maksim Furminski, 2025”

Puristuslujuuden testitulokset 7, 28 and 90 vuorokauden jälkeen



Jäätymis-sulamistestien tuloksia

RCA ratio	Initial weight (g)	Weight loss (g)			Final weight (g)
		7 days	14 days	56 days	
0% RCA	4908,1	12,7	1,8	14	4879,6
25% RCA	4677,1	24,8	4	14,5	4633,8
50% RCA	4355,4	40,6	3,8	10,3	4300,7
75% RCA	4659,7	29,7	4,9	4,9	4620,2



**Euroopan unionin
osarahoittama**



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

7.1 Seinärakenteiden säätestaus

Taustaa:

Tarkoituksena oli selvittää kahden erilaisen rakenneratkaisun toimivuutta hyvin rankoissa olosuhteissa. Molemmat rakenteet koostuivat pääosin vähähiilisten rakennusmateriaaleista. Toinen ratkaisusta oli periaatteeltaan tuulettuva ja toinen tuulettumaton ulkoseinärakenne.

Laitteisto:

Testaukseen käytettiin HAMKin testauslaboratoriossa olevaa säärastituslaitteistoa:

- Olosuhdetestauslaitteisto seinärakenteiden testaukseen (kosteus- ja lämpökäyttäytyminen)
- Ulko-olosuhteita simuloiva huone
 - Lämpötila -30 °C ... + 60 °C
 - Vaaka-/viistosade sadetussuuttimilla
 - Auringonvalon lämpövaikutus infrapunalampuilla
- Sisäpuolen olosuhteina joko laboratoriossa vallitseva olosuhde tai erillisellä kammiolla säädettävät vakio-olosuhteet





Euroopan unionin
osarahoittama



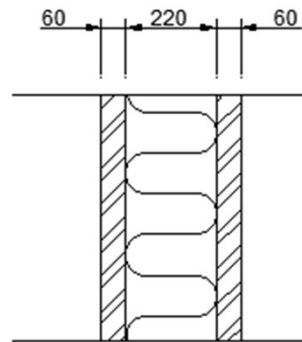
7.2 Seinärakenteiden säätestaus

Testatut rakenteet:

Rakenne 1:

Massiivipuinen sisäkuori
Puupohjainen eriste
Massiivipuinen ulkokuori

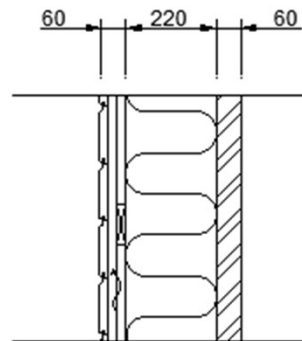
Ei kylmäsiltoja aiheuttavia kiinnikkeitä



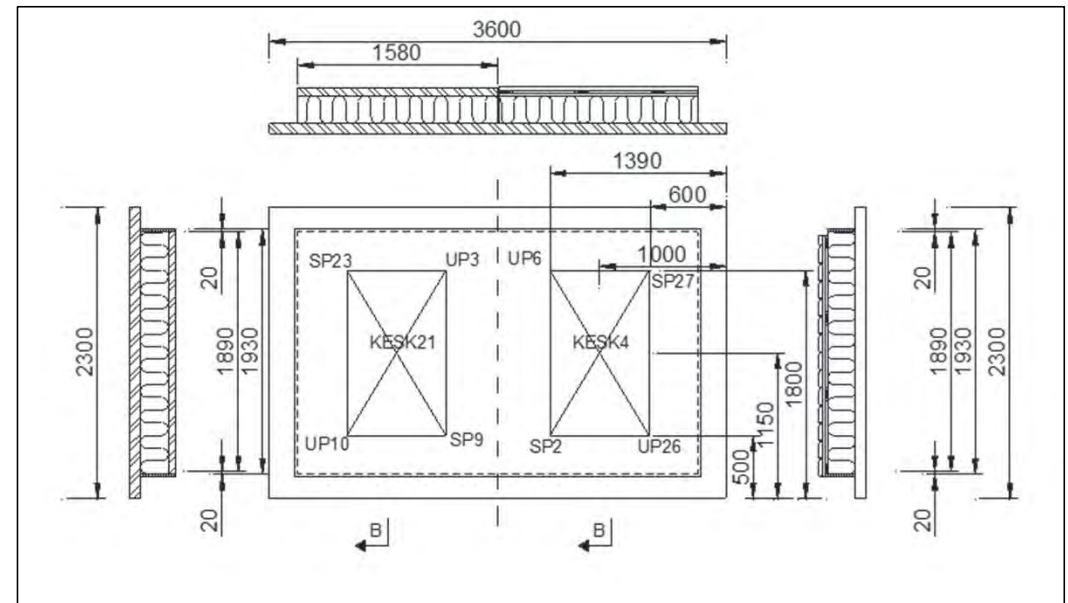
Rakenne 1:

Massiivipuinen sisäkuori
Puupohjainen eriste
Ristiinkoolaus (tuuletus)
Ulkoerhouspaneeli

U-arvo noin 0,17-0,20 W/m²K, ei
mitattu



Rakenteista tehtiin yksi laitteistoon asennettava koeseinä. Koeseinän toinen puoli koostui tuulettumasta ratkaisusta ja toinen puoli tuulettumattomasta rakenneratkaisusta.





Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

7.3 Seinärakenteiden säätetaus





Euroopan unionin
osarahoittama



7.4 Seinärakenteiden säätestaus

Säärasitusjaksot:

Seinärakennetta rasiitettiin kolmessa eri jaksossa.

Ensimmäisessä jakson yhden syklin pituus oli 8 h sisältäen sadetta, pakkasta ja verrattain isoa lämpörasitusta. Yksi sadetus vastasi teoreettisesti kuukauden sademäärää neliömetrille (Helsinki Kaisaniemi, heinäkuu). Tässä jaksossa tavoitteena oli saada paljon lämpötilavaihteluja nollan molemmin puolin kosteissa olosuhteissa. Tämä jakson tarkoituksena oli mallintaa tulevaisuuden syys-talviolosuhteita.

Toisessa jaksossa yhden syklin pituus oli 4 tuntia. Jokaisessa syklissä oli sama sademäärä kuin ensimmäisessä vaiheessa, mutta ei kuivatusvaihetta.

Tarkoituksena oli saada aikaan hyvin kosteat olosuhteet ja rasiitus, jolloin voitiin saada viitteitä rakenteen kosteuskestävyydestä ja puskurointivaikutuksesta.

Kolmas jakso oli kuivatusjakso laboratorio-olosuhteissa eli säälaitteisto ei ollut päällä. Tällä pyrittiin selvittämään seinärakenteiden kuivumiskykyä

I vaihe: 1 sykli/ 3x vrk, yhteensä 50 vrk - 150 sykliä

	Kesto [h]	Lämpötila	
Sade	0,17	ei säätöä	~60 mm/m2 tot.
Pakkasjakso	1,67	-4	
Säteilylämmittimet	0,50	30	
Lämmin jakso	2,00	4	
Sade	0,17	ei säätöä	~60 mm/m2 tot.
Pakkasjakso	2,50	-2	
Säteilylämmittimet	0,50	30	

II vaihe: 1 sykli/ 6x vrk, yhteensä 30 vrk - 180 sykliä

	Kesto [h]	Lämpötila	
Sade	0,17	ei säätöä	~60 mm/m2 tot.
Lämpötila	3,83	+8	

III vaihe: Lopuksi vapaa kuivaus ja seuranta 20 vrk

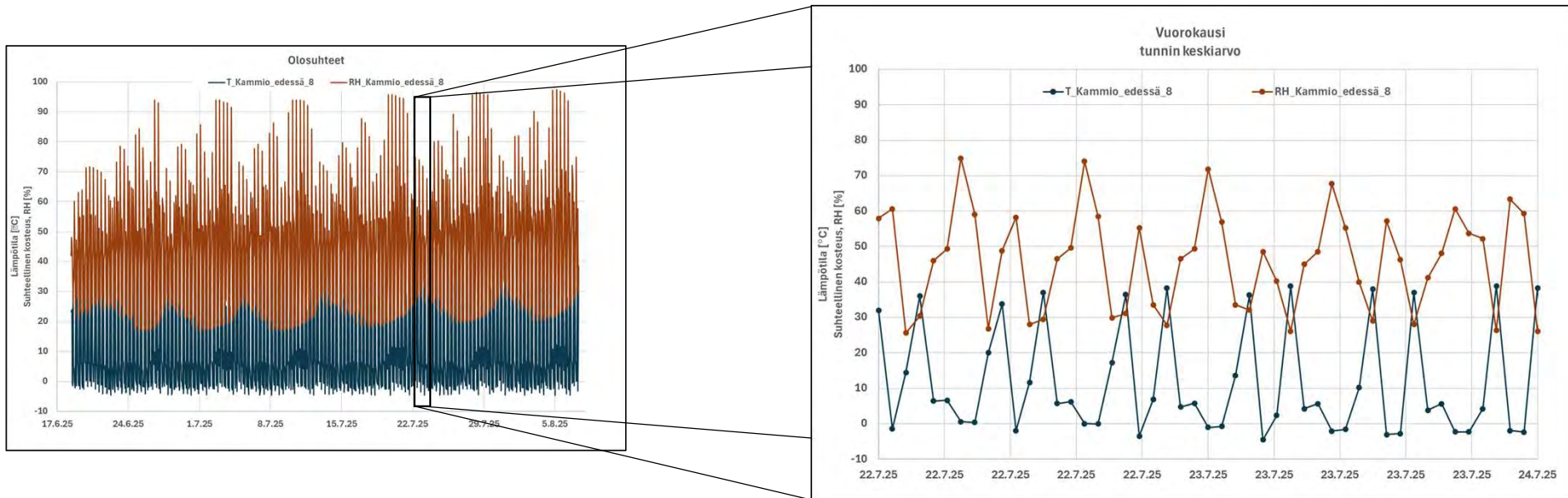


Euroopan unionin
osarahoittama



7.5 Seinärakenteiden säätestaus

Mitatut olosuhteet, jakso I: Arvot ovat tunnin keskiarvoja, todelliset
maksimi- ja minimiarvot ovat suurempia ja alaisempia

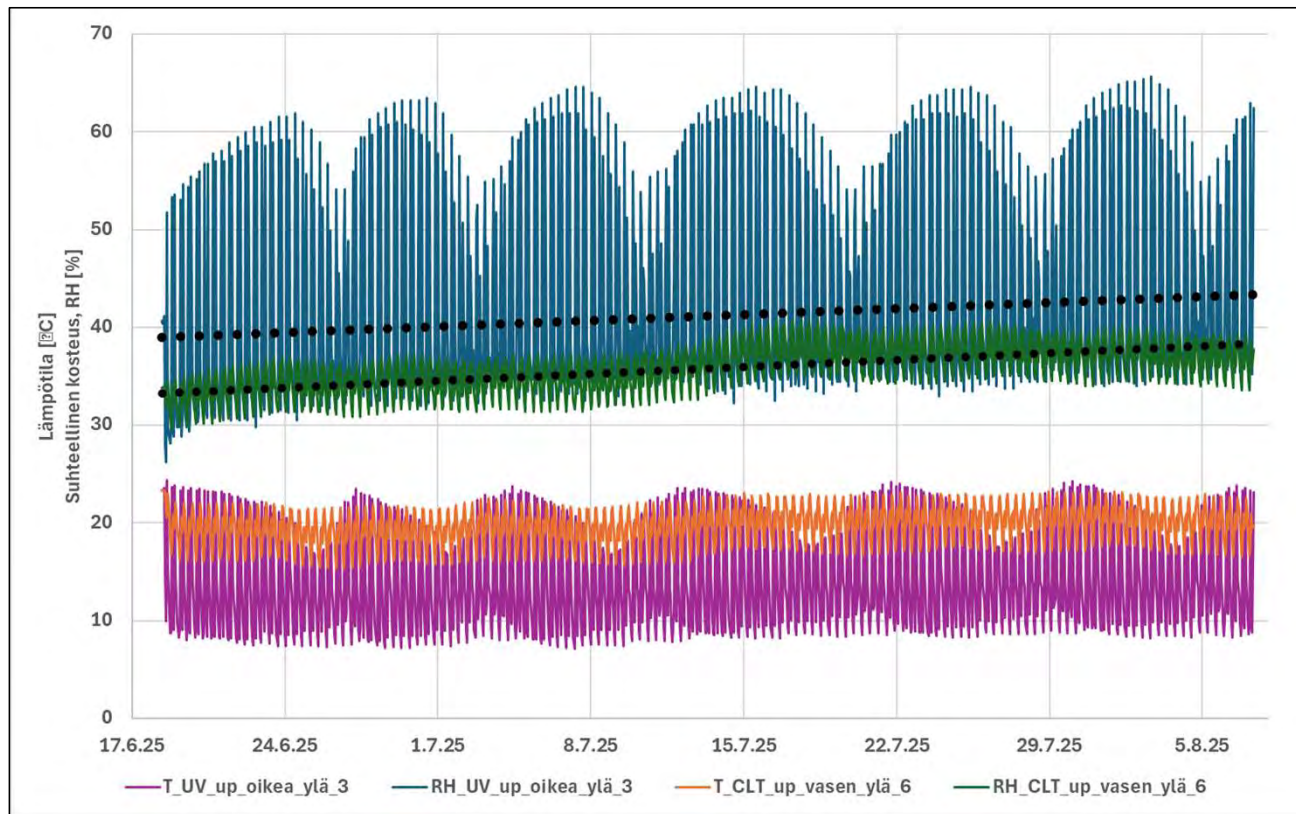




Euroopan unionin
osarahoittama



7.6 Seinärakenteiden säätestaus



Eristeen ulkopinta:

Tuulettuvalla rakenteella sekä suhteellisen kosteuden että lämpötilan amplitudi on huomattavasti suurempi verrattuna tuulettumattomaan rakenteeseen. Näin on myös huokostilan vesihöyrypitoisuuden osalta. Yhtenä syynä tähän on tietenkin ulkokuorena käytetyn puun massiivisuus ja lämmönvastus eli tuulettumaton rakenne reagoi hitaammin sykliseen vaihteluun.

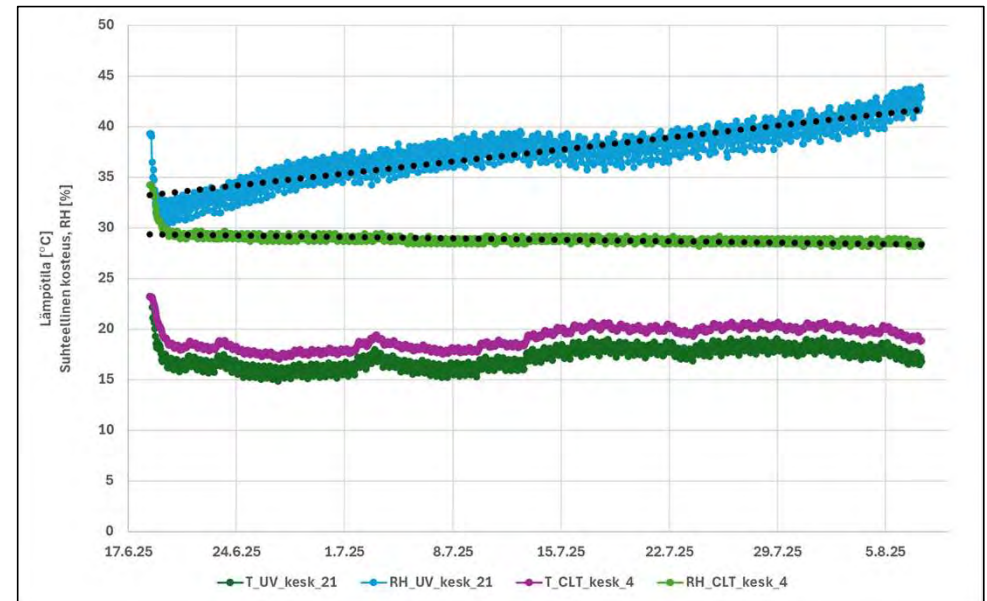
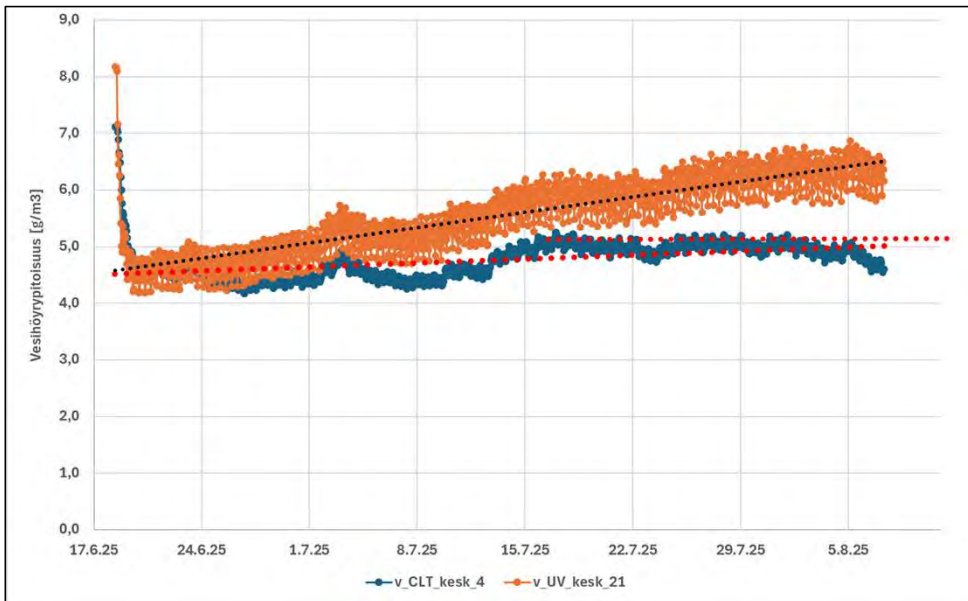
Absoluuttiset arvot ovat varsin maltillisia molemmilla rakenteilla, ollen esim. homeenkasvun kannalta turvallisella puolella.



Euroopan unionin
osarahoittama



7.7 Seinärakenteiden säätetaus



Eristeen keskikohta:

Tuulettuvalla rakenteella eristeen keskikohdan huokostilan vesihöyrypitoisuus kasvaa koko testin ajan eli eriste "kastuu" (vasen kuva). Tuulettumattomalla rakenteella vastaava kohta sen sijaan näyttäisi saavuttavan testin aikana kosteuden suhteen stationääritilan ja aivan lopussa jopa hiukan "kuivuvan". Myös suhteellinen kosteus (oikea kuva) näyttää vastaavanlaista käyttäytymistä. Keskikohdan syklin amplitudissa vesihöyrypitoisuuksien osalta on havaittavissa ero eri rakenteiden välillä. Myös tähän vaikuttaa ulkopuolisten rakenteiden lämmönvastukset. Joka tapauksessa tuulettumattomalla rakenteella on tässä mielessä selkeästi puskurointivaikutusta verraten nopeisiin olosuhteiden muutoksiin.

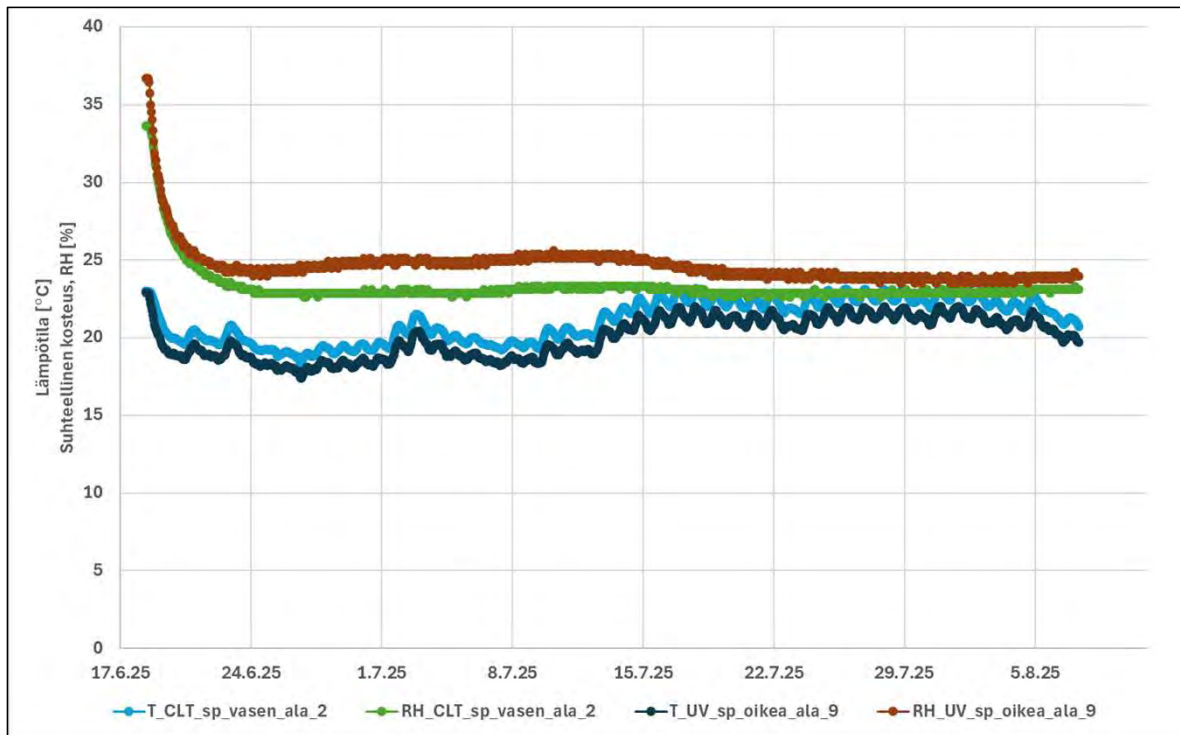


Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

7.8 Seinärakenteiden säätestaus



Eristeen sisäpinta:

Eristetilan sisäpinnassa ei merkittäviä eroja ole. Suurin osa lämmönvastuksesta on rakenteen ulkopuolella, joten lämpötilakenttä on varsin sama. Pieni ero voi johtua lämmönvastusten erosta. Tuulettumattomalla puolella lämpötila hivenen korkeampi ja sitä kautta RH alempi, mutta ero hyvin pieni.

Molempien puolien kosteustasot varsin alhaiset, eikä kosteuden siirtymistä näyttäisi tapahtuvan merkittävässä määrin.

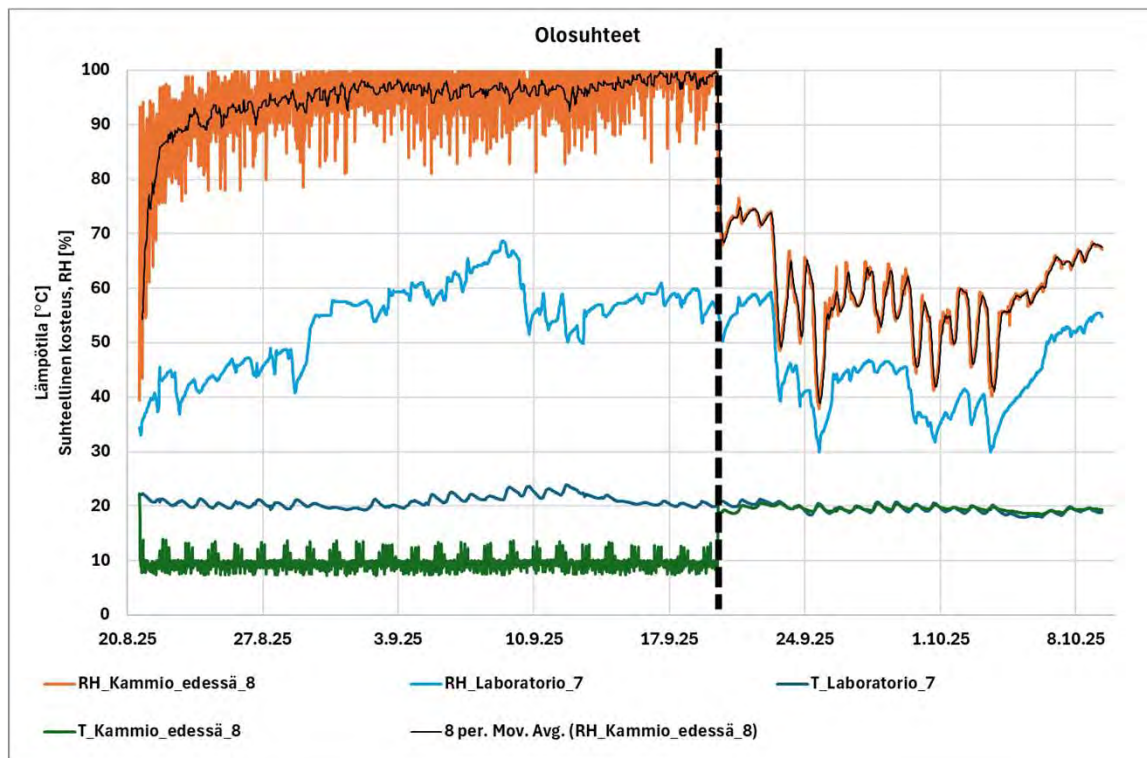


Euroopan unionin
osarahoittama



7.9 Seinärakenteiden säätestaus

Jakso II ja III



Mitatut olosuhteet, jakso II ja III:

Jakson II tarkoituksena oli rasittaa seiniä hyvin ankaralla kosteusrasituksella noin kuukauden ajan. Seinät saivat jokaisen vuorokauden aikana 12 kertaa sadetuksen, joista jokainen vastasi noin kuukauden sademäärää Etelä-Suomen alueella. Lämpötila oli alimmillaan +8 astetta. Nämä olosuhteet ovat erittäin otolliset homeenkasvua ajatellen, vaikkakaan testin aikana itse homeetta ei ehdi syntyä, pystytään tarkastelemaan mm. eristetilan olosuhteita tältä kannalta.

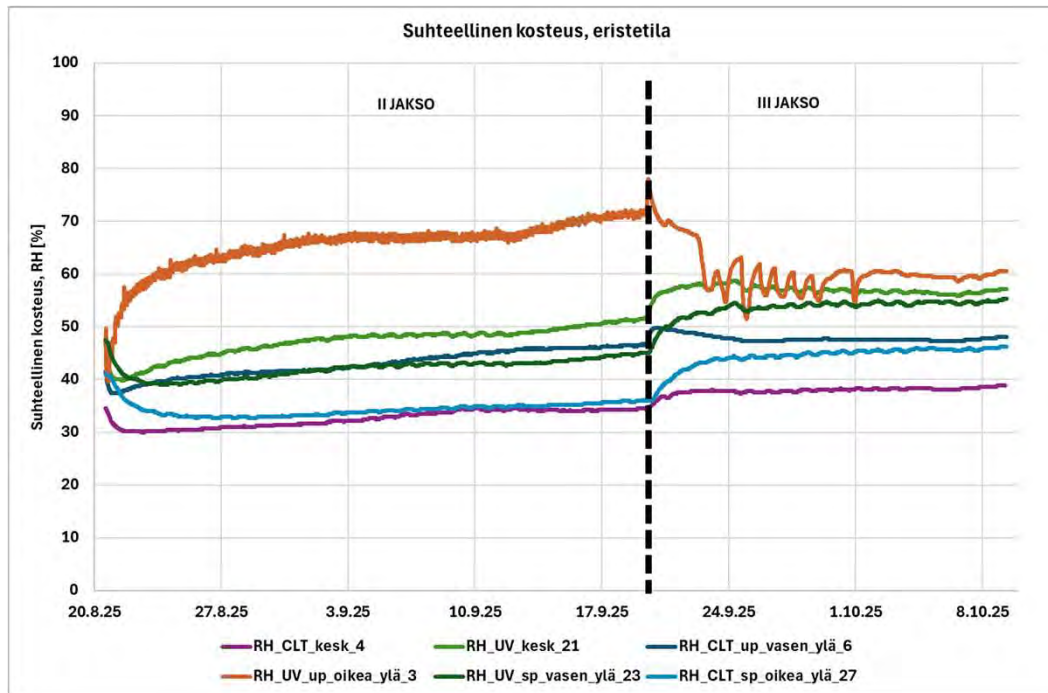
Jakso III oli tietynlainen kuivumis- tai tasoittumisjakso, jonka aikana mitään syklejä ei enää ajettu vaan testirakenteet saivat olla vapaasti laboratoriossa vallinneissa olosuhteissa jatkaen mittauksia (katkoviivan oikea puoli).



Euroopan unionin
osarahoittama



7.10 Seinärakenteiden säätetaus



Suhteellinen kosteus, eristetila:

Oheisessa kuvassa on molempien rakenteiden suhteelliset kosteudet eristetilassa (ulkopinta-keskikohta-sisäpinta).

Tuulettuvassa rakenteessa (UV) kosteudet ovat kauttaaltaan hivenen korkeammalla tasolla, ja jakauma näyttäisi olevan kasvava ulospäin mentäessä. Sitä vastoin tuulettuvassa (CLT) näyttäisi keskikohdan kosteus olevan alempi kuin sisä- tai ulkopinnassa. Tämä antaisi viitettä siitä, että eriste ei ole saavuttanut tasapainotilaa ja keskiosissa olisi edelleen kosteuden sitomiseen kapasiteettia jäljellä.

Jaksolla III tasoittuminen on erittäin hidasta lukuun ottamatta tuulettuvan ratkaisun ulko-osia. Koska kyseessä on hyvin hygroσκοoppisia materiaaleja, tasoittuminen lopulliseen tilanteeseen kestäisi kauan (kuukausia).

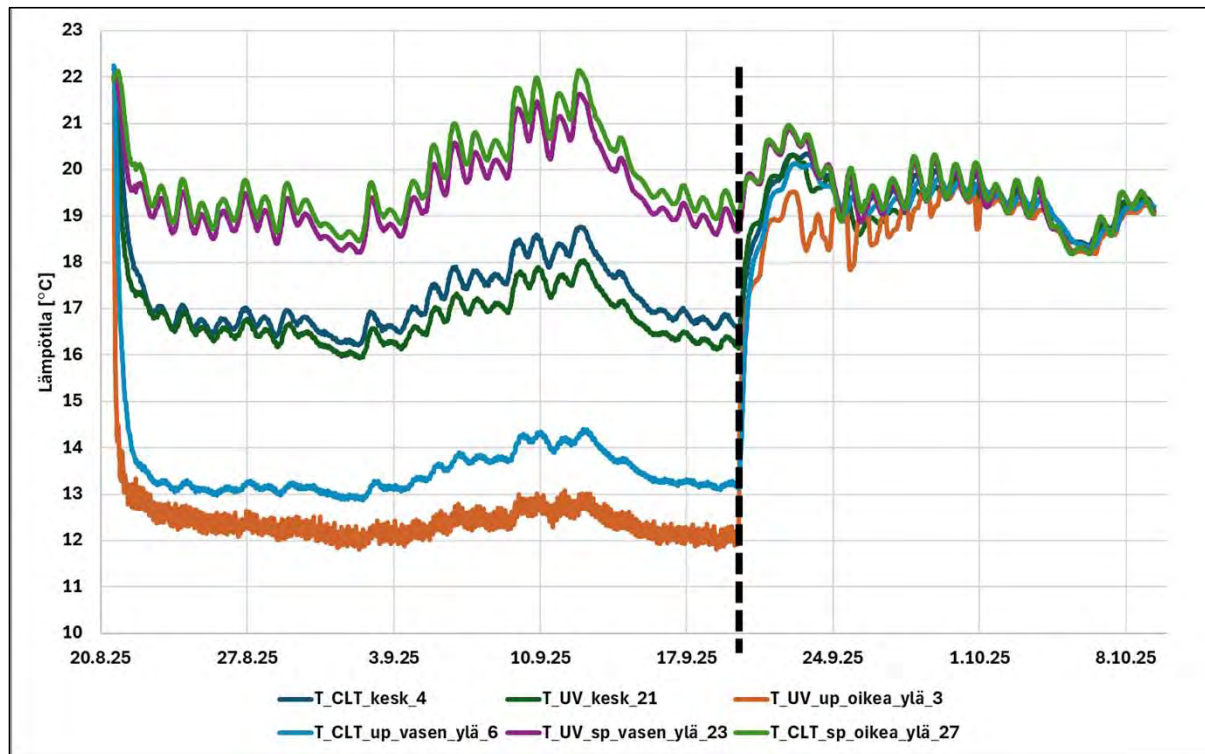


Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

7.11 Seinärakenteiden säätestaus



Lämpötilat, eristetila:

Lämpötilat eristetilassa vastaavat rakenneosien lämmönvastuksia. Tuulettumattomalla puolella lämpötila hivenen korkeampia johtuen ulkokuoren lämmönvastuksesta. Tällä puolella myös jakson II jälkeen tasoittuminen kestää samasta syystä hivenen pidempään

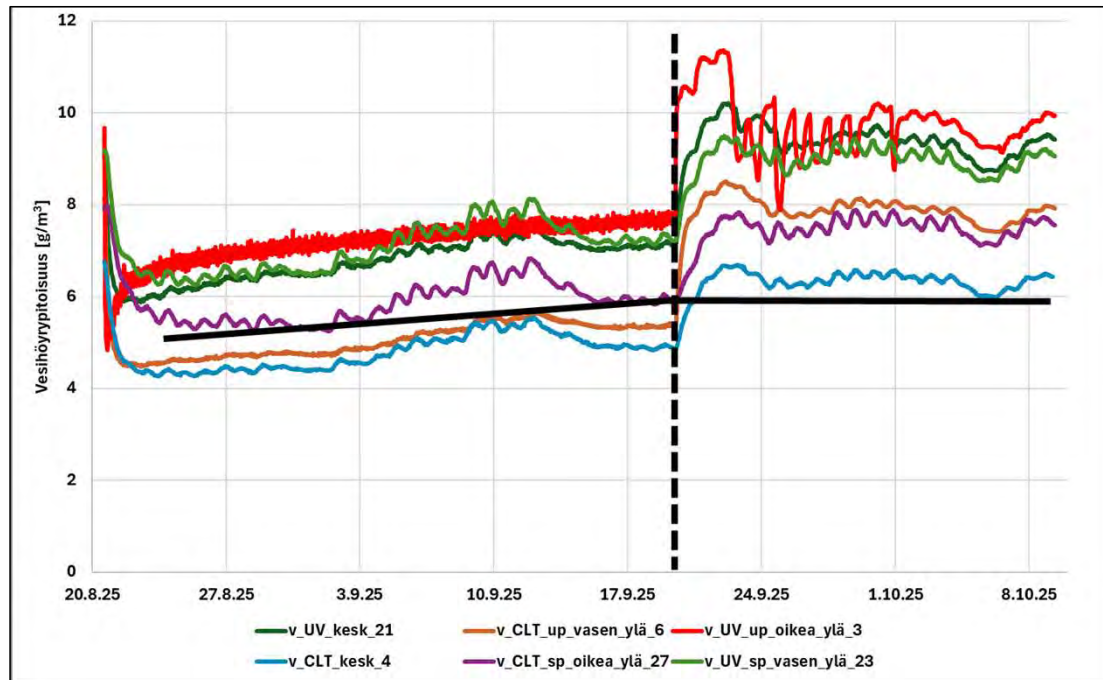


Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

7.12 Seinärakenteiden säätestaus



Vesihöyrypitoisuus, eristetila:

Lasketut huokostilan vesihöyrypitoisuudet vastaavat pitkälti RH kuvaajia. Tuulettumattomalla puolella näyttäisi olevan eristeessä kosteuden sitomiskapasiteettia jäljellä. Molemmissa rakenteissa kosteus on jaksolla II loivassa nousussa, mutta tämän perusteella eristeessä näyttäisi olevan verrattain suuri kosteuden sitomiskapasiteetti. Tällä on hyviä puolia ajatellen vikasietoisuutta. Toki on huomattava, että myös kuivuminen on hidasta.

Kosteusvirran suunta diffuusiota ajatellen oli kuitenkin pääsääntöisesti lämpimästä kylmään, ulko-osissa sitten sadetuksen vaikutus oli suurimmillaan

Puun kosteudet jakson II jälkeen sääkammion puolella olivat CLT puolella 19... 23 paino-%, ja ulkoverhouspuolella (rasitus molemmin puolin) 25...29 paino-%.



Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

7.13 Seinärakenteiden säätestaus

Ulkopuolen pinta 18.8.25 Jakson I jälkeen



Ulkopuolen pinta 19.9.25 Jakson II jälkeen



CLT puolen pinnalla oli havaittavissa pientä turpoamisessa johtuvaa pinnan elämistä. Halkeamia tai muuta vastaavaa rapautumista ei havaittu. Pinnan eläminen oli siis tässä lähinnä esteettistä. Ulkoverhouspuolella ei havaittu mitään merkittävää kulumista.



Euroopan unionin
osarahoittama



8.1 Aurinkopaneelien vaikutuksia kattopinnoitteisiin

Tausta:

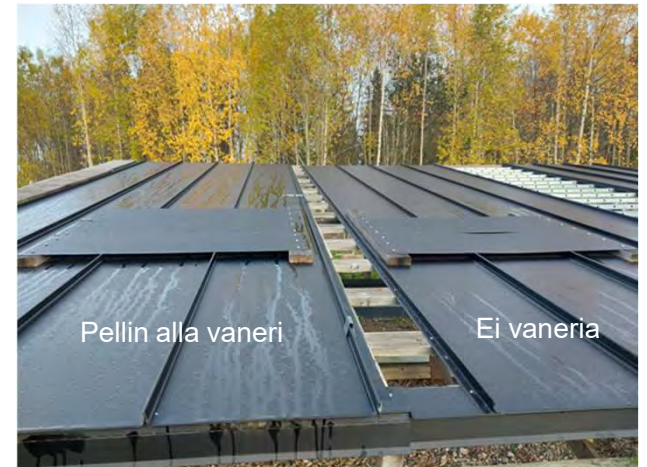
Aurinkopaneelit yleistyvät kiihtyvällä tahdilla. Valmistajilta löytyy paneelien kiinnittämiseen useita erilaisia tapoja riippuen kuormituksesta ja siitä onko kyseessä uusi vai vanha katto, katemateriaalista, katon kaltevuudesta, aurinkopaneeleista jne. Paneelien alla olevista olosuhteista on kuitenkin verraten vähän dataa olemassa.

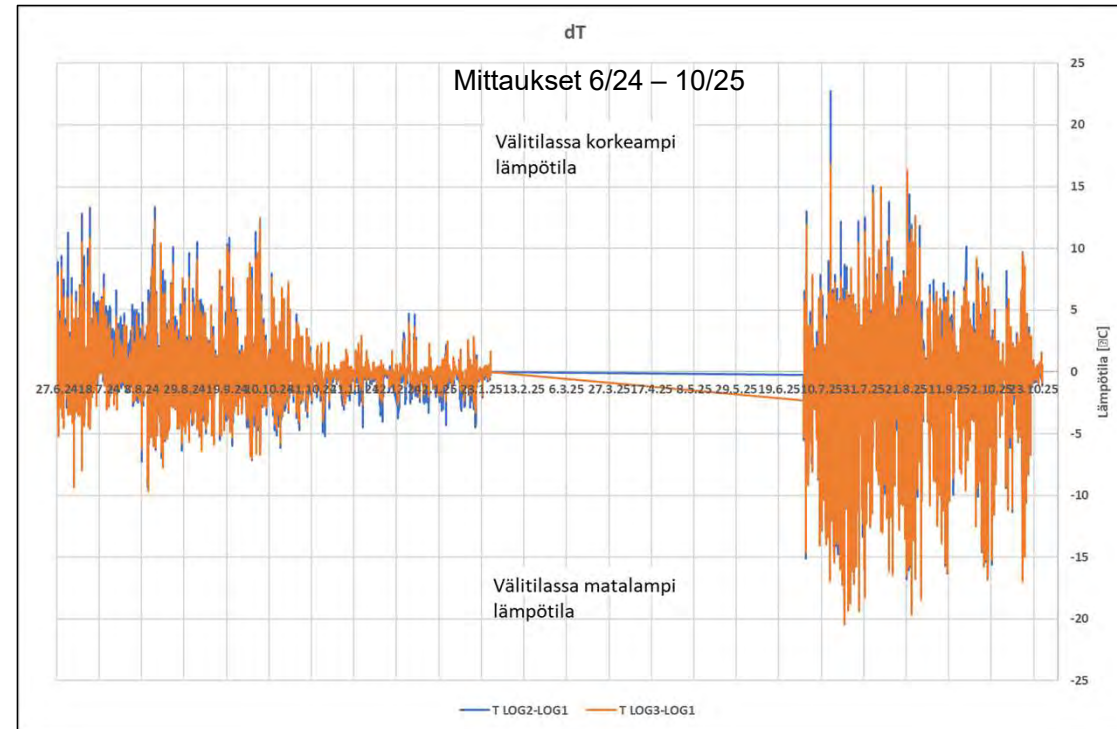
Menetelmä:

Tässä projektissa pyrittiin mallintamaan ja seuraamaan lappeen tasoon asennettavien aurinkopaneelien alla olevia olosuhteita. Tämän perusteella pyrittiin arvioimaan rasitusta/ muuttuvia rasituksia, jotka kattoille ja niiden pinnoitteille syntyy aurinkopaneelien asennuksesta johtuen.

Aurinkopaneeleita mallinnettiin 1200x800 ja 1200x1000 (mm²) kokoisilla teräsohutlevyillä. Kiinnitysetäisyys oli 35 mm vanhan peltikatteen pinnasta, mikä kuvastaa aurinkopaneelien kiinnityksiin käytettyjä matalia kiinnikkeitä. Katon kaltevuus oli noin 10 astetta. Mitattavia 'paneeleita' asennettiin kaksi SSAB:n koekentälle (27.6.2024). Kummankin kappaleen alle (katteen ja 'paneelin' väliin) asennettiin dataloggeri (PeakTech®) sekä yksi loggeri mittamaan ulko-olosuhteita (lämpötila ja suhteellinen kosteus).

Seuranta tehtiin 6/24-10/25 välisenä aikana. Lopuksi 'paneelit' irrotettiin ja katteen pinnat tarkastettiin.







Euroopan unionin
osarahoittama



8.3 Aurinkopaneelien vaikutuksia kattopinnoitteisiin

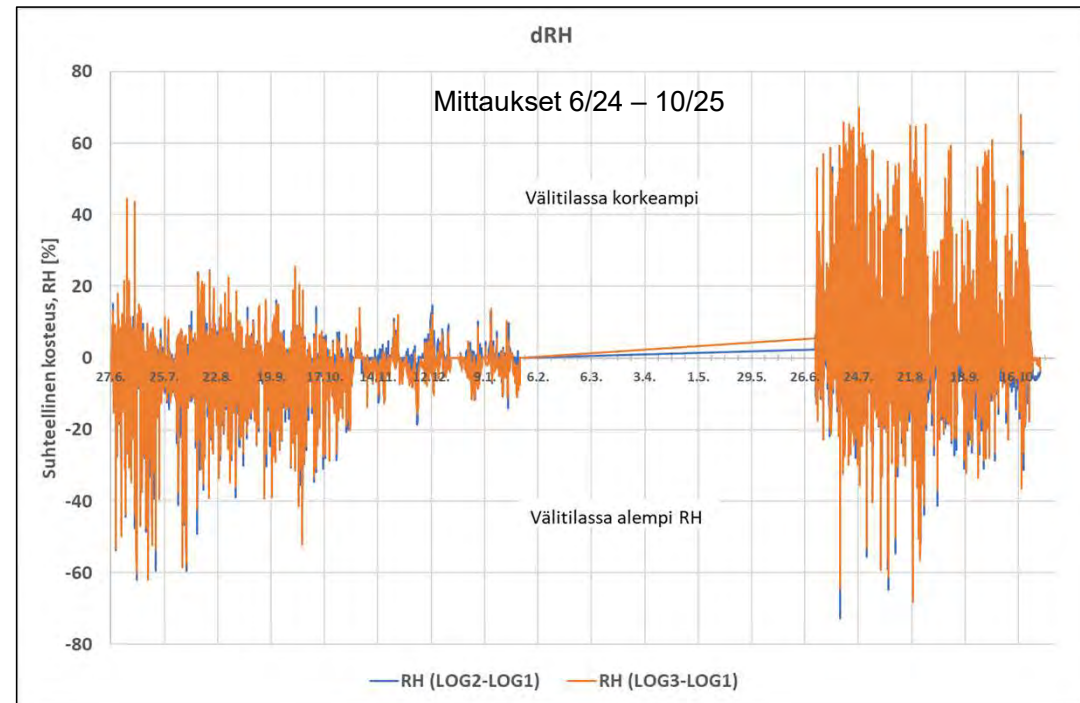
Tulokset:

Suhteellinen kosteus, RH

Oheisessa kuvassa on esitetty ulkoilman ja paneelien alla olevan ilmatilan (välitilan) välinen suhteellisen kosteuden ero molempien paneelien puolelta mitattuna. RH eron summaa ei ole mielekäästä tarkastella, koska antureihin syntyvä kondenssi johtaa summaa väärään suuntaan. Suhteellisen kosteuden erot keskiarvona tarkasteltuna olivat verraten pienet $-0,5 - 2,5 \%$ RH. Yksittäisten vuorokausien aikana erot saattoivat olla huomattavan suuria (jopa 60% RH), joka johtui suurimmalta osin lämpötilan vaihtelusta ja ilmapäin hitaammasta reagoinnista ulkoilman vaihteluun.

Lämpötilan ja RH:n perusteella lasketun ilman vesihöyrypitoisuuden vaihtelu oli niin ikään verraten pientä $n. -0,4 - 0,1 \text{ g/m}^3$. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että pitemmällä jaksolla suurin muuttuja välitilassa on lämpötila.

Kondenssiaika, jolloin suhteellinen kosteus ulkoilmassa oli 100% RH tai hyvin lähellä sitä, oli välitilassa pääsääntöisesti selvästi ($n. 40 \%$) lyhyempi kuin ulkoilmassa yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta.





Euroopan unionin
osarahoittama



8.4 Aurinkopaneelien vaikutuksia kattopinnoitteisiin

Visuaaliset havainnot

Mittausten päättyessä (10/25) paneeleita mallintavat levyt poistettiin, anturit poistettiin ja pintaa tarkasteltiin visuaalisesti. Mitään varsinaisia vaurioita ei havaittu eikä isompaa roskaa muutamia koivunlehtiä lukuun ottamatta. Hienojakoista likaa sen sijaan oli hyvin havaittavissa (kuva), vaikkakin kattopinta oli verrattain liukas ja oli satanut runsaasti.



Johtopäätöksiä:

- Erot olosuhteissa varsin pieniä pitemmällä aikavälillä.
- Vuorokautiset/ lyhytkestoiset vaihtelut etenkin kesäaikaan voivat olla suuriakin, mutta tällä ei merkitystä toiminnalle.
- Välitilan olosuhteiden muutos viiveellä. Viive suurempi kun alapuolisissa rakenteissa lämpökapasiteettia (vaneri – ei vaneria)
- Tietyissä ulkoilman olosuhteissa paneelien voi katsoa jopa suojaavan katemateriaalia.
- Katteesta riippuen riski roskaantumiselle ja epäpuhtauksien kerääntymiselle. Tällöin riskinä voi olla veden kosteuden kerääntyminen ja sitä kautta pinnoitteen vaurioituminen.
- Tutkitussa tapauksessa kyseessä oli hyväkuntoinen peltikate, suotuisa paikka ja mittausaika verraten lyhyt. Tässä saatujen tulosten voidaan katsoa koskevan ”hyvin toimivaa” tapausta.
- Lisää tutkimusta tarvittaisiin erilaisille katemateriaaleille ja välitilan varioinneille sekä paikalle (ilmansuunnat), ja koekohteita, joissa alapuoliset tilat olisivat lämmintä tilaa, jolloin ulosjohtuva lämpövirran vaikutus tulisi myös huomioitua.
- Yhtenä johtopäätöksenä voitaneen kuitenkin suositella paneelien alapuolisten tilojen säännöllistä tarkistusta ja huoltotoimenpiteitä.



Euroopan unionin
osarahoittama



9.1 Yhteenveto ja johtopäätökset

Mitä tutkittiin	Riskitekijät	Havainnot/ huomiot	Toimenpiteet (huomioitavia asioita käyttäjille)
Teräksen pinnoitteiden säänkestävyys	Viistosade, jäätymis-sulamissykli	- Testatut vähähiiliset maalipinnoitteet kestivät syklisiä talviolosuhteita hyvin muovattuinkin - Sääkokeissa havaittiin mahdollisesti epäpuhtauksista aiheutunutta esteettistä haittaa nopeissa jäätymissykleissä	- Vähähiiliset teräksen maalipinnoitteet kestävät varsin hyvin muuttuvia sääolosuhteita - Kiihdytettyjen sääkokeiden tekeminen tuo lisävarmuutta pitkän käyttöiän materiaalien ja pinnoitteiden kestävydestä, mutta tulee myös muistaa, että kiihdytetyt testit eivät koskaan vastaa täysin todellisia olosuhteita
Seinäpaneelin (ohutlevyn) liimattavuus	Kosteus, korkeat lämpötilat	- Standarditesti (kiilakoe) on jo melko rankka sellaisenaan, merkittävää eroa ei havaittu pidempikestoisen testin tuloksiin - Standarditestillä selviää jo useimmiten pinnoitteiden todelliset haasteet liimattavuudessa - Testituloksiin vaikuttavat monet muutkin tekijät, ei vain testin pituus	- Liimattavuusominaisuudet kannattaa varmistaa vähintään lyhyellä kiilakokeella - Tulee huomioida testiä tekevien tahojen menetelmien mahdolliset eroavaisuudet ja vaikutukset tuloksiin
Pinnoitteiden UV-kestävyys	UV-säteily, kosteus, pinnoitteiden lämpeneminen	- Testivertailussa saavutettiin keskenään samankaltaisia tuloksia, mutta korkean lämpötilan testillä havaittiin selkeämpää vaikutusta pinnoitteiden kiiltoon - Testissä ei havaittu selkeitä eroja testattujen tummien ja vaaleiden pinnoitteiden lämpenemisessä	- Testimenetelmä kannattaa valita pinnoitteen tavoitellun keston mukaan, sillä kaikilta pinnoitetyypeiltä ei vaadita parasta UV-kestävyyttä - Korkean lämpötilan pidempää testiä voitaneen suositella, jos halutaan saada aikaan selkeämpiä eroja eri pinnoitteiden välille - Mahdollisissa jatkotesteissä tulee huomioida testattavien pinnoitteiden samankaltaisuus, jos halutaan vertailla esim. pinnoitteiden lämpenemistä, eli ei liikaa muuttuvia tekijöitä tutkittavaksi yhtäaikaan



Euroopan unionin
osarahoittama



9.2 Yhteenvedo ja johtopäätökset

Mitä tutkittiin	Riskitekijät	Havainnot/ huomiot	Toimenpiteet (huomioitavia asioita käyttäjille)
Homerajatarkastelut	Kosteus, lämpötila	- Ilmastonmuutos nostaa homeenkasvunriskiä - Eroja alueittain (maakunnittain) - Ilmansuunnilla on merkitystä	- Rakennusfysikaalinen tarkastelu, sisältäen homerajatarkastelun, on suositeltavaa tehdä - Tarkastelu tulisi tehdä eri ilmastoskenaarioilla ottaen huomioon alueelliset erityispiirteet - Uusien materiaalien osalta varmistuttava ominaisuustietojen oikeellisuudesta - Tarkastelu tulisi ulottaa rakennuksen eri ilmansuunnille
Puun pinnoitteet, ulkotestaus	Auringonsäteily, kosteus, home	- Testatut vähähiiliset pinnoitteet (hukkakahvi, puunkuoret) eivät kestäneet ulko-olosuhteita kaupalliseen pinnoitteeseen verraten - Suurempi vähähiilisten komponenttien määrä lisättynä pinnoitteeseen johti heikompaan säänkestoon. - Homeenkasvu oli merkittävää ko. alueella jo lyhyessäkin ajassa	- Ulkotestaus voi antaa lyhyessäkin ajassa tuloksia kokeellisille pinnoitteille todellisissa olosuhteissa, etenkin kestävyys ollessa heikko
Puun pinnoitteet, xenon	Auringonsäteily, kosteus	- Testatut vähähiiliset pinnoitteet (hukkakahvi) eivät pärjänneet kiihdytetyssä testissä kaupalliselle pinnoitteelle - Suurempi vähähiilisten komponenttien määrä lisättynä pinnoitteeseen johti heikompaan säänkestoon	- Kiihdytetyillä testeillä saadaan nopeasti tuloksia, mutta tulee muistaa, että kiihdytetyt testit eivät koskaan vastaa täysin todellisia olosuhteita



**Euroopan unionin
osarahoittama**



9.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Mitä tutkittiin	Riskitekijät	Havainnot/ huomiot	Toimenpiteet (huomioitavia asioita käyttäjille)
Kierrätysbetonin kestävyys	Lujuus, pakkasrapautuminen, pitkäaikaiskestävyys, materiaalin tasalaatuisuus	- Raekoolla ja seossuhteilla oleellinen merkitys lopputuotteen ominaisuuksiin - Käytettävän materiaalin laadulla vaikutusta - Käyttökohteen vaadittavat ominaisuudet määrittävät mahdollisen käytön - käyttö lähinnä ei rakenteellisissa kohteissa	- Käyttötarkoituksesta riippuen laadun testaus - Kierrätysbetonin laadunvalvonta (tasaisuus, alkuperä ja puhtaus) - Suhteitus / raekoon hallinta - Käytössä ja kehittämisessä vielä tehtävää
Rakenneosien säänkestävyys	Kosteus, lämpötila, lämpötilan vaihtelut, sade, viistosade, uv, paine-erot	- Säärasitusryhmien rakentaminen käyttötarkoituksen mukaisesti ottaen huomioon ilmastoskenaariot - Vaikeutena määrittää testien perusteella tarkkaa aikaa pitkäaikaiskestävyydelle - Toimii lisävarmuutena laskennalliselle analyysille - Detaljikohtien toimivuudesta saadaan lisää tietoa	- Etenkin rakenteille, joista ei ole kokemusperäistä tietoa, suositeltavaa tehdä syklinen säärasitustestaus - Syklienketoa ja rasiusta voi säätää tapauskohtaisesti ottaen huomioon haluttu vaatimustaso/ käyttösovellus - Antaa uusien materiaalien toimivuudesta hyvin tietoa
Aurinkopaneelin vaikutus kattopinnoitteisiin	Kosteus, lämpötila, epäpuhtaudet	- Olosuhteet paneelin ja kateen välissä muuttuu - Riski kateen likaantumislle, kulumislle ja mahdollisesti vaurioitumislle olemassa (riippuen kiinnitystavasta)	- Huollettavuus otettava huomioon - Säännölliset tarkastukset



Euroopan unionin
osarahoittama



9.4 Suosituksia materiaalien pitkäaikaiskestävyyteen liittyen

Keinoja materiaalien pitkäaikais- kestävyyden varmistamiseksi

- Uusien materiaalien ja pinnoitteiden pitkäaikaisominaisuudet selvitettävä ennen käyttöä
 - Varmistuttava uusien pinnoitteiden ja kierrätystuotteiden tasalaatuisuudesta ja harkittava lisäsuojauksia käyttökohteen mukaan
- Testisyklejä on mahdollista kehittää vastaamaan enemmän tulevaisuuden ennustettuja ääriolosuhteita (enemmän kosteutta, suurempia lämpötilavaihteluita), myös alueelliset erityispiirteet huomioiden
- Säänkestävyyttä on suositeltavaa testata erilaisissa olosuhteissa
 - Säärasitustestaus rakenneratkaisuille tai isoille rakenneosille
 - Laboratoriotestaus pienille koekappaleille / materiaaleille
 - Biopohjaisten pinnoitteiden käyttö tulee tarkoin selvittää ulko-olosuhteissa
- Julkisivujen / ulko-osien säännöllinen tarkastus ja huolto
- Homerajatarkastelu on eduksi tehdä erilaisissa ilmastoskenaarioissa
 - Uusille materiaaleille/pinnoitteille kannattaa selvittää homerajatarkasteluun tarvittavat lähtöarvot
- Kiihdytetyt testit ja ulkotestit täydentävät toisiaan
 - Kiihdytetyillä testeillä saadaan nopeasti tuloksia, mutta tulee muistaa, että kiihdytetyt testit eivät koskaan vastaa täysin todellisia olosuhteita
 - Rasitustasoa voidaan säätää tapauskohtaisesti ja uusien materiaalien kohdalla pitää ankarammat syklit, kunnes pitkäaikaiskestävyys tunnetaan
- Syklisistä olosuhdetesteistä saadaan lisävarmuutta laskennallisille malleille
- Tuotteet kannattaa suunnitella siten, että ne ovat helposti tarkastettavissa ja huollettavissa



**Euroopan unionin
osarahoittama**



HAMK
Hämeen ammatti-
korkeakoulu



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

**Raportti on kirjoitettu osana Kanta-Hämeen rakennetun ympäristön
sopeutuminen ilmastonmuutokseen (ILMARA) -hanketta.
ILMARA-hanke saa osarahoitusta Euroopan Unionilta.**