



Ilmastonmuutoksen rakennus- fysikaaliset vaikutukset

Julkisivurakenteiden suunnittelu

Arttu Lehtonen

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2020

Rakentamisen ylempi tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakentamisen ylempi tutkinto-ohjelma

LEHTONEN, ARTTU:

Ilmastonmuutoksen rakennusfysikaaliset vaikutukset
Julkisivurakenteiden suunnittelu

Opinnäytetyö 254 sivua, joista liitteitä 120 sivua
Marraskuu 2020

Opinnäytetyössä tutkittiin ilmastonmuutoksen vaikutusta julkisivurakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaan. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää nykypäivän rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ja tehdä tämän pohjalta päätelmiä rakenteiden käytettävyydestä tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Tutkimus tehtiin rakennusfysikaalisen simuloinnin avulla Wufi Pro ohjelmistolla, käyttäen ilmastodatana rakennusfysikaalisia testivuotia tulevaisuuden ilmastoon. Tutkittavia rakenteita olivat eristerappausjärjestelmät, tuulettuvat levyjulkisivut ja levyrapaus sekä kuorimuurattu julkisivu.

Tutkimuksen perusteella todettiin tulevaisuuden ilmasto-olosuhteiden olevan nykyistä ankarampia kaikille julkisivurakenteille. Erityisesti eristerapattujen ulkoseinien sekä kuorimuurauksen osalta rakenteiden eristyskerroksiin syntyy tulevaisuudessa olosuhteet, jotka mahdollistavat homeen kasvun rakenteessa. Tämä ei kuitenkaan vielä tarkoita, että rakenteissa kasvaisi homea. Levyverhottu ja levyrapattu tuulettuva julkisivurakenne toimivat rakennusfysikaalisesti paremmin. Rakenteissa voi syntyä homeen kasvulle suotuisat olosuhteet tuulensuojalevyn taakse, mikäli levyn materiaali on herkkä homeen kasvulle.

Tutkimuksen tuloksena todettiin eristerapattujen ulkoseinärakenteiden olevan riskialttiita tulevaisuuden ilmastossa. Homeen esiintymisen osalta tarvitaan lisää tutkimusta toteutuneista eristerapatuista kohteista. Kuorimuuratun julkisivun osalta toimivuutta voidaan parantaa, kun estetään kosteuden siirtyminen muurauksesta syvemmälle rakenteeseen rakenteellisin ratkaisuin. Levyverhottu tai levyrapattu tuulettuva julkisivurakenne on turvallinen vaihtoehto, kunhan tuulensuojalevyn materiaalivalintaan kiinnitetään huomiota. Tutkimuksen perusteella on syytä korostaa suunnittelussa kohdekohtaisen rakennusfysikaalisen mallinnuksen merkitystä.

Asiasanat: ilmastonmuutos, julkisivu, rakennusfysiikka, home, homeindeksi, eristerappaus, levyrapaus, kuorimuuraus, wufi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Construction
Engineering

LEHTONEN, ARTTU
Building physical effects of climate change
Façade engineering

Masters's thesis 254 pages, appendices 120 pages
November 2020

This Masters's thesis studied effects of the climate change on building physical function of facade structures. The purpose of the study was to test building physical function of the facade structures used today and draw conclusions of the usability of the structures in future climate conditions. The study was carried out by using heat and moisture transport calculations with Wufi Pro software. Climate data used in the calculations were future climate building physical test years. Studied structures were external thermal insulation composite systems, ventilated facade systems both slab and slab plaster and ventilated brick-cladding.

The study showed that future climate conditions will be harsher than present for all facade structures. In case of external thermal insulation composite system and brick-cladding, conditions in the insulation layer may allow mold growth in the structure. However, this does not yet mean that there will be mold growth in the structure. Ventilated slab and slab plaster systems function better in these conditions. There can occur conditions that can allow mold growth behind the wind protection board if the material of the board is sensitive to mold growth.

Result of the study shows that in external thermal insulation composite systems there are some possible risks in future climate. Future research of possible mold growth in existing buildings with external insulation composite systems is needed. In the case of brick-cladding the functionality can be improved with structural solutions. Ventilated slab and slab plaster systems are safer options if the material choice of wind protection is correct. Based on the research importance of site-specific building physics modeling should be underlined in the design process.

Key words: climate change, facade, building physics, mold, wufi

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Taustaa	7
1.2	Tutkimuksen tavoite ja rajaus	8
2	JULKISIVURAKENTEISIIN KOHDISTUVIEN SÄÄRASITUSTEN VAIKUTUKSET	10
2.1	Kosteusrasitus	10
2.1.1	Saderasitus ja viistosade	11
2.1.2	Pintamateriaalin vaikutus kosteusrasitukseen	14
2.1.3	Sisäilman kosteus	14
2.2	Tuuli	15
2.3	Lämpöolosuhteet ja auringon säteily	17
3	ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS RASITUSTASOIHIN	20
3.1	Ilmastonmuutosskenaariot	20
3.2	Olosuhteiden muutos Suomessa	22
3.2.1	Lämpötila ja kosteus	22
3.2.2	Tuulisuus	24
3.3	Olosuhdemuutosten vaikutus vaurioitumisriskiin	25
4	LASKENNALLINEN TARKASTELU	27
4.1	Tutkimusmenetelmät	27
4.2	Laskelmissa käytetyt olosuhteet	30
4.3	Materiaaliarvot laskelmissa	32
5	TUTKITTAVAT RAKENTEET	34
5.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmä	34
5.2	Paksurappaus-eristejärjestelmä	36
5.3	Levyrappaus	38
5.4	Levyverhous	40
5.5	Kuorimuuraus	41
6	RAKENNUSFYSIKAALISET LASKELMAT	44
6.1	Ohutrappaus-eristejärjestelmä	45
6.1.1	Rakenteen kokonaiskosteus	47
6.1.2	Tarkastelupiste 1 rappauskerros	48
6.1.3	Tarkastelupiste 2 mineraalivillan ulkopinta	52
6.1.1	Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta	57
6.2	Paksurappaus-eristejärjestelmä	62
6.2.1	Rakenteen kokonaiskosteus	64

6.2.2	Tarkastelupiste 1 täyttörappauksen ulkopinta.....	65
6.2.3	Tarkastelupiste 2 mineraalivillan ulkopinta	69
6.2.4	Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta	73
6.3	Levyrappausjärjestelmä	77
6.3.1	Rakenteen kokonaiskosteus.....	78
6.3.2	Tarkastelupiste 1 rappauskerros	80
6.3.3	Tarkastelupiste 2 tuulensuojalevyn sisäpinta.....	84
6.3.4	Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta	88
6.4	Levyverhottu julkisivu	91
6.4.1	Rakenteen kokonaiskosteus.....	93
6.4.2	Tarkastelupiste 1 tuulensuojaeristeen ulkopinta	95
6.4.3	Tarkastelupiste 2 tuulensuojaeristeen sisäpinta	99
6.4.4	Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta	103
6.5	Kuorimuuraus.....	107
6.5.1	Rakenteen kokonaiskosteus.....	108
6.5.2	Tarkastelupiste 1 kuorimuurauksen sisäpinta.....	109
6.5.3	Tarkastelupiste 2 tuulensuojaeristeen ulkopinta	114
6.5.4	Tarkastelupiste 3 tuulensuojaeristeen sisäpinta	118
6.5.5	Tarkastelupiste 4 mineraalivillan sisäpinta	122
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	126
7.1	Eristerapatut julkisivujärjestelmät.....	126
7.2	Tuulettuva levyrappaus ja levyverhous	128
7.3	Kuorimuuraus.....	129
8	POHDINTA	131
	LÄHTEET.....	133
	LIITTEET.....	135
	Liite 1. Ohutrappaus-eristejärjestelmä Wufi laskenta-asetukset.....	135
	Liite 2. Paksurappaus-eristejärjestelmä Wufi laskenta-asetukset	153
	Liite 3. Levyrappausjärjestelmä Wufi laskenta-asetukset.....	171
	Liite 4. Levyverhous Wufi laskenta-asetukset	203
	Liite 5. Kuorimuuraus Wufi laskenta-asetukset	229

ERITYISSANASTO

absoluuttinen kosteus	ilman kosteussisältö esim. g/m^3
hygroskooppisuus	huokoisen materiaalin kyky sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa sitä takaisin ilmaan
kapillaarinen kosteus	huokoisessa rakenteessa tapahtuva kosteuden siirtyminen veden pintajännityksen aiheuttaman huokosalipaineen vaikutuksesta, $R_h = 98 \% - 100 \%$
kosteuskapasiteetti	kuvaa sitä kuinka paljon huokoinen materiaali voi sitoa kosteutta hygroskooppisesti, hygroskooppisella alueella $R_h = 0 - 98 \%$
kosteuskonvektio	vesihöyryn ja veden siirtyminen ilmavirtausten mukana
kyllästymiskosteus	ilman vesihöyrypitoisuuden suurin arvo kussakin lämpötilassa
pakkasrapautuminen	betonin, laastin tai tiilen rapautuminen huokosissa olevan jäätyvän veden tilavuuden kasvun huokosiin aiheuttaman hydraulisen paineen vuoksi
$R_h \%$	suhteellinen kosteus, materiaalin huokostiloissa olevan ilman kosteuden määrä suhteessa kyllästymiskosteuspitoisuuteen
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin, kokonaislämmönvastuksen käänteisarvo
vesihöyryn diffuusio	vesihöyryn osapaine-erojen (pitoisuuserojen) tasoittuminen suuremmasta osapaineesta pienempään

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Rakennuksen julkisivut käsitetään arkikielessä yleensä tarkoittamaan rakennuksen ulkonäköä ja jäsentelyä, mutta julkisivu pitää sisällään myös rakenteita säärasitukselta suojaavan ulkovaipan. Julkisivurakenne ottaa vastaan säärasituksen suojaten rakennuksen sisäosia ja varmistaen näin toisaalta asumismukavuuden ja toisaalta kantavien rakenteiden pitkän käyttöiän. Rakennukseen kohdistuvat rakennusfysikaaliset rasitukset ovat riippuvaisia rakennuspaikan sääoloista, rakennuksen korkeudesta ja julkisivujen ilmansuunnista. Rakennuksessa käytettävät julkisivurakenteet ja -materiaalit tulisi valita suunnitteluvaiheessa paitsi ulkonäön, myös vallitsevan rasitustason mukaan.

Ilmastonmuutos vaikuttaa monin eri tavoin Suomen ilmastoon tulevaisuudessa. Tutkimusten mukaan lämpötila kohoaa, sademäärät kasvavat, myrskytuulet voimistuvat, lumipeite ja routa vähenee sekä pilvisyys lisääntyy. Muutoksista aiheutuu rakennuksen ulkovaippaan lukuisia erityyppisiä rasituksia. Nykyrakennukset suunnitellaan runkorakenteiden osalta 50 - 100 vuoden käyttöiälle ja julkisivurakenteiden käyttöikä on valitun pintamateriaalin mukaan yleensä 25 - 50 vuotta. Tulevaisuuden ilmasto-olosuhteisiin varautuminen olisi syytä huomioida jo nykyrakenteissa, jotta halutut käyttöiät eri rakenteille voidaan saavuttaa.

Ulkovaipparakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa tulevaisuuden ilmastossa on tutkittu FRAME-hankkeessa betonijulkisivujen ja eristerapattujen ulkoseinien sekä puurunkoisten puu- ja tiiliverhottujen julkisivujen osalta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia betonijulkisivuihin ja -parvekkeisiin on tutkittu Toni Pakkalan väitöskirjassa ”Assessment of the Climate Change Effects on Finnish Concrete Facades and Balconies” (tarkastettu 14.2.2020). Lisäksi joidenkin yksittäisten rakenteiden tai rakennusten rakennusfysikaalista toimintaa nykyilmastossa on tutkittu joissakin aiemmissa diplomi- ja opinnäytetöissä. Monien yleisesti käytettyjen

tössä olevien julkisivurakennetyyppien soveltuvuutta tulevaisuuden ilmasto-olosuhteisiin ei ole juurikaan tutkittu. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääosin rakenteisiin, joita ei ole aiemmissa tutkimuksissa käsitelty.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus

Opinnäytetyössä tutkitaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia julkisivurakenteiden suunnitteluun lämpö- ja kosteusteknisen laskennan avulla. Laskennassa käytetään WUFI Pro -ohjelmistoa. Työssä analysoidaan eräiden nykyisten uudisrakentamisessa käytettävien julkisivurakennetyyppien rakennusfysikaalista toimintaa nykyilmastossa ja tulevaisuuden ilmastossa arvioiden muuttuvan rasi-
tustason vaikutusta rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaan. Ilmastodatana käytetään Ilmatieteenlaitoksen FRAME-hankkeeseen kehittämiä ilmaston testi-
vuosia nykyilmastoon ja tulevaisuuden ilmastoon noin kahdeksankymmenen vuoden päähän.

Tutkimuksessa tarkastellaan laskennallisesti tuulettumattomista rakenteista ohutrappaus-eristejärjestelmä ja paksurappaus-eristejärjestelmä sekä tuulettuvista julkisivurakenteista levyverhotut julkisivut ja levyrappausjärjestelmä sekä paikallamuurattu julkisivuverhous. Tutkimukseen valitut rakennetyypit ovat yleisesti käytössä uudisrakentamisen kohteissa ja niitä ei ole kattavasti analysoitu aiemmissa tutkimushankkeissa. Tutkimus rajataan ilmastonmuutoksen lämpö- ja kosteusteknisiin vaikutuksiin. Lujuusopilliset seikat, mm. kasvavan tuulenpaineen vaikutus julkisivukiinnikkeisiin jätetään, tarkastelun ulkopuolelle.

Korkea rakentaminen on Suomessa yleistymässä kiihtyvällä nopeudella etenkin pääkaupunkiseudulla ja muissa suuremmissa kaupungeissa. Korkea rakentaminen huomioidaan opinnäytetyössä kohdistamalla rakenteiden lämpö- ja kosteustekniset simulaatiot yli 20 metriä korkean rakennuksen yläosiin. Tällöin rasi-
tustaso julkisivurakenteille on myös ankarin.

Opinnäytetyö tehdään A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n kehitysprojektina, jonka tarkoituksena on huomioida tulevaisuuden ilmaston aiheuttamia rasituksia jo tämän hetken rakennesuunnittelussa. Työn tavoitteena on tutkia tämän päivän

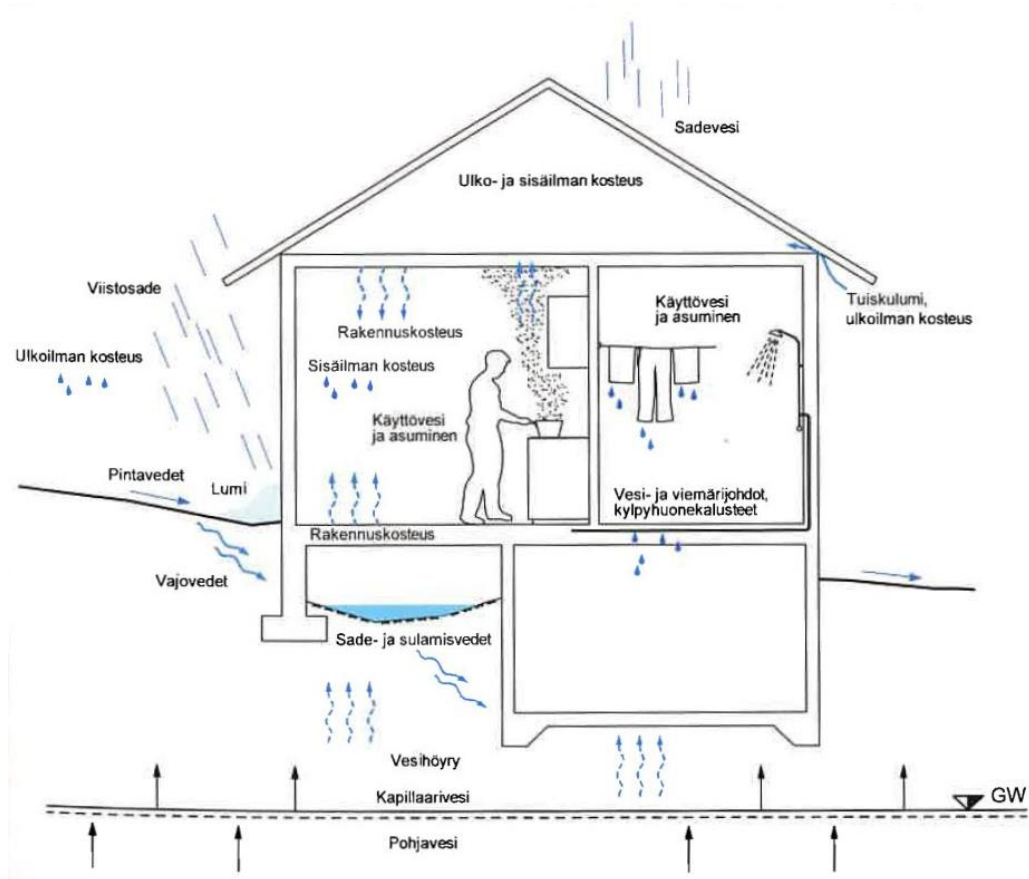
rakenteiden toimivuutta tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa ja selvittää eri rakennetyyppien käytettävyyttä ja mahdollisia riskejä. Tutkimuksen perusteella esitetään suositeltavia rakennetyyppejä uudiskohteiden rakenteiksi ja luodaan yrityksen sisäinen suunnitteluohjeistus julkisivurakenteiden suunnitteluun.

2 JULKISIVURAKENTEISIIN KOHDISTUVIEN SÄÄRASITUSTEN VAIKUTUKSET

Julkisivu- ja muihin ulkovaipparakenteisiin kohdistuu sääolosuhteista runsaasti erityyppisiä rakennusfysikaalisia rasituksia, kuten vesi- ja lumisade, ilmankosteus, painovoimaisesti, kapillaarisesti tai tuulen mukana siirtyvä vesi sekä lämpötila, tuuli ja auringon säteily. Säärasituksiin vaikuttaa rakennuksen sijainti ja ympäristö, julkisivun ilmansuunta, rakennuksen korkeus, koko ja muoto sekä valitut rakennusratkaisut ja suojaukset, esimerkiksi julkisivumateriaali, pellitykset ja räystäät. Rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaa vaikuttaa lisäksi sisäilman kosteus, rakennuksen käytöstä johtuva kosteuslisä, lämpötila rakennuksen sisällä sekä rakennuksen ulkovaipan ylitse vaikuttava paine-ero.

2.1 Kosteusrasitus

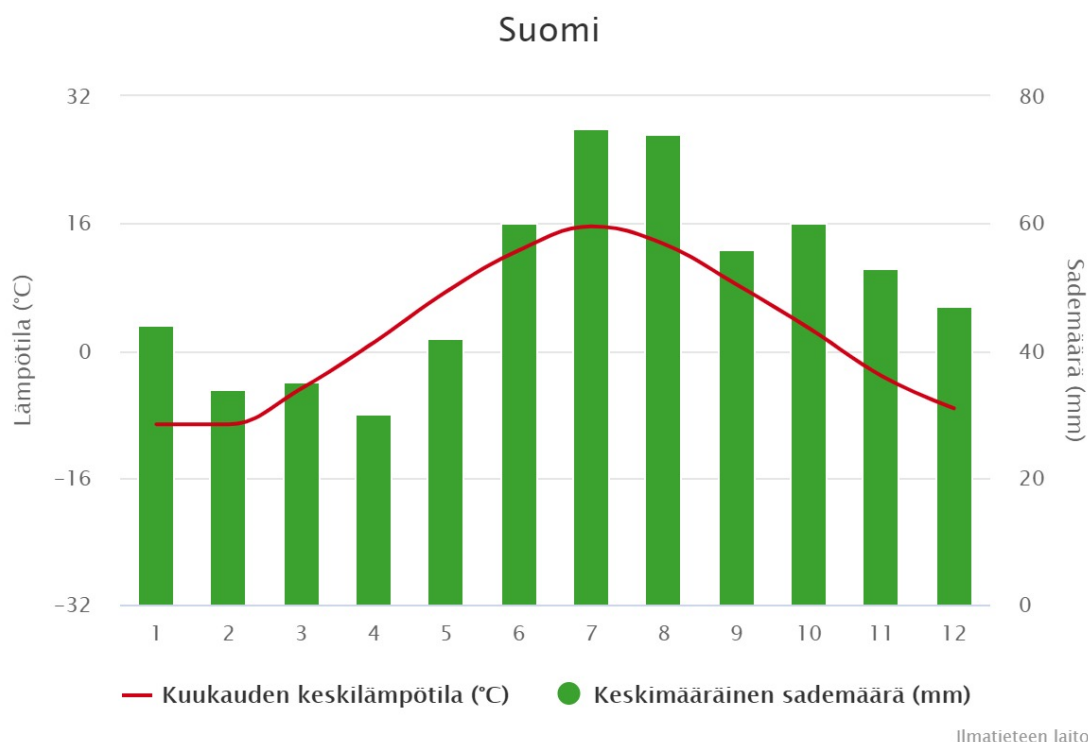
Rakennuksen ulkovaipan uloimmat kerrokset suojaavat rakennuksen sisätiloja, rakenteen sisempiä kerroksia ja runkorakenteita ulkoilman kosteusrasitukselta. Rakennukseen kohdistuu ulkopuolelta ja rakennuksen käytöstä monia kosteusrasituksia. Rakennuksen kosteuslähteitä on esitelty kuvassa 1.



KUVA 1. Rakennuksen kosteuslähteitä (RIL 255-1-2014, 39)

2.1.1 Saderasitus ja viistosade

Suurin kosteusrasitus ulkovaipparakenteille aiheutuu sateesta. Saderasitus voi olla vettä, lunta tai jäää tai näiden yhdistelmä. Sateen määrä rakennuksen julkisivulle vaihtelee rakennuspaikan maantieteellisten olosuhteiden mukaan. Rasituksen voimakkuuteen vaikuttaa myös rakennuksen korkeus, ympäristön avoimuus ja meren tai muun suuren vesistön läheisyys. Saderasitus on voimakkaimmillaan loppukesällä ja syksyllä, kuten alla olevasta kuvaajasta nähdään.



KUVIO 1. Suomen kuukausittainen keskilämpötila ja sademäärän keskiarvo jaksolla 1981-2010. (ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot)

Sateen aikana tuuli liikuttaa sadepisaroihin vaakasuoraan aiheuttaen sadepisaroiden putoamisen vinottain. Tätä sateen vaakasuoraa komponenttia kutsutaan viistosateeksi. Viistosateen määrä riippuu pystysuoran sateen voimakkuudesta, tuulen nopeudesta ja pisaroiden putoamisnopeudesta. Vapaan viistosateen määräksi on arvioitu 20 - 30 % pystysuorasta sateesta vuodessa ja tästä vain osa kohdistuu seinärakenteisiin. Julkisivulle kohdistuvan viistosateen määrään vaikuttavat samat olosuhde- ja ympäristötekijät, mitä aiemmin on saderasituksen osalta todettu. Viistosaderasitus on suurempi rakennuksen yläosissa ja tuulen pyörteisyyden vuoksi rakennuksen nurkka-alueilla. Saderasituksen ja viistosateen aiheuttaman rasituksen suuruuteen voidaan vaikuttaa rakennuksen muodolla ja rakenteellisilla ratkaisuilla esimerkiksi riittävän pitkälle julkisivulta ulottuvilla räystäillä. (RIL 255-1-2014, 121.)



KUVA 2. Viistosateen vaikutus rakennuksen yläosassa räystäättömässä rakennuksessa. (Varjonen 2013)

Lumisateen vaikutusmekanismi on erilainen verrattuna vesisateeseen. Lumisade ei imeydy julkisivurakenteen huokosiin ja näin siitä ei suoraan aiheudu kosteusrasitusta julkisivuille. (Lahdensivu, J. 2010, 15.) Lumisateella lunta voi kuitenkin ajautua tuuletusrakoihin tai tuuletustilaan esimerkiksi rakennuksen yläpohjassa. Lunta voi painua tuulen kuljettamana rakenteeseen myös ulkovaipan epäjatkuvuuskohtien kautta. Sulava lumi aiheuttaa suuren paikallisen kosteusrasituksen rakenteisiin. Tästä syystä lumen kulkeutuminen rakenteen sisälle tulee estää rakenteellisilla ratkaisuilla kuten riittävän ulottuvilla pellityksillä, vastapelleillä, saumojen elastisella kittauksella ja huolellisella rakenneliittymien suunnittelulla ja toteutuksella.

2.1.2 Pintamateriaalin vaikutus kosteusrasitukseen

Rakenteelle tulevan kosteusrasituksen määrään vaikuttaa suuresti valittu pintamateriaali sekä rakenteen pinnoite. Tiivis pintamateriaali esimerkiksi lasi, metalli, muovi, tiivis maalipinta tai klinkkerilaatta ei ime vettä syvemmälle rakenteeseen. Sateen aikana tiiviiseen pintaan muodostuu vesikalvo, joka valuu painovoiman vaikutuksesta alaspäin. Tuulen vaikutuksesta vesikalvo voi liikkua myös sivusuunnassa tai ylöspäin. Vesi voi kulkeutua tuulen vaikutuksesta saumojen, tuuletusrakojen, räystäärakenteiden tai julkisivupinnan halkeamien kautta syvemmälle rakenteeseen, jopa eristetilaan saakka. (RIL 255-1-2014, 121-122)

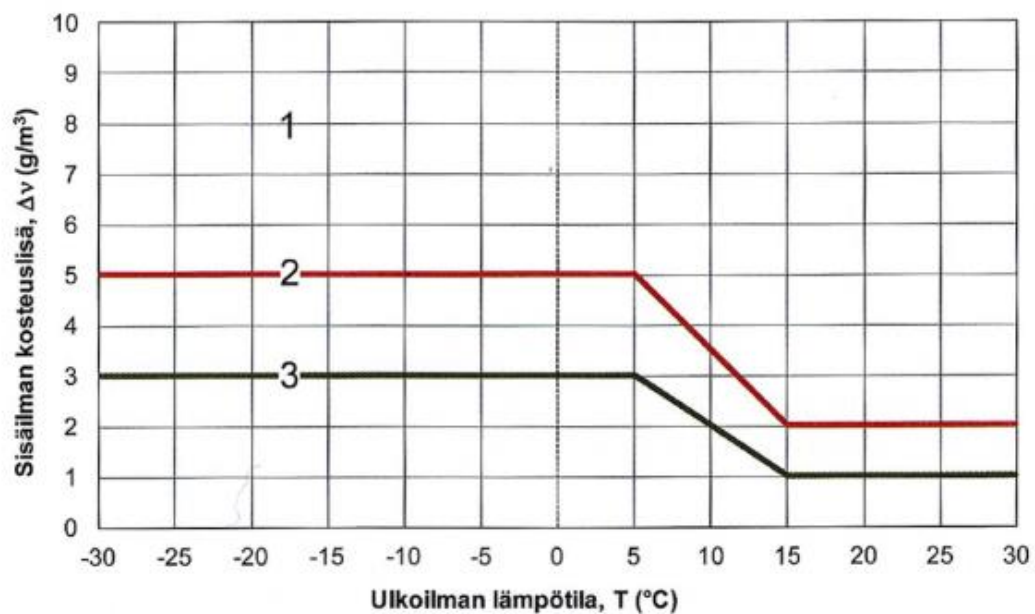
Huokoisissa julkisivumateriaaleissa satava vesi imeytyy kapillaarisesti rakenteen sisään ja julkisivun pintaan muodostuu vesikalvo siinä vaiheessa, kun julkisivulle tuleva vesimäärä ylittää materiaalin vedenimunopeuden. Eri rakenteiden vedenimukyky vaihtelee suuresti. Tiilet ja pinnoittamaton rappauslaasti imevät kosteutta kapillaarisesti hyvin nopeasti. Betonin kapillaarinen imunopeus riippuu etenkin betonin tiiveydestä, lujat julkisivubetonit imevät vettä kohtalaisen hitaasti.

Huokoisen materiaalin vedenimunopeuteen voidaan vaikuttaa suojaavalla pintakäsittelyllä, joka hidastaa veden imeytymistä rakenteeseen. Toisaalta pinnoitteella yleensä heikennetään rakenteen kuivumiskykyä ja julkisivupinnalla liikkuva vesikalvo kasvaa, mahdollistaen suuremman vesimäärän paikallisen imeytymisen pinnoitteen halkeamien tai muiden rajapintojen kohdalta.

2.1.3 Sisäilman kosteus

Sisäilman ilmankosteus riippuu ulkoilman kosteuspitoisuudesta ja ilmanvaihdesta sekä sisäilmaan rakennuksen käytöstä muodostuvasta kosteuslisästä. Kosteuslisän lähteitä ovat esimerkiksi ruoanlaitto ja pyykinpesu sekä tilan käyttäjistä hengitysilman tai hikoilun myötä haihtuva kosteus. Sisäilman kosteus rasittaa ulkoseinärakenteita vesihöyryn diffuusiolla korkeammasta vesihöyryn

osapaineesta pienempään ja kosteuskonvektiolla, eli kosteuden siirtymisellä il-mavirran mukana. Sisäilman kosteus määrän ollessa suurempi kuin ulkoilman, vesihöyryn osapaine pyrkii tasaantumaan ulkoilman suuntaan ulkoiseinäraken-teen lävitse. Sisäilman kosteuslisä on suurempi talvikaudella käyttäjien oleskel-lessa enemmän sisätiloissa. Kosteuslisän määrä laskennallisissa tarkasteluissa on taulukoitu kosteusluokittain RIL 250-1-2014 oppaassa. Kosteusluokat mää- räytyvät rakennuksen käyttötavan mukaan. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty kosteuslisän mitoitusarvot.



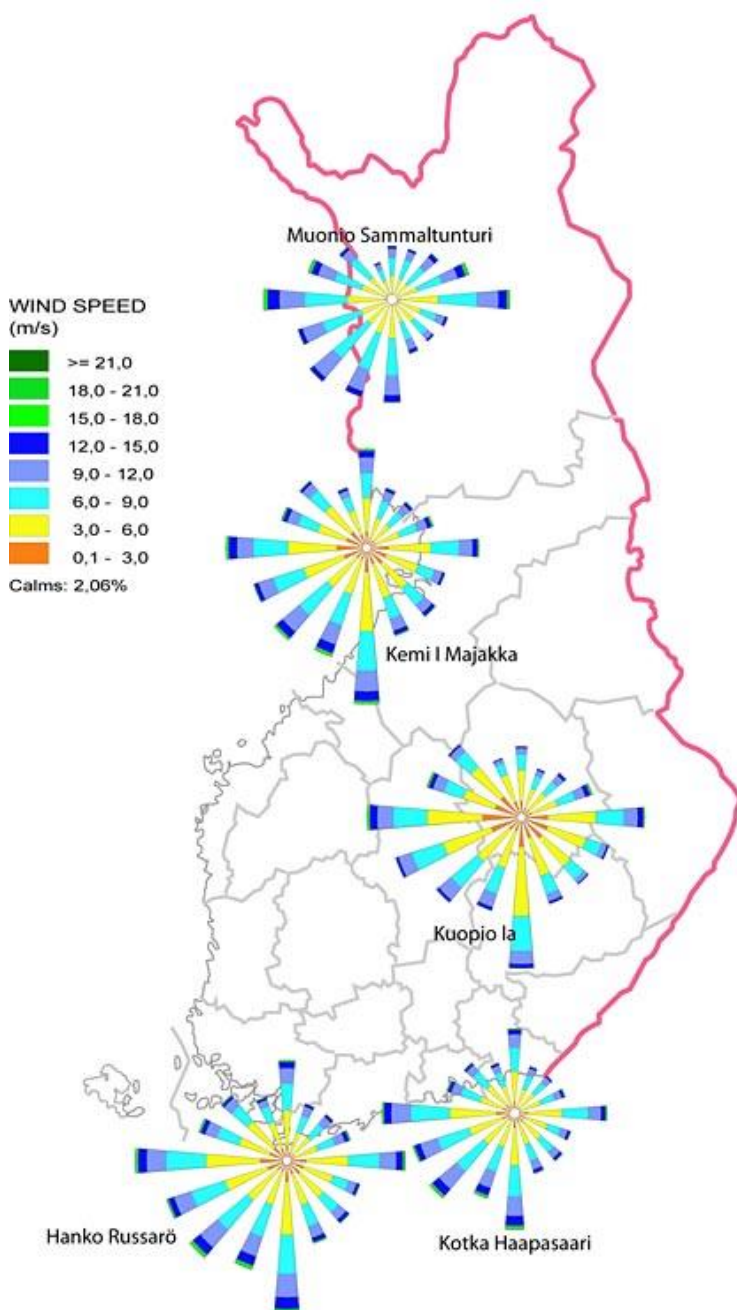
KUVIO 2. Sisäilman kosteuslisän mitoitusarvot eri kosteusluokissa ulkolämpötilan funktiona. (RIL 255-1-2014, 71)

Tässä opinnäytetyössä käytetään laskennallisissa tarkasteluissa sisäilman läm-pötilana asuinrakennuksiin soveltuvan kosteusluokan 2 taulukoituja kosteusli-sän arvoja.

2.2 Tuuli

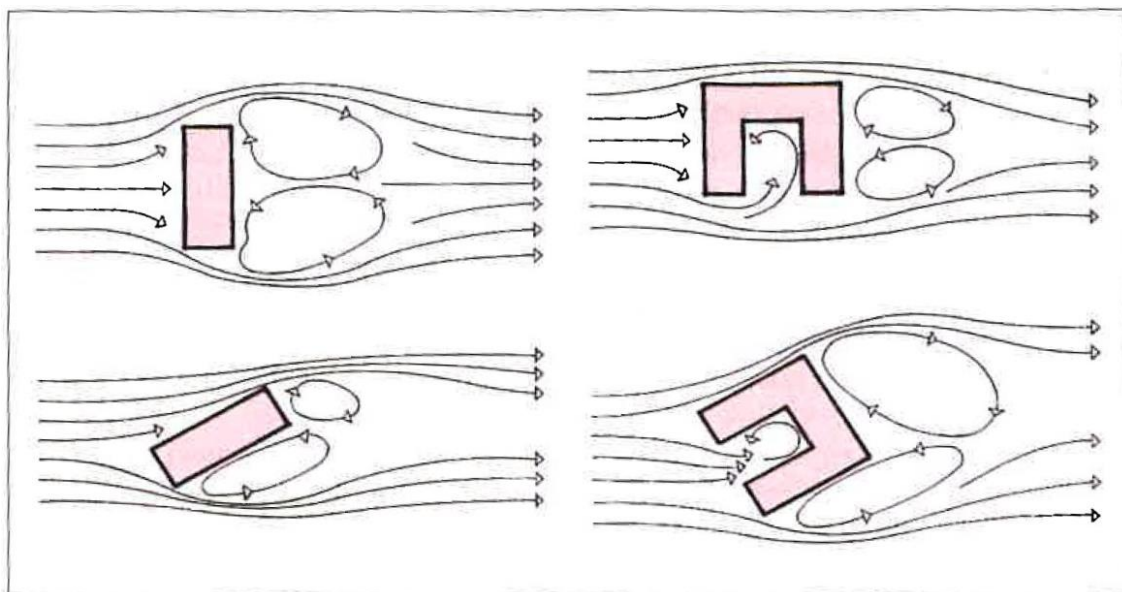
Tuuli on paine-erosta johtuvaa ilmassojen liikettä. Tuulen voimakkuuteen vaikuttaa paikalliset sääolot, korkeus maanpinnasta, ympäröivän maanpinnan ja rakennusten muodot sekä paikan avoimuus. Rakennetussa kaupunkiympäris-tössä rakennusten muodot ja väleihin muodostuvat kanavat voivat aiheuttaa

paikallisesti hyvin voimakkaita tuulennopeuksia. Tuulirasitukset ovat Suomessa suurimpia rannikolla ja merialueilla, jossa mitataan myös suurimmat myrskytuulet. Myös sisämaassa tuulet voivat ajoittain yltyä hyvin voimakkaiksi. Yleisimmin tuulensuunta on Suomessa etelä-länsi alueella. Alla on esitetty tuulen suunta ja voimakkuus tuuliruusujen avulla eräillä sääasemilla.



KUVIO 3. Tuulen suunnan ja nopeuden jakauma eräillä sääasemilla tuuliruusuilla kuvattuna jaksolla 1999 - 2008. (tuuliatlas.fi/tuulisuus)

Tuuli aiheuttaa rakennuksen julkisivulle ylipaineen tai alipaineen, ja tätä kautta joko vetävän tai puristavan kuormituksen julkisivumateriaalille ja liitosten kautta rakennusrunkoon. Rakennuksen muodon, korkeuden ja rakennuspaikan ympäristön johdosta tuuli aiheuttaa rakennuksen ympärille pyörteisyyttä, jolloin tuulirasitus tai aiemmin käsitelty viistosade voi tulla eri suunnasta vallitsevaan tuulensuuntaan verrattuna. Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä tuulen aiheuttamia mekaanisia rasituksia. Tuulen vaikutuksesta julkisivulle sateen aikana muodostunut vesikalvo kulkeutuu pitkin julkisivupintaa ja tuuli voi painaa vettä paineella rakenteeseen verhoilun epäjatkuvuuskohtien kautta sekä liittymistä ja tuuletusraoista heikosti toteutettujen detaljien kohdilta. Samoista epäjatkuvuuskohdista kulkeutuu tuulen mukana sadepisaroihin rakenteeseen. Avosaumainen julkisivurakenne, esimerkiksi tuulettuva levyverhous, on erityisen arka viistosaderasitukselle ja tuulen mukana kulkeutuvalla kosteudella.

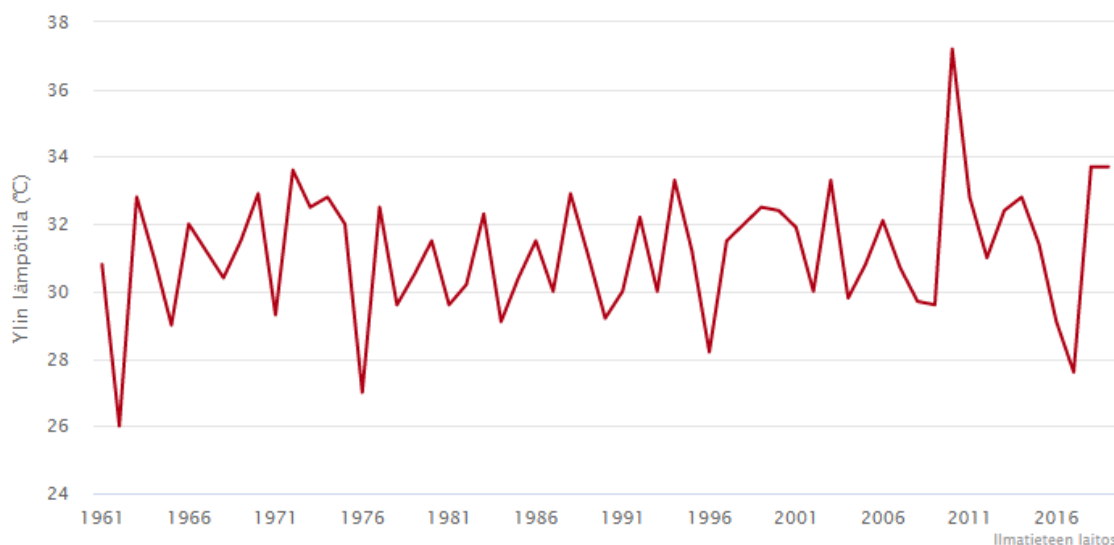


KUVIO 4. Tuulen käyttäytymistä rakennuksen ympärillä. (RIL 250-2020, 76).

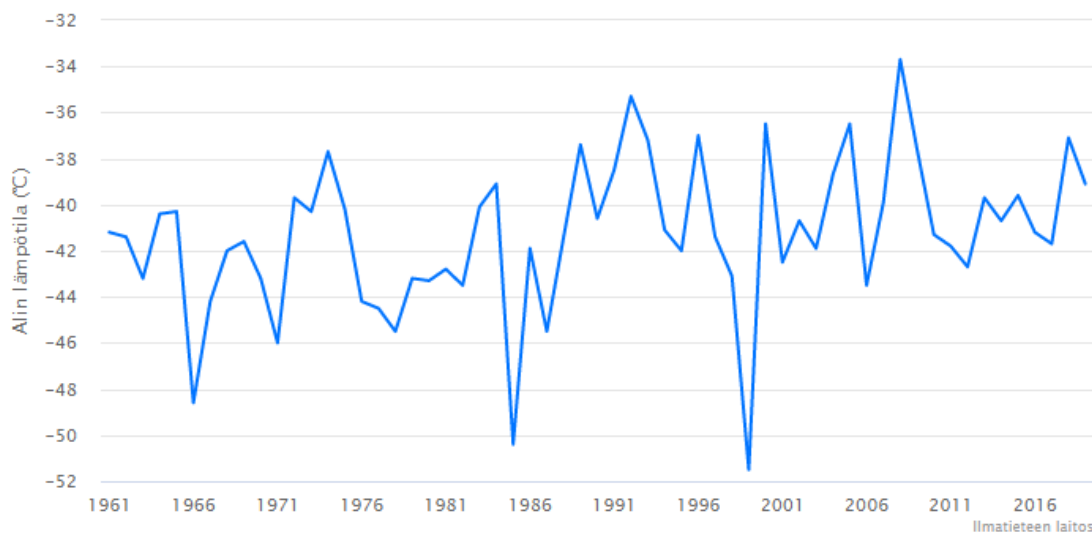
2.3 Lämpöolosuhteet ja auringon säteily

Lämpötila Suomen sääolosuhteissa vaihtelee maantieteellisen sijainnin ja vallitsevan ilmasto-olosuhteen sekä vuorokaudenajan ja vuoden kierron mukaan

varsin voimakkaasti. Alla olevissa kuvaajissa on esitetty kylmimmät ja kuumimmat lämpötilat vuosittain vuodesta 1961 lähtien.



KUVIO 5. Suomen ylin lämpötila vuodesta 1961 lähtien (ilmatieteenlaitos.fi/lampimin-ja-kylmin-paikka-vuosittain)



KUVIO 6. Suomen alin lämpötila vuodesta 1961 lähtien (ilmatieteenlaitos.fi/lampimin-ja-kylmin-paikka-vuosittain)

Kesäkaudella kirkkaalla ilmalla varsinkin tummat julkisivupinnat voivat olla auringon lämpösäteilyn vuoksi reilustikin ympäröivää lämpötilaa kuumempia. Toisaalta talvikaudella lämpötilat laskevat koko Suomessa ainakin ajoittain reilusti

nollan alapuolelle ja julkisivupinnan lämpötila voi lämpösäteilyhukan vuoksi laskea kirkkaina talviöinä alhaisemmaksi kuin ympäröivän ilman lämpötila, jolloin pintaan voi tiivistyä tai härmistyä kosteutta. Lämpötila vaikuttaa myös ulkoilman kyllästymiskosteusmäärään ja tätä kautta vesihöyryn diffuusiovirtaan rakenteen lävitse.

Suuret lämpötilavaihtelut julkisivurakenteissa aiheuttavat pintamateriaaliin lämpöliikkeitä, jotka estettynä aiheuttava julkisivurakenteeseen mekaanista rasitusta. Rasitus voi aiheutua myös pintarakenteen ja alusrakenteen liitoskohtaan, esimerkiksi ohutrappaus-eristejärjestelmässä rappauspinnan ja eristeen liitoskohtaan. Tässä opinnäytetyössä ei tutkita julkisivurakenteen mekaanisia rasituksia.

Julkisivurakenteen pintalämpötilan laskeminen nollan alapuolelle mahdollistaa kosteusrasitettujen huokoisten julkisivumateriaalien pakkasrapautumisen. Pakkasrapautuminen aiheutuu rakenteen huokosverkostoon imeytyneen veden jäätymisestä. Jäätyessään vesi laajenee noin 9 % aiheuttaen rakenteen huokosverkostoon hydraulisen paineen, mikä voi aiheuttaa rakenteeseen vaurioita. Vaurioituminen vaatii toistuvaa jäätymistä ja sulamista sekä materiaalista riippuvan kriittisen kosteuspitoisuuden ylittymisen. (Pakkala 2020; 24-26, Vinha ym. 2013, 102-103)

UV-säteily on auringosta peräisin olevaa sähkömagneettista säteilyä. UV-säteily vaurioittaa etenkin julkisivurakenteiden orgaanisia pinnoitteita ja elastisia saumauksia. Säteilyn vaikutuksesta pinnoitteissa tapahtuu kemiallisia muutoksia, joista aiheutuu pinnoitteen haurastumista ja halkeilua sekä haalistumista. (Lahdensivu 2010, 19)

3 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS RASITUSTASOIHIN

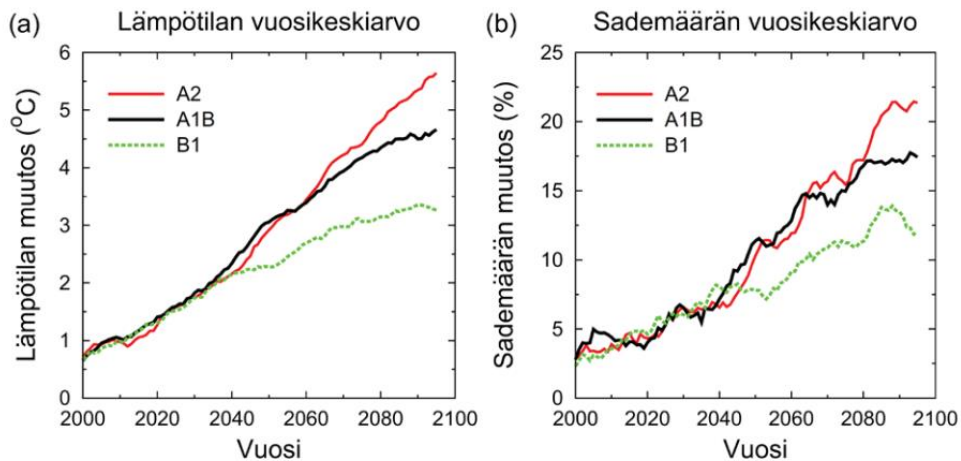
Muuttuvan ilmaston vaikutusta rakennuskantaan kohdistuvaan säärasitukseen on tutkittu etenkin Tampereen teknillisen yliopiston FRAME-hankkeessa vuosina 2010 - 2012 ja tähän liittyvässä ilmatieteenlaitoksen REFI-B-hankkeessa, jossa laadittiin FRAME-hankkeen käyttämät rakennusfysiikan ilmastolliset testivuodet. Ilmatieteenlaitoksen Rakennetun ympäristön säätiedot muuttuvassa ilmastossa (RASMI) -hankkeen tulosseminaari pidettiin 5.11.2020 videoseminaarina. Hankkeessa on määritetty uusi energialaskennan testivuosi 2020 ja eri skenaarioiden mukaisia tulevaisuuden testivuosia energialaskentaan. Rakennusfysikaalisten testivuosien osalta tehtiin todellisiin mittauksiin perustuva vertailudata vuodelta 2015 Jokioisten mittausasemalta. Uusi mittausdata ei korvaa aiemmin määritettyjä rakennusfysikaalisia testivuosia. Hankkeessa ei tehty muutoksia tulevaisuuden rakennusfysikaalisiin testivuosiin. (RASMI tulosseminaari).

Tutkimusten ja ilmastonmuutoskenaarioiden perusteella ennustetaan Suomen ilmaston lämpenevän, sademäärän ja pilvisyyden lisääntyvän, ilman suhteellisen kosteuden nousevan ja myrskytuulien lisääntyvän. Ennustetut muutokset vaikuttavat julkisivujen ja muiden ulkovaipparakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaan monella tavalla.

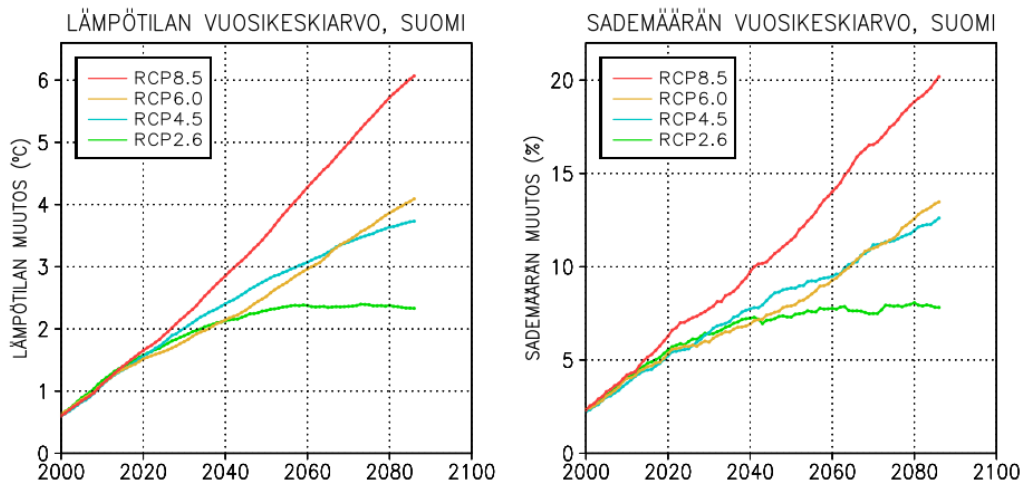
3.1 Ilmastonmuutoskenaariot

FRAME-hankkeen tutkimuksissa käytetyt ilmastonmuutosennusteet ja rakennusfysikaaliset testivuodet perustuvat A2 ilmastonmuutoskenaarioon, jossa arvioidaan kasvihuonekaasujen päästöjen kasvavan koko kuluvan vuosisadan ajan. A2 skenaario perustuu Hallitustenvälisen Ilmastopaneelin IPCC:n SRES (Special Report on Emissions Scenarios) raporttiin vuodelta 2000. Uudempia RCP skenaarioita on tehty viidennen IPCC arvointiraportin (2014) laatimisen yhteydessä. RCP, representative concentration pathways, eli kasvihuonekaasujen pitoisuuden mahdolliset kehityskulut -skenaariot ottavat huomioon myös

vuoden 2000 jälkeen toteutuneet päästöt. Alla olevista kuvaajista voidaan havaita, että pessimistisimmät skenaariot A2 ja RCP 8,5 antavat kuitenkin samansuuntaisia ennusteita tulevaisuuden lämpötilojen ja sademäärän muutokselle. Skenaariosukupolvien antamien tulosten välillä on eroa lähinnä RCP skenaarioiden hieman enemmän lämpenevissä kesissä verrattuna aiempiin mallinnuksiin. Sademäärissä ei ole merkittäviä eroja. (Ruosteenoja ym. 2013:4, 36; Ruosteenoja ym. n.d. 7; RT 103170 2020, 4.)



KUVIO 7. Suomen vuosittaisen lämpötilan ja sademäärän keskiarvon kasvu verrattuna 1971 - 2000 keskiarvoon ilmastomuutosskenaarioiden (A2, A1B, B1) mukaan. (Vinha ym. 2013, 69)



KUVIO 8. Suomen vuosittaisen lämpötilan ja sademäärän keskiarvon kasvu verrattuna 1971 - 2000 keskiarvoon RCP ilmastomuutosskenaarioiden mukaan. (Ruosteenoja K. ilmatieteelaitos.fi)

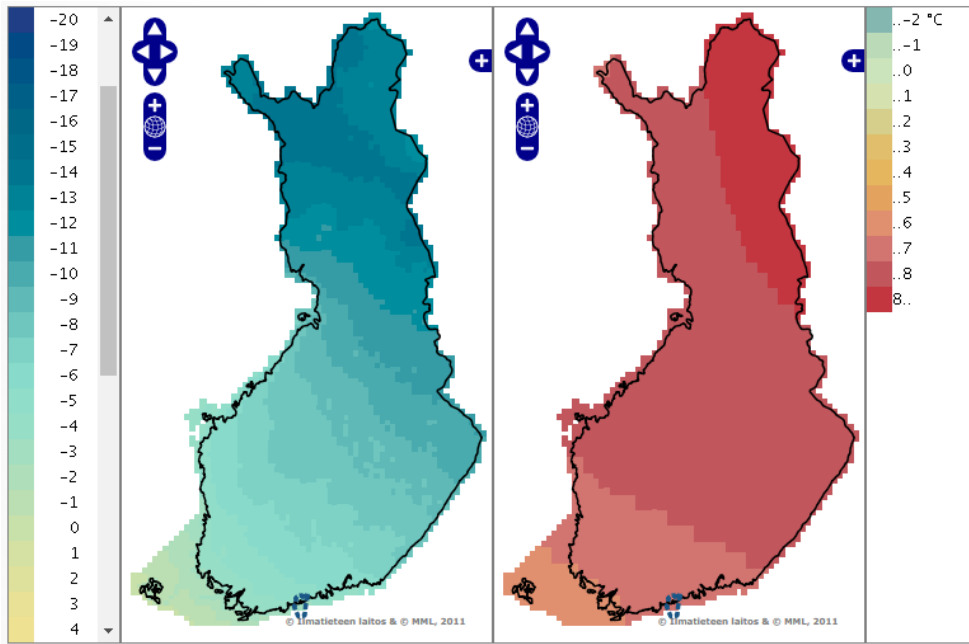
3.2 Olosuhteiden muutos Suomessa

3.2.1 Lämpötila ja kosteus

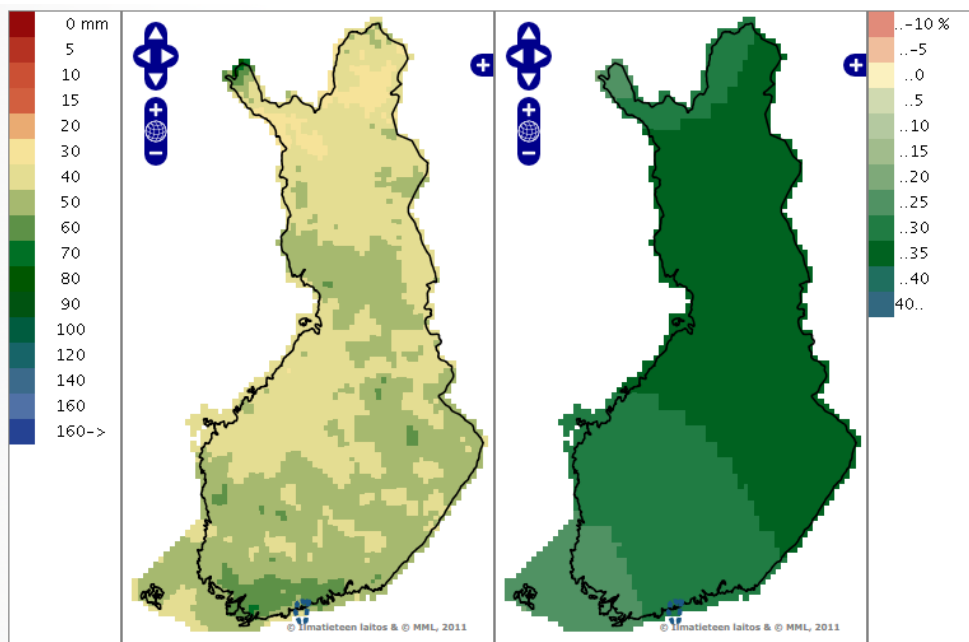
Olosuhteiden muutos Suomessa ei tapahdu tasaisesti vuoden ympäri, vaan suurimmat muutokset tapahtuvat syys- ja talvikaudella, niin lämpötilan, sademäärän kuin pilvisyyden osalta. Syksy on jo tällä hetkellä rakenteiden kosteusrasituksen osalta vaativa ja muutosten myötä tilanne pahenee merkittävästi. (Vinha ym. 2013, 70). Lämpötilan ennustetaan pessimistisimpien skenaarioiden mukaan kohoavan Suomessa vuosisadan loppuun mennessä keskimäärin noin 6 asteella ja sateiden lisääntyvän noin 20 prosentilla. Keski-Suomen lämpötilailmasto vastaisi vuosisadan loppupuolella suunnilleen Unkarin nykyilmastoa, kun taas sademäärän lisäys vastaisi likimain nykyisiä sateita osassa Englantia.

Pilvisuus tulee lisääntymään etenkin talvikaudella, jolloin aurinkoisia päiviä on vähemmän. Pilvisellä säällä talvikaudella on myös yleensä lämpimämpää ja kosteampaa kuin kirkkaalla kelillä (Ruosteenoja ym. 2016, 38).

Olosuhteet muuttuvat myös maantieteellisen sijainnin mukaan eri tavoin, lämpeneminen ja suhteellisen kosteuden sekä sateiden lisääntyminen on voimakainta pohjoisessa Suomessa. (Ruosteenoja ym. 2013:1, 17). Alla olevissa kuvioissa on esitetty ilmastonmuutoksen vaikutusta lämpötilaan ja sateisuuteen eri puolella Suomea. Vasemmanpuoleisessa kartassa on nähtävissä vertailujakson 1971 - 2000 keskimääräinen kuukausilämpötila ja -sademäärä ja oikealla puolen muutos tulevaisuuden ilmastossa 2071 - 2100. Kartat perustuvat A2 ilmastonmuutosskenaarioon.

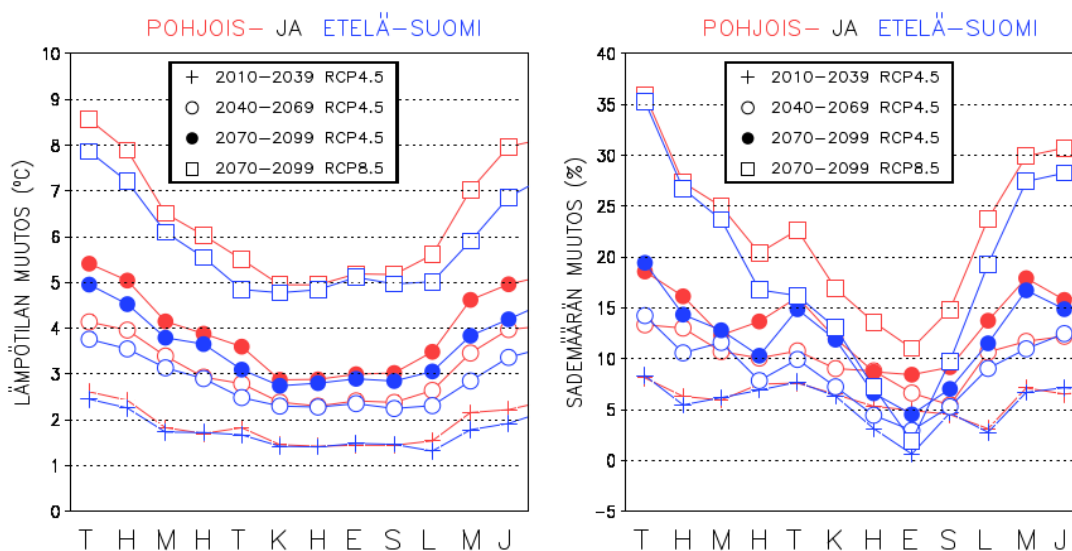


KUVIO 9. Tammikuun keskilämpötila vertailukaudella 1971 - 2000 ja lämpötilan muutosarvio vertailukaudelle 2071 - 2100. (<https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/mennyt-ja-tuleva-ilmasto#DoubleMapTimelinePlace:vertailu>)



KUVIO 10. Tammikuun keskimääräinen sademäärä vertailukaudella 1971 - 2000 ja sademäärän muutosarvio vertailukaudelle 2071 - 2100. (<https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/mennyt-ja-tuleva-ilmasto#DoubleMapTimelinePlace:vertailu>)

Alla olevassa kuvaajassa on nähtävissä RCP skenaarioiden mukaisia lämpötila- ja sademäärämuutoksia ja muutosten eroja Pohjois- ja Etelä-Suomessa. Kuvaajasta nähdään myös muutokset kuukausitasolla. Lämpötilan muutos on esitetty asteina ja sademäärän muutos on prosentteina.



KUVIO 11. Lämpötilan ja sademäärän muutos Pohjois- ja Eteläsuomessa verrattuna vertailukauden 1971-2000 keskimääriin arvoihin eri RCP skenaariolla (Ruosteenoja ym, n.d.)

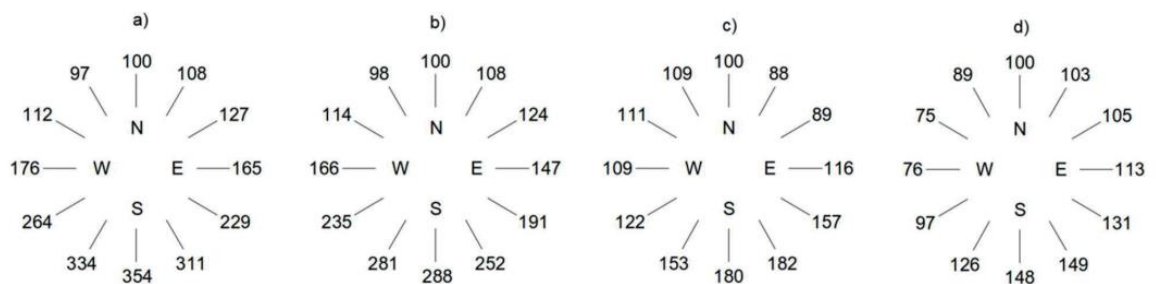
3.2.2 Tuulisuus

Tuulisuuden osalta Suomessa on eri muutosskenaarioiden välillä melko suuria eroja. Aiemmat skenaariot, kuten A2 malli, osoittavat tuulen voimakkuuden kasvavan muutamia prosentteja talvikaudella, kun taas uudemmat RPC mallit eivät löydä merkkejä merkittävästä muutoksesta keskituulennopeudessa. Myrskytuulien osalta ennustetaan voimistumista merialueilla ja rannikolla sekä Etelä-Suomessa myös RCP malleissa. Eri ennusteissa on kuitenkin suurta vaihtelua etenkin kovien tuulien osalta (Ruosteenoja ym, n.d.).

3.3 Olosuhdemuutosten vaikutus vaurioitumisriskiin

Lämpötilan nousu, lisääntyneet sateet ja korkeampi kosteuspitoisuus sekä poutajaksojen harventuminen muuttavat julkisivurakenteen rakennusfysikaalista toimintaa. Kosteuden siirtyminen rakenteen ulkopuolelta sisäpintaa kohti lisääntyy, etenkin rakenteissa, joihin voi sadevesi voi imeytyä. Veden kondensoitumiseen otolliset olosuhteet rakenteen ulkopinnassa ja osassa rakenteista myös sisäpinnan läheisyydessä lisääntyvät. Lämpimän vuodenajan aikana näissä rakenteissa on materiaalista riippuen kohonnut homehtumisriski. Kosteuden lisääntymisen myötä rakenteiden kuivumiselle suotuisia olosuhteita on harvemminkin, jolloin luonnollisesti rakenteiden kuivuminen hidastuu (Vinha ym. 2013, 69).

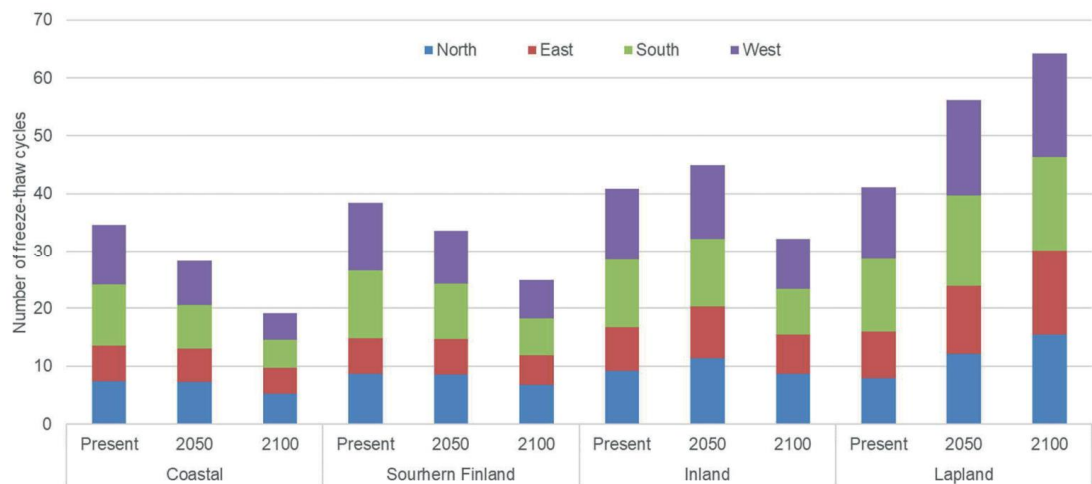
Vaikka tuulisuudessa ei ole ennustettu suuria muutoksia, tulee sademäärän lisääntymisen vuoksi julkisivuja rasittavien viistosateiden määrä kasvamaan. Viistosateiden määrä lisääntyy rannikolla ja Etelä-Suomessa etenkin etelä-länsijulkisivuilla, muualla Suomessa etelän puoleisilla julkisivuilla.



KUVIO 12. Viistosateen suhteellinen määrä verrattuna nykyilmastossa pohjoisesta tulevaan viistosateeseen kyseisellä alueella a) rannikkoalue b) Etelä-Suomi c) sisämaa d) Pohjois-Suomi. (Pakkala 2020, 64)

Ilmastonmuutoksen ennustettu lämpötilan nousu muuttaa huokoisten rakenteiden pakkasrapautumisriskiä. Toni Pakkala on väitöskirjassaan tutkinut ilmastonmuutoksen vaikutusta betonijulkisivujen ja parvekkeiden vauriomekanismeihin ja vaurioitumisen nopeuteen. Pakkasrapautuminen edellyttää, että rakenteen huokosverkosto on riittävästi täyttynyt kapillaarisesti imeytyneellä vedellä, eli rakenne on päässyt kostumaan vesi tai räntäsateesta. Jäätyessään vesi laajenee

noin 9 % aiheuttaen rakenteeseen hydraulisen paineen. Toistuvat jäätymis-sulamissyklit aiheuttavat rakenteen pakkasrapautumisen. Huokosverkostossa oleva vesi ei jäädy heti lämpötilan laskiessa pakkaselle, vaan jäätympiste alenee huokoskoon pienenemisen mukaan. (Pakkala 2020, 25; Vinha ym. 2013, 103). Alla on esitetty ennustettu jäätymis-sulamissykli määrän muutos eri osissa Suomea. Rajalämpötilaksi on taulukossa valittu -5°C . Kuvaajassa on esitetty myös tuulen suunta sateen aikana ennen jäätymistä.



KUVIO 13. Sulamis-jäätymissyklien määrä enimmillään kolme vuorokautta vesitai räntäsateen jälkeen. (Pakkala 2020, 73)

Ilmastonmuutosennusteiden mukaan jäätymis-sulamissykli määrän laskee tulevaisuudessa rannikkoseudulla ja Etelä-Suomessa, sisämaassa syklien määrä nousee vuoteen 2050, mutta kääntyy laskuun vuodelle 2100. Pohjois-Suomessa pakkasrasitus tulee ennusteiden mukaan tulevaisuudessa kasvamaan.

4 LASKENNALLINEN TARKASTELU

4.1 Tutkimusmenetelmät

Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen tarkastelu tehtiin Wufi Pro 6.3 -ohjelmistolla. Ohjelmisto on yksiulotteinen ja tarkoitettu vaipparakenteiden rakennetyypin kosteus- ja lämpötekniikan toimivuuden tarkasteluun ajan mukaan muuttuvissa olosuhteissa. Wufi Pro huomioi laskennassa rakennusaikaisen kosteuden, viistosateen, auringon säteilyvaikutukset, lämmön siirtymisen johtumalla ja kosteuden mukana, kosteuden kapillaarisen siirtymän, vesihöyryn ja liuoksen diffuusion sekä kosteuden tiivistymisen. (WUFI 2020)

Wufi Pro -ohjelmalla voidaan simuloida rakenteen toimintaa halutun aikajakson aikana, yleensä useampia vuosia, jotta nähdään mihin tasapainotilaan rakenteen kosteuspiitoisuus tasaantuu. Ohjelmassa käytetään ulkoilman olosuhteina arkistoituja säätietoja eri sääasemilta ympäri maailmaa tai vaihtoehtoisesti käyttäjän määrittelemää säädataa. Ohjelmassa on laaja kirjasto eri rakennusmateriaaleista kosteus- ja lämpötekniikan ominaisuuksineen ja kirjastoon on mahdollista lisätä käyttäjän tekemiä materiaaleja tarpeen mukaan. Materiaaliarvoja eri rakennusmateriaaleille on taulukoitu esimerkiksi FRAME-hankkeen yhteydessä sekä RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysiikkaalinen suunnittelu ja tutkimukset käsikirjassa.

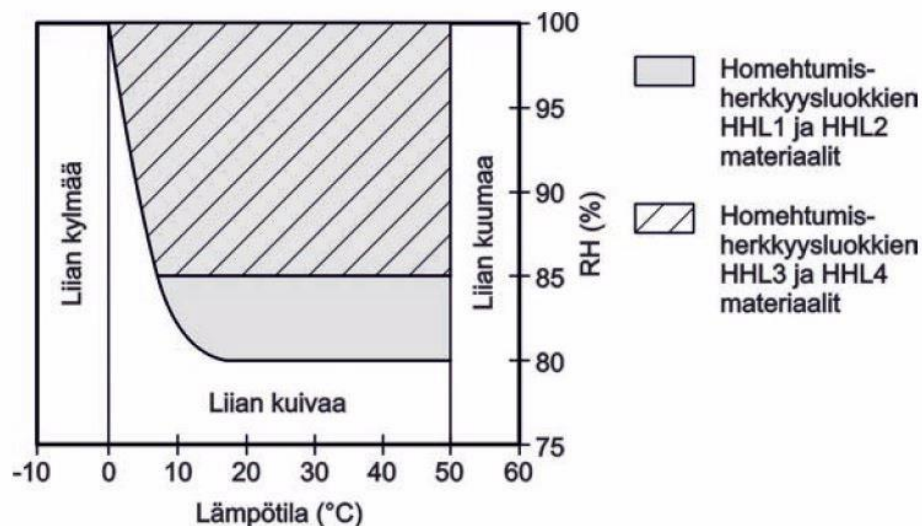
Wufi Pro tuottaa kosteus- ja lämpötekniikan laskelmista valittujen tarkastelupisteiden sekä ulko- ja sisäpinnan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan käyrät tarkastelujaksolle. Käyristä voidaan viedä tunneittain lasketut arvot taulukkolaskentaohjelmaan ja tarkastella saatua dataa laskennallisesti.

Rakenteiden homehtumisriskiä tutkitaan työssä käyttämällä VTT:n ja TTY:n yhdessä kehittämää parannettua homemallia. Mallissa homeen kasvua arvioidaan eri rakennusmateriaaleilla muuttuvissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Homemallissa rakennusmateriaalit on jaoteltu homehtumisherkkyysluokkiin HHL1 - 4 luokan HHL1 ollessa homehtumisen kannalta herkin. Lämpötila ja suhteellinen

kosteus tarkastelupisteessä saadaan Wufi Pro mallinnusten tuloksista. Home-mallin tuloksena saadaan homeindeksi M, joka on välillä 0 - 6 ja kuvaa homeen määrää materiaalin pinnalla. (RIL 255-1-2014, 60 - 62). Suomen ilmastossa homeen kasvua ei sallita lämmöneristekerroksessa tai sen sisäpuolella olevissa kerroksissa tai kantavissa rakenteissa. Tällöin homeindeksin tulee olla $<1,0$. (RIL 255-1-2014, 64).

TAULUKKO 1. Homehtumisherkkyysluokat rakennusmateriaaleittain (RIL 255-1-2014, 61)

Homehtumisherkkyysluokka	Rakennusmateriaali
Hyvin herkkä HHL1	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
Herkkä HHL2	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
Kohtalaisen kestävä HHL3	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni ¹ , kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
Kestävä HHL4	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit



KUVIO 14. Homeen suotuisat kasvuolosuhteet eri homehtumisherkkyysluokissa, parannettu homemalli. (<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>)

TAULUKKO 2. Homeindeksin luokittelu, parannettu homemalli. (RIL 255-1-2014, 60)

Homeindeksi M	Havaittu homekasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla). Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmillä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

Homeindeksin laskennassa käytetään myös taantumakerrointa C_{mat} , jolla mallinetaan laskurissa homeen kasvulle epäsuotuisten olosuhteiden vaikutusta homekasvustojen määrään.

TAULUKKO 3. Taantumakerroin parannetussa homemallissa

Taantumakerroin C_{mat} ryhmittäin	Esimerkiksi
voimakas taantuma 1	(sahattu mänty ja kuusi, mitallistettu mänty ja kuusi, kevytbetoni) (höylätty mänty ja kuusi, kuusiliimapuulevy, betoni, paperipintainen PUR) (kevytsorabetoni, polyesterikuitueriste, EPS, lasivilla)
merkittävä taantuma 0,5	
kohtalainen taantuma 0,25	
vähäinen taantuma 0,1	

4.2 Laskelmissa käytetyt olosuhteet

Opinnäytetyön lämpö- ja kosteusteknisissä laskelmissa käytettiin ulkoilman olosuhteina Ilmatieteenlaitoksen FRAME-hankkeeseen kehittämiä rakennusfysikaalisia testivuosia tulevaisuuden ilmastoon. Testivuosien määrityksen osalta tavoitteena oli 90 % kriittisyystaso 30 vuoden ilmastodatan mukaan. (Vinha ym. 2013, 67). Toisin sanoen tarkasteltu vuosi edustaa 10 % osuutta kriittisimmistä vuosista.

Kehitetyt rakennusfysikaaliset testivuodet perustuvat neljältä paikkakunnalta (Jokioinen, Jyväskylä, Sodankylä ja Vantaa) 1980 - 2009 tehtyihin säähavaintoihin, joista valittiin kaksi rakennusfysikaalista testivuotta (Jokioinen 2004 ja Vantaa 2007). Nämä rakennusfysikaaliset testivuodet nykyilmastoon ovat aitoja toteutuneita vuosia. Nykyilmaston testivuosien säädata muokattiin ilmastonmuutoskeenaarion A2 arvioiden pohjalta edustamaan ennustettua ilmastoja vuosille 2030, 2050 ja 2100.

Rakennusfysikaalisten testivuosien valintaa ja käyttöä rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa on ohjeistettu RIL 255-1-2014 sekä RIL 250-2020 ohjekirjoissa. Jokioisten testivuoden avulla tutkitaan homehtumisriskiä, suhteellisen kosteuden ja lämpötilan ollessa testivuonna otollisia homeen kasvulle. Vantaan testivuonna ulkovaipparakenteisiin taas kohdistuu suuri viistosaderasitus. (RIL 250-2020, 100).

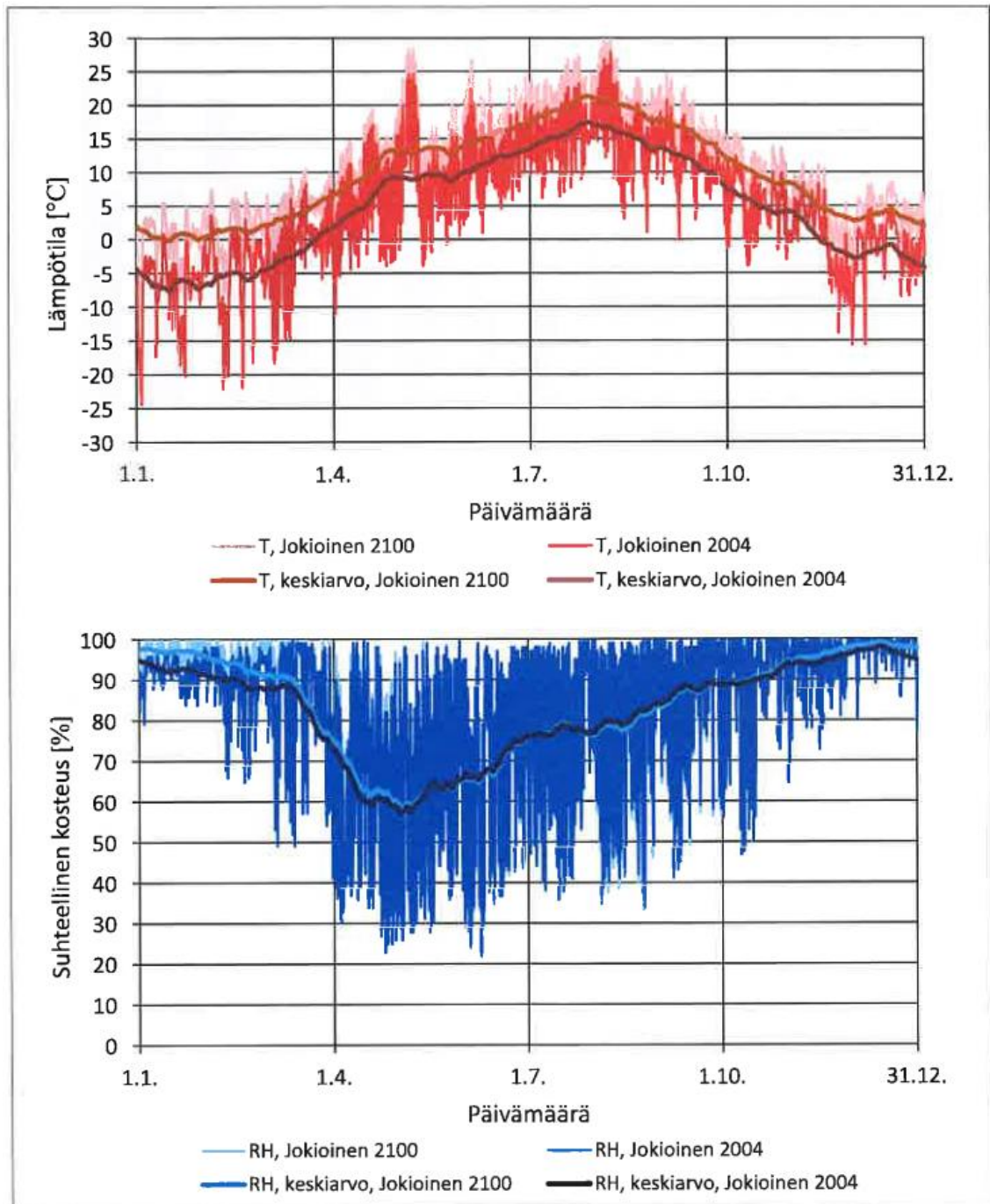
TAULUKKO 4. Esimerkkejä rakennusfysikaalisten testivuosiä käytöstä lämpö- ja kosteusteknisissä tarkasteluissa. (RIL 255-1-2014, 68)

Rakennetyypit	Testivuosi		
	Nykyilmasto	2050 ilmasto	2100 ilmasto
<p>Rakenteet, joissa ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan.</p> <p>Esimerkkirakenteita:</p> <ul style="list-style-type: none"> – puu- ja metalliverhotut ulkoseinät – betonisandwich-rakenteet ¹ – harkkorakenteet ¹ – sisäpuolelta eristetyt massiivirakenteet – yläpohjat, joissa on vesikate – ryömintätilaiset alapohjat 	<p>Jokioinen 2004</p> <p>ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: pohjoinen ²</p>	<p>Jokioinen 2050</p> <p>ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: pohjoinen ²</p>	<p>Jokioinen 2100</p> <p>ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: pohjoinen ²</p>
<p>Rakenteet, joissa sade ja ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttavat niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan</p> <p>Esimerkkirakenteita:</p> <ul style="list-style-type: none"> – tiiliverhotut ulkoseinät – eristerapatut ulkoseinät – betonisandwich-rakenteet ¹ – harkkorakenteet ¹ – käännettyt katot 	<p>Vantaa 2007</p> <p>ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: etelä</p>	<p>Vantaa 2050</p> <p>ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: etelä</p>	<p>Vantaa 2100</p> <p>ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: etelä</p>

¹ Rakenteesta riippuen kumpi tahansa testivuosiä voi olla kriittisempi. Rakenteen toiminta on syytä tarkistaa kummallakin testivuodella.

² Rakenteen ulkopinnan kosteusteknistä toimintaa tarkasteltaessa kriittisin ilmansuunta voi olla myös joku muu kuin pohjoinen.

Tutkimuksessa käytetään taulukon mukaisesti suositeltuja tarkasteluolosuhteita rakennetyypeittäin nykyilmastoon ja vuodelle 2100. Tutkituissa tapauksissa käytetyt ilmastot käydään tarkemmin läpi luvussa 6.



KUVIO 15. Esimerkkikuvaajat, rakennusfysikaaliset testivuodet 2007 ja 2100, Jokioinen RH % ja T °C (RIL 250-2020, 101)

4.3 Materiaaliarvot laskelmissa

Laskelmissa on käytetty eri rakennusmateriaalien materiaaliarvoina pääosin Frame-hankkeessa käytettyjä ja tutkittuja materiaaliarvoja Wufi-laskentaohjel-

maan, Wufi-ohjelman materiaalikirjaston arvoja sekä RIL 255-1-2014 oppaan liitteissä 4 - 8 taulukoituja materiaaliarvoja. Laskelmissa käytetyt materiaaliarvot löytyvät tarkemmin liitteestä 1.

Tuulettuvan ilmaraon osalta mallinnus on tehty kolmessa kerroksessa, jossa tuuletusraon ulkopinnassa ja sisäpinnassa on 2 mm paksuinen kerros ja keskellä 26 mm paksu ilmakerros. Kerroksissa on käytetty Wufi materiaalikirjaston ilmaraoja. Ohuilla kerroksilla on kosteuskapasiteettia, kun taas keskimmaisella kerroksella ei ole ylimääräistä kosteuskapasiteettia. Ulkopuolen 2 mm paksuun kerrokseen mallinnettiin kosteuslähde viistosateesta ja keskimmaiseen ilmakerrokseen mallinnettiin ilmanvaihtolähde, jossa ilmanvaihtuvuus, eli ilmanvaihtokerroin on rakenteesta riippuva. Tällä pyrittiin mallintamaan yhtä aikaa tuulettuvaa ilmakerrosta ja huomioimaan viistosateen vaikutus. Kosteuslähteen mallinnus vastaa ASHRAE 160 standardissa annettua ohjetta, jossa rakenteen tulee kestää 1 % kosteusvuoto saderasituksesta. Tätä mallinnustapaa suositellaan suunnitteluohjeissa (RIL 250-2020, 122). Vastaavaa mallinnustapaa on käytetty Lundin yliopiston väitöskirjatutkimuksessa (Mundt-Petersen, O. 2015, 27).

Tutkitussa levyrappauksessa rappauskerrokset ja pinnoite sekä alustana toimiva sementtikuitulevy muodostavat tiiviin sateelta suojaavan vaipan, jolloin viistosade ei pääse vaikuttamaan suoraan rakenteen sisempiin rakennekerroksiin. Tällöin rakenne kuuluu taulukon 3 Jokioisten ilmastossa tutkittaviin rakenteisiin. Sisäosan kosteustekniseen toimintaan vaikuttaa tuuletusraon kautta lähinnä ulkoilman suhteellinen kosteus. Rakennetyyppiin ei mallinnettu tuuletusraon sisäpintaan kosteuslähdettä. Kosteus- ja ilmanvaihtolähteet käsitellään tarkemmin rakennekohtaisesti luvussa 6.

5 TUTKITTAVAT RAKENTEET

5.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmä

Ohutrappaus-eristejärjestelmä muodostuu kantavasta sisäkuorirakenteesta, siihen laastilla liimatusta lämmöneristeestä ja pintaan tehdystä rappauskerroksesta. Lämmöneristeenä järjestelmässä on yleisesti käytössä mineraalivilla tai solumuovilevy (EPS, extruded polystyrene). Eristelevyt on kiinnitetty alustaan liimalaastilla ja mekaanisilla kiinnikkeillä. Lämmöneristeeseen tulee olla puristuskestävyydeltään riittävän lujaa rappauksen alustaksi. Alustarakenne on betonia, tiiltä, harkkoa tai muuta kiviainespohjaista materiaalia.

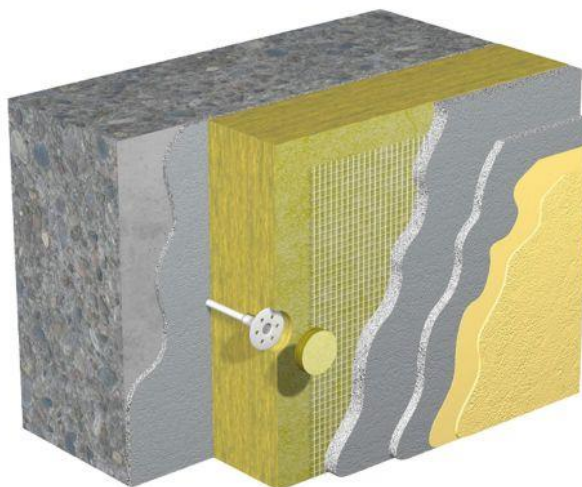
Rappauskerros on yleensä 5 - 10 mm paksu ja koostuu verkotuslaastista, muovipinnoitetusta lasikuituverkosta ja pinnoitteesta. Laastit ovat yleensä sementtipohjaisia ja polymeerimodifioituja, eli laastiin on lisätty muovikuituja työstettävyyden parantamiseksi ja laastin kuivumiskutistuman hallintaan. Ohutrappauslaastit ovat sementtipohjaisina kohtalaisen tiiviitä ja lujia. (Lahdensivu ym. 2016, 10 - 14)

Rappausta lujittava lasikuituverkko asennetaan ensimmäisen verkotuslaastikerroksen jälkeen painamalla märkään laastiin, tämän jälkeen tehdään toinen verkotuslaastikerros. Verkon päätarkoitus on rajoittaa rappauskerroksen halkeilua. Verkon sijainnilla on suuri merkitys rappauksen halkeilutaipumukselle. Verkon tulee sijaita verkotuslaastissa noin uloimman kolmanneksen syvyydellä, jotta se toimii tehokkaasti rappauksen halkeilua vastaan. (Lahdensivu ym. 2016, 24, 40)

Pinnoitteet ohutrappaus-eristejärjestelmässä ovat pääsääntöisesti silikonihartsipohjaisia, jolloin pinnoitteet ovat vettä hylkiviä, mutta niillä on kohtalaisen hyvä vesihöyrynläpäisevyys. Järjestelmissä on usein käytössä lisäksi erillinen pohjuste varsinaisen pinnoitteen alla. (Lahdensivu ym. 2016, 13).

Ohutrappaus-eristejärjestelmän rakennusfysikaalinen toiminta perustuu rappauksen pinnoitteen vedenhylkivyyteen ja toisaalta eristeen, rappauksen ja lopulta pinnoitteen vesihöyryn läpäisykykyyn, millä mahdollistetaan rakenteen kuivuminen diffuusiolla ulospäin. Kuivuminen tapahtuu kohtalaisen hitaasti rappauskerroksen melko suuren vesihöyrynvastuksen vuoksi.

Riskinä rakenteessa on mahdolliset halkeamat, muut pinnoitteen epäjatkuvuuskohtat ja rakenteiden liitoskohtat, kuten ikkunaliittymät tai liitokset vaakasuuntaisiin tasoihin tai ulokkeisiin (RIL 250-2020, 137). Vettä hylkivän pinnoitteen pintaan sateella muodostuva vesikalvo kulkee tuulen vaikutuksesta rakenteen pinnalla ja kosteutta voi päätyä rakenteeseen jopa 2 % viistosateen määrästä (Olsson 2017, 5). Mineraalivillalla eristetyssä järjestelmässä vapaa vesi valuu osin villakerroksessa rakenteen alaosaan ja poistuu järjestelmän aloituslistassa olevien vedenpoistoreikien kautta. Solumuovieristeisessä rakenteessa veden liikuminen eristekerroksessa on mahdollista vain eristeen saumojen kohdalta. Mineraalivillaeristetyssä rakenteessa mahdollista kuivatettavaa vettä voi olla huomattavasti enemmän kuin solumuovipohjaisessa eristeessä. Toisaalta solumuovipohjaisten eristeiden vesihöyrynvastus on huomattavasti suurempi kuin mineraalivillapohjaisten, joten mahdollisen alusrakenteeseen päässeeseen veden kuivuminen on hitaampaa kuin mineraalivillapohjaisissa rakenteissa. (Lahdensivu ym. 2016, 23 - 25).



KUVA 3. Esimerkki, ohutrappaus-eristejärjestelmä mineraalivillaeristeellä (<https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/eristerappausratkaisut/serpomin-eristerappaus>)

5.2 Paksurappaus-eristejärjestelmä

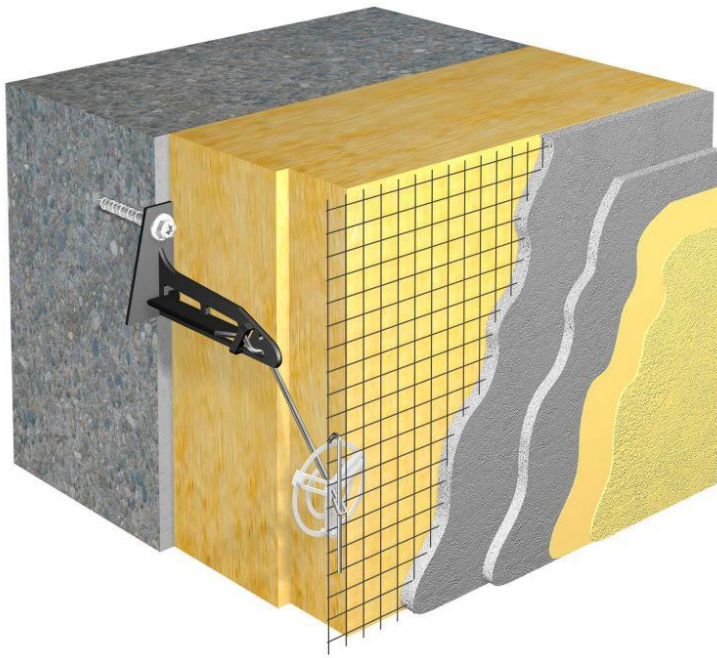
Paksurappaus-eristejärjestelmän pääperiaate on samantapainen ohutrappaus-eristejärjestelmän kanssa. Erona järjestelmissä on rappauskerroksen suurempi paksuus noin 20 - 25 mm. Paksurappaus-eristejärjestelmässä rappauskerros muodostaa lämmöneristeen pintaan kuumasinkityllä teräsverkolla lujitetun levymäisen jäykän rakenteen. Rappauskerros kannatetaan rakennusrungosta mekaanisilla kiinnikkeillä, jotka sallivat rappauksen levyrakenteen suuntaisen liikkeen lämmöneristekerroksen päällä. Tyypillinen kannake on ns. heilurihaka (ks. kuva 4). Tällöin rappauskerroksen kosteus- ja lämpöliikkeet pääsevät tapahtumaan esteettä. Edellytyksenä vapaalle liikkeelle on rappauksen liikunta-saumot, sekä vaaka että pystysuunnassa noin 12 - 15 m välein. (Lahdensivu ym. 2016, 14 - 15).

Paksurappauksessa käytetään yleensä kalkkisementtilaasteja ja rappaus koostuu kolmesta kerroksesta. Pohjarappaus muodostaa alustan täyttörappaukselle

ja peittää lämmöneristeen pinnan. Täyttörappauksella tasataan mahdolliset alustan epätasaisuudet ja se toimii pintarappauksen alustana. Rappausverkko asennetaan täyttörappauskerroksen sisään. Myös paksurappauksessa verkon sijainnilla rappauskerroksen paksuussuunnassa on suuri merkitys halkeilun hallinnalle. Verkon tulee sijaita noin kolmasosan syvyydellä rappauksen ulkopinnasta laskien. Pintarappaus on yleensä värillinen rappauskerros, jolla tehdään rappauspinnan lopullinen ulkonäkö. Pintarappaus voidaan myös pinnoittaa kalkki- tai kalkkisementtimaalilla, silikaattimaalilla tai silikonihartsimaalilla. (Lahdensivu ym. 2016, 15, 63).

Lämmöneristeet paksurappausjärjestelmässä ovat pääsääntöisesti mineraalivillalasteita, joiden puristus- ja leikkauslujuuden tulee olla rappauksen alustalle riittävät. Paksurappauksessa levymäisen rappauskerroksen painumisesta muodostuu villakerrokseen puristava voima. Mitä heikompi on villan puristuskestävyys, sitä enemmän rappauskerros painuu alaspäin.

Paksurappaus-eristejärjestelmän rakennusfysikaalinen toimintaperiaate on sama kuin ohutrappaus-eristejärjestelmässä. Rakenne kuivuu diffuusiolla ulospäin. Paksurappauksessa käytetyt kalkkisementtitaastit ovat kapillaarisia ja kalkki- tai kalkkisementtimaalilla pinnoitettuna, tai värjättyllä laastipinnalla rappaus imee nopeasti vettä rappauskerrokseen. Toisaalta tämän tyyppinen pintarakenne on kohtalaisen diffuusioavoin ja pääsee kuivumaan yleensä melko nopeasti. Tiivis pinnoite, esimerkiksi silikonihartsimaali suojaa rakennetta kosteuden imeytymiseltä, mutta halkeilun, liitosten ja epäjatkuvuuskohtien kautta rakenteeseen päätyvä vesi kuivuu huomattavasti hitaammin. (Lahdensivu ym. 2016, 23 - 25).



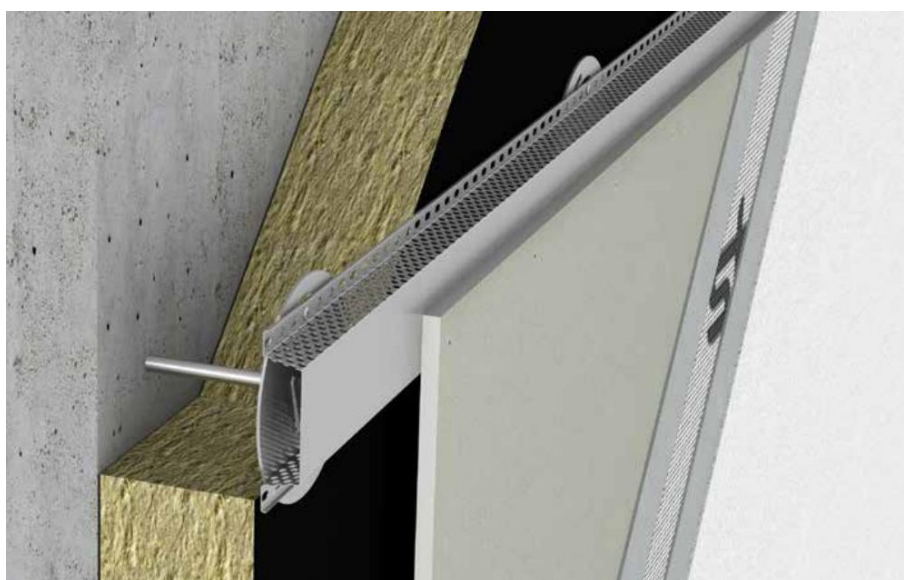
KUVA 4. Esimerkki, paksurappaus-eristejärjestelmä, heilurihaka
(<https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/eristerappausratkaisut/mo-noroc-eristerappaus>)

5.3 Levyrappaus

Levyrappausjärjestelmä on tuulettuva julkisivujärjestelmä, jossa ohutrappaus tehdään alustana toimivan levyn päälle. Levy muodostaa yhtenäisen lähes saumattoman julkisivupinnan rakennukseen. Levyn taustalla on yhtenäinen tuuletusrako, jolloin alusrakenne voidaan valita vapaasti. Levyrappaus soveltuu myös kevyiden seinärakenteiden ulkoverhoukseksi. Rappauslevyjen tulee olla säänkestäviä, eli niiden tulee kestää toistuvaa kastumista ja toistuvia jäätymissulamissyklejä. Tuuletusraossa, rappauslevyn taustapinnalla on usein homeen kasvulle suotuisat olosuhteet, jolloin levyjen tulee kestää näitä olosuhteita vaurioitumatta. Levyjen kosteus- ja lämpötilamuodonmuutosten tulee olla riittävän pieniä ja lujuus riittävä mekaanista rasitusta vastaan. Rappauslevyt ovat yleensä kuitusementti-, kalsiumsilikaatti- tai lasigranulaattipohjaisia. (Lahdensivu ym. 2016, 111 - 117).

Rankarakenne levyrappausjärjestelmässä voi olla järjestelmän mukaan puuta, alumiinia tai terästä, joko sinkittynä tai ruostumattomana. Rankarakenne valitaan järjestelmätoimittajan ja rasitusolosuhteiden sekä rakennuksen muiden ominaisuuksien mukaan. Puurangan käyttöä rajoittaa kosteusrasituksen taso ja toisaalta palomääräykset. Metallirangoissa täytyy huomioida metallin, etenkin alumiinin suuri lämmönjohtavuus ja sen vaikutus rakenteen U-arvoon. Tässä opinnäytetyössä levyrappausjärjestelmän mallinnuksessa ei huomioida rankarakennetta. (Lahdensivu ym. 2016, 111 - 117).

Levyrappausjärjestelmän rakennusfysikaalinen toiminta perustuu rakenteen sadevedenpitävyyteen, mahdollisten vuoto- tai tiivistymisvesien huomioimiseen sekä rakenteen riittävään tuulettumiseen eli ilmanvaihtoon tuuletusvälissä. Tuuletusvälin tulee olla yhtenäinen. Raon minimileveys on 20 mm, suositeltu leveys >30 mm ja tuuletusaukkojen vapaa poikkipinta-ala tuuletusaukkojen kohdalla tulee olla >150 cm²/m. Tuuletuksen toimivuus on varmistettava toimivilla yksityiskohdilla ja liitoksilla esimerkiksi julkisivujen aukkojen ympärillä. Levyrappausjärjestelmässä sadevesi ei suoraan vaikuta rakenteen sisäosien kosteustekniseen toimintaan. Vuoto- ja kondenssivesien poistumiseen rakenteesta on kuitenkin suunniteltava hallittu poistumisreitti. (Annilla ym. 2016, 52 - 53)



KUVA 5. Esimerkki, levyrappausjärjestelmä (https://www.sto.fi/media/documents/broschyre/fasad_1/fasad_fi/Jaerjestelmaeesite_System_brochure_Sto-VentroXRev.nr.02_2020.10_FI.pdf, 2)

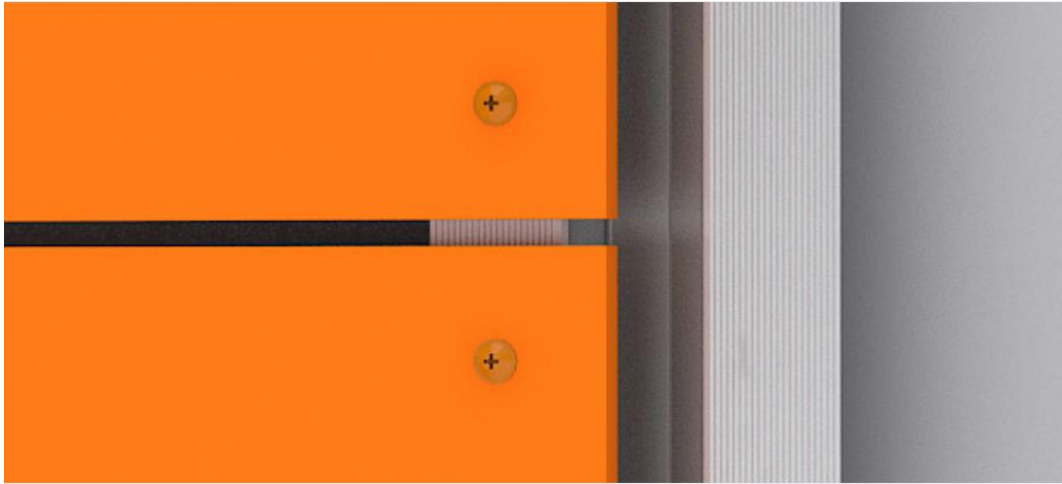
5.4 Levyverhous

Levyverhottu julkisivu on tuulettuva julkisivurakenne kuten levyrappaus. Levyverhotun julkisivun toteutustapoja ovat avosaumainen rakenne ja tiiviillä levysaumoilla toteutettu rakenne. Merkittävänä erona avosaumaisessa rakenteessa kosteus voi viistosateen ja tuulen sekä painovoiman julkisivupinnalla kuljettaman veden vaikutuksesta päästä tuuletusrakoon. Kosteutta ei saa kuitenkaan päätyä tuuletusrakoa syvemmälle rakenteeseen. Avosaumaisessa rakenteessa toisaalta julkisivulevyn tuulettavuus on hyvällä tasolla ja mahdollinen kosteus pääsee kuivumaan ilmavirtausten ja vesihöyryn diffuusion avulla. Tiivissaumaisessa rakenteessa levysaumot tiivistetään esimerkiksi saumalistoilla, -tiivisteillä tai tekemällä rakenteeseen erillinen saumaus työmaalla. (Annala ym. 2016, 28 - 30)

Levyverhouksessa käytetään esimerkiksi sementtikuitu-, korkeapainelaminaatti-, lasi- tai metallilevyjä. Myös keraamisella laattalla verhotut julkisivut ovat eräänlaisia tuulettuvia levyverhouksia. Rankarakenne on yleensä järjestelmätoimittajan ohjeen mukaan ja voi olla metallia tai puuta.

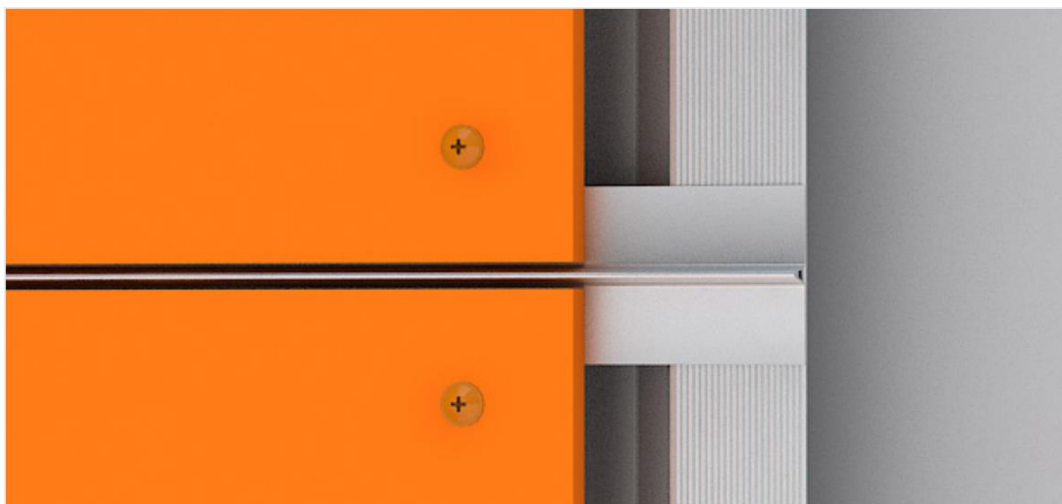
Kosteusteknisen toiminnan osalta tiivissaumainen levyverhous toimii levyrappauksen tavoin, eikä sadevesi suoraan vaikuta rakenteen sisäosien kosteustekniseen toimintaan. Avosaumaisessa rakenteessa taas suora vaikutus on olemassa, jolloin sadevedentiiveys tulee toteuttaa yhtenäisellä tuulensuojakerroksella. (Annala ym. 2016, 53). Levyverhotussa rakenteessa tulee kiinnittää huomio kondenssi- ja vuotovesien poisjohtamiseen suunnitellusti. Detaljiikaa merkitys korostuu myös tässä rakenteessa.

Tässä opinnäytetyössä levyverhottujen julkisivurakenteiden osalta tutkitaan avosaumaista rakennetta.



KUVA 6. Esimerkki, levyverhous avosaumoilla

(https://www.steni.fi/docs/steni.fi/04_asennusohjeet/asennusohjeet%20fi.pdf, 5)



KUVA 7. Esimerkki, levyverhous tiiviillä saumalla, saumaprofiili

(https://www.steni.fi/docs/steni.fi/04_asennusohjeet/asennusohjeet%20fi.pdf, 16)

5.5 Kuorimuuraus

Kuorimuuraus on tuulettuva julkisivurakenne, jossa julkisivupintana on paikalla tehty tiilimuuraus poltetusta tiilestä tai kalkkihiekkatiilestä. Taustarakenteen voi olla betonia, muurausta tai rankarakenteinen seinärakenne. Lämmöneristeenä käytetään yleensä mineraalivillaa, eristekerroksen tuulenrakoa vastaan oleva

pinta tulee tehdä tuulensuojaeristeellä. Kipsilevytuulensuojaa tai huokoista kuitulevyä ei voida käyttää etenkin puurunkoisen rakennuksen tuulensuojana runkorakenteiden kosteusvaurioriskin vuoksi (RIL 250-2020, 134). Muuraus sitotaan rakennusrunkoon muuraussiteillä, jotka mitoitetaan välittämään tuulenpaineen aiheuttama puristus ja imuvaikutuksen aiheuttama vetovoima rakennusrunkoon.

Kuorimuurauksen takana tulee aina olla yhtenäinen toimiva tuuletusrako, jonka minimileveys tulee olla 30 mm, puurakenteisella alustalla 40 mm (RIL 255-1-2014). Yli 10 m korkeissa puurunkoisissa rakennuksissa suositellaan käytettäväksi kaksinkertaista tuuletusrakoa, jossa rakojen välissä on teräspelti ns. sade-takkipeltinä. Rakenne toimii samalla työnaikaisena sadesuojana. (RIL 250-2020, 134).

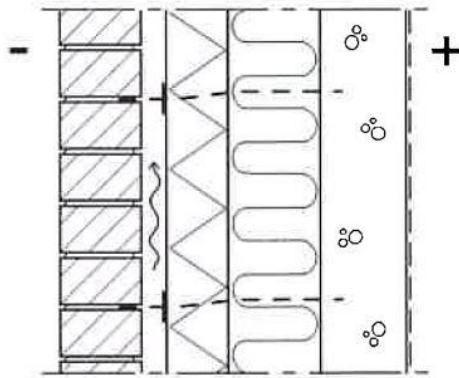
Kuorimuurauksen rakennusfysikaaliseen toimintaan vaikuttaa suuresti viistosade. Tiilimuuraus imee kapillaarisesti vettä hyvin voimakkaasti ja pinnoittamaton tiilimuuraus imee käytännössä kaiken viistosateen. (RIL 255-1-2014, 132). Vedellä kyllästynyt kuorimuuraus siirtää kosteutta sisäkuoren suuntaan diffuusiolla ja auringon säteilyn lämmittävä vaikutus tehostaa tätä ilmiötä, jolloin se voi muodostua ongelmaksi etenkin puurunkoisissa ulkoseinärakenteissa. Hyvän lämmöneristävyyden omaava riittävän paksu tuulensuojakerros suojaa rakenteita näissä olosuhteissa ja pitää puurungon riittävän lämpimissä ja kuivissa olosuhteissa. (RIL 250-2020, 134)

Betonirunkoinen sisäkuori on puurankaa paremmin ulkopuolelta tulevaa diffuusiovirtaa ja vuotovesiä kestävä rakenne. Rakenteessa on kuitenkin usein puiset ikkunarakenteet tai ikkunoiden apukarmit, jotka ovat suojaamattomina alttiita kosteuden aiheuttamille vaurioille. Hyvän lämmöneristävyyden omaavalla tuulensuojavillalla voidaan pienentää myös näiden rakenneosien vaurioriskiä.

Tiilimuuraus ja laastisaumat ovat epätiivitä rakenteita ja sadevesi tunkeutuu saumojen, halkeamien, rakojen ja liitosten kautta kuorimuurin taakse tuuletusväliin lähinnä tuulenpaineen vaikutuksesta. Vuotovesien hallittu ulosjohtaminen

kuorimuurin takaa tulee varmistaa huolellisella detaljisuunnittelulla. Yli 10 m korkeissa rakennuksissa suositellaan käytettäväksi vähintään 120 mm paksuista tiilimurausta, jotta saadaan minimoitua seinärakenteeseen päätyvä vuotoveden määrä. (RIL 255-1-2014, 133 - 134).

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan rakennusfysikaalisella laskennalla ulkoseinä-rakennetta, jossa kuorimuurin taustalla kantava runkorakenne on betonia.



KUVA 8. Tiilimuurattu betonirunkoinen ulkoseinä rakenne (RIL 250-2020, 135)

6 RAKENNUSFYSIKAALISET LASKELMAT

Rakennusfysikaalisissa laskelmissa käytettiin kaikille tutkittaville rakenteille samaa laskenta-aikaa 1.10.2020 - 30.9.2030, eli laskentajakson pituus on kymmenen vuotta. Tällä tarkastetaan, että rakenteen kosteuspitoisuus tasapainottuu ajan mittaan, eikä rakenteeseen tule kerääntyvää kosteuskuormaa. Pitkällä laskennalla saatiin myös homemallin laskentaan riittävän pitkä jakso, jotta nähdään tarkastelupisteittäin, miten homeindeksi kehittyy ja tasaantuuko se johonkin arvoon. Tämän lisäksi poimittiin tarkastelupisteittäin yksi mallinnuksen loppupään vuosi, minkä avulla vertaatiin olosuhteita rakenteessa nykyilmastossa ja ennustetussa vuoden 2100 ilmastossa.

Laskennassa tutkittava ilmansuunta riippuu käytettävästä ilmastodatasta, Vantaan testivuotia käytettäessä suuntana on etelä ja Jokioisten testivuotia käytettäessä pohjoinen. Sadekuorman laskennassa korkeudeksi on määritetty >20 m ja seinien on oletettu altistuvan sateen valumalle. Sadekuorman laskenta asetettiin ohjelmassa ASHRAE 160 standardin mukaiseksi.

Pinnan siirtokertoimet valittiin tutkituilla rakenteilla samoiksi, lukuun ottamatta lyhytaaltoisen säteilyn absorptio kerrointa, joka valittiin pintarakenteen mukaan tapauskohtaisesti. Sateen absorptiokerroinena käytettiin ohjelman oletuskerrointa. Alla olevassa taulukossa käytetyt siirtokertoimet.

TAULUKKO 5. Laskennassa käytetyt Wufi ohjelman pinnan siirtokertoimet

Ulkopinnan lämmönvastus	0,0588 m ² K/W	oletus
Ulkopinnan SD -arvo	---	määritetty materiaalin mallinnuksessa
Lyhytaaltoinen absorptiokerroin	0,4	vaalea rappaus
	0,5	levyverhous
	0,67	tiili, punainen
Maan lyhytaaltoinen heijastus	0,2	oletus
Sateen absorptiokerroin	0,7	oletus
Sisäpinnan lämmönvastus	0,125 m ² K/W	oletus
Sisäpinnan SD-arvo	0,2	lateksimaali

Laskennan alkuolosuhteiksi rakenteisiin asetettiin Wufi ohjelmaan määritellyt tyypilliset alkukosteudet materiaaleittain. Laskennan alkulämpötila asetettiin materiaaleilla +20 ° C lämpötilaan. Rakennetyypit on laskelmissa mallinnettu siten että, koko rakenteen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on likimain 0,17 W/Km², mikä vastaa valtioneuvoston asetuksessa 1010/2017 annettua rakennuksen lämpöhäviön tasauskannan vertailuarvoa ulkoseinärakenteille.

Rakenteista tarkastellaan kokonaiskosteutta koko rakenteessa, sekä lämpötilaa ja suhteellista kosteutta eri tarkastelupisteissä. Kokonaiskosteuskuvaaja kertoo havainnollisesti, millä tavoin julkisivurakenteen kokonaiskosteusmäärä vaihtelee tarkastelujakson ajalla ja onko riskiä rakenteeseen muodostuvasta kasvavasta kosteuskuormasta, toisin sanoen kokonaiskosteuden avulla tarkastellaan, pääseekö rakenteeseen kertyvä kosteus kuivumaan riittävän tehokkaasti.

Lämpö- ja kosteusteknisen laskennan tarkastelupisteet valittiin rakennetyypeittäin edustamaan kyseisessä rakenteessa kosteusteknisesti kiinnostavia materiaalikerroksia ja kerrosten rajapintoja. Tarkemmin tarkastelupisteet esitetään rakennetyypeittäin.

Homeindeksitarkasteluissa homehtumisherkkyysluokat ja taantumakertoimet on valittu rakennusmateriaaleittain luvussa 4.1 esitettyjen taulukoiden mukaisesti.

6.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmä

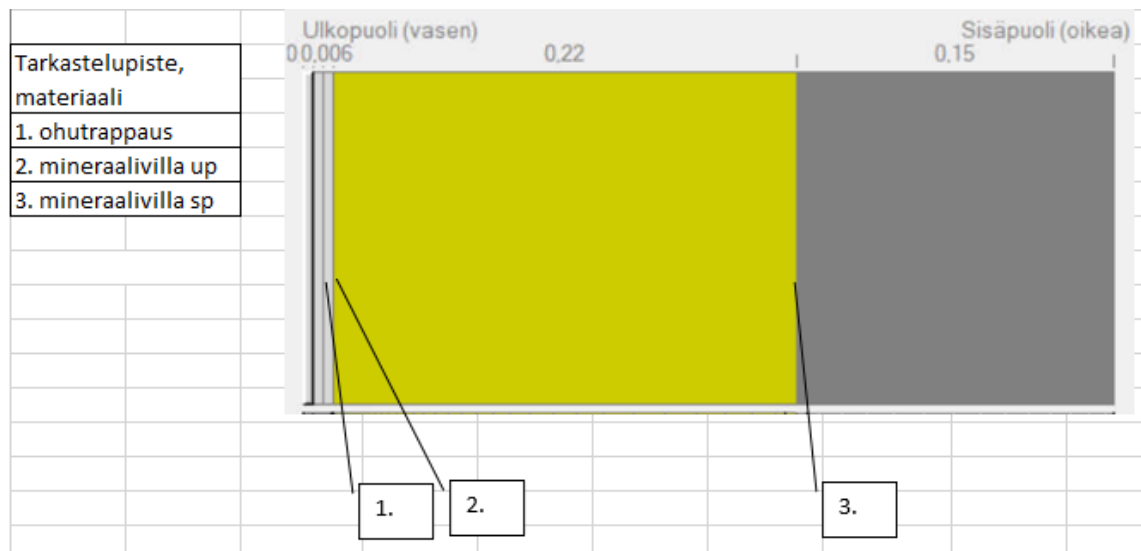
Tutkittu ohutrappaus-eristejärjestelmän rakenne on tyypillinen uudisrakentamisessa käytetty järjestelmä, jossa betonisen sisäkuoren päällä on mineraalivillalämmöneriste ja ohutrappaus. Alla on esitetty rakennetyypin rakennekerrokset.

TAULUKKO 6. Ohutrappaus-eristejärjestelmä, sisäpuolelta ulospäin

kerros	materiaali	paksuus mm
1.	Betoni C35/45	150
2.	Mineraalivilla, Rockwool facade batts	220
3.	Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	6
4.	Silikonihartsimaali (pohjuste)	0,3
5.	Silikonihartsipinnoite	2

Tutkitun rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan vaikuttaa ulkoilman suhteellisen kosteuden lisäksi viistosaderasitus, joten taulukon 3 mukaisesti rakenne tutkittiin Vantaa 2007 ja 2100 ilmastollisten testivuosien avulla.

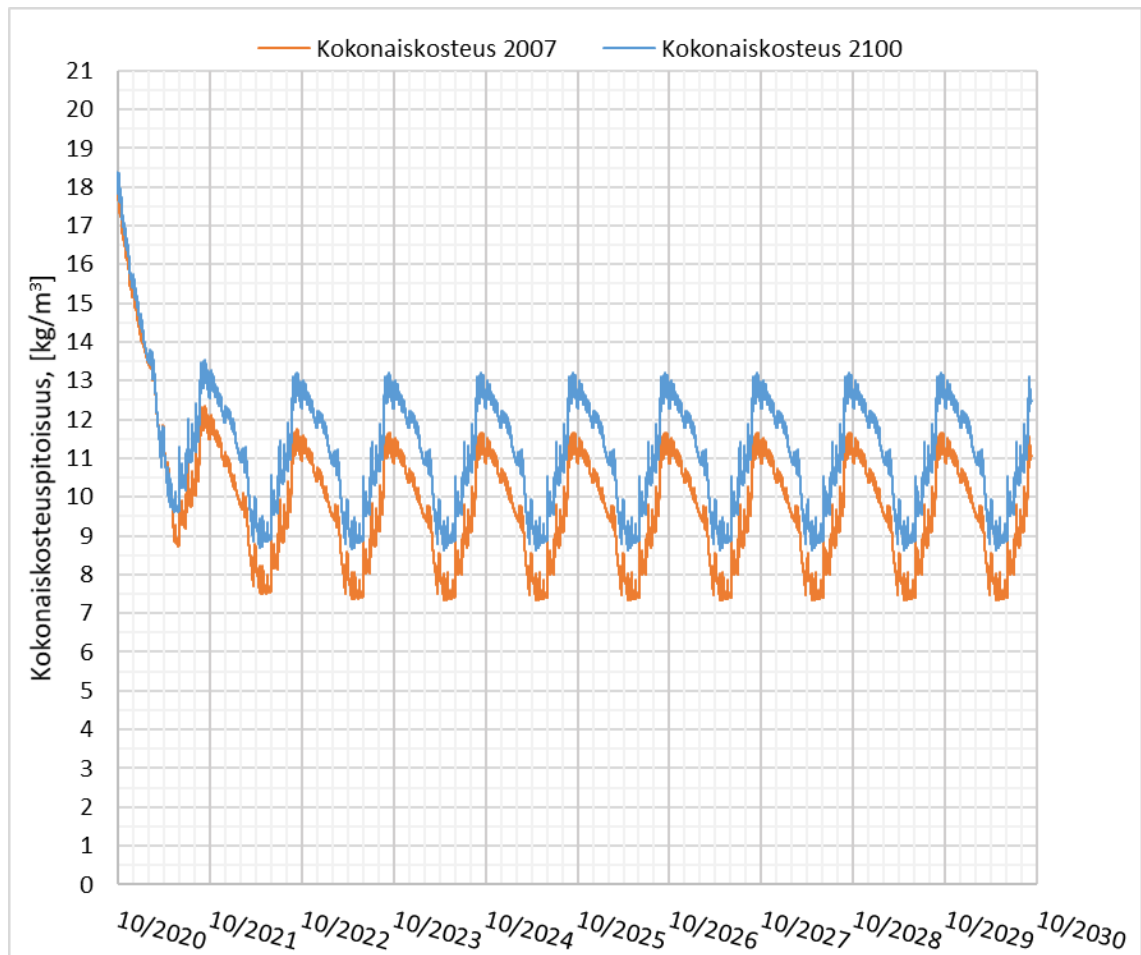
Rakenteen tarkastelupisteiksi valittiin kuvion 16 mukaisesti rappauslaastikerros, mineraalivillaeristeen ja rappauksen rajapinta ja mineraalivillan sisäpinnassa rajapinta betoniseen sisäkuoreen.



KUVIO 16. Ohutrappaus-eristejärjestelmä ja tarkastelupisteet

6.1.1 Rakenteen kokonaiskosteus

Rakenteen kokonaiskosteuden kehitys 10 vuoden tarkastelujaksolla ilmastoitain esitetään alla olevassa kuvaajassa.



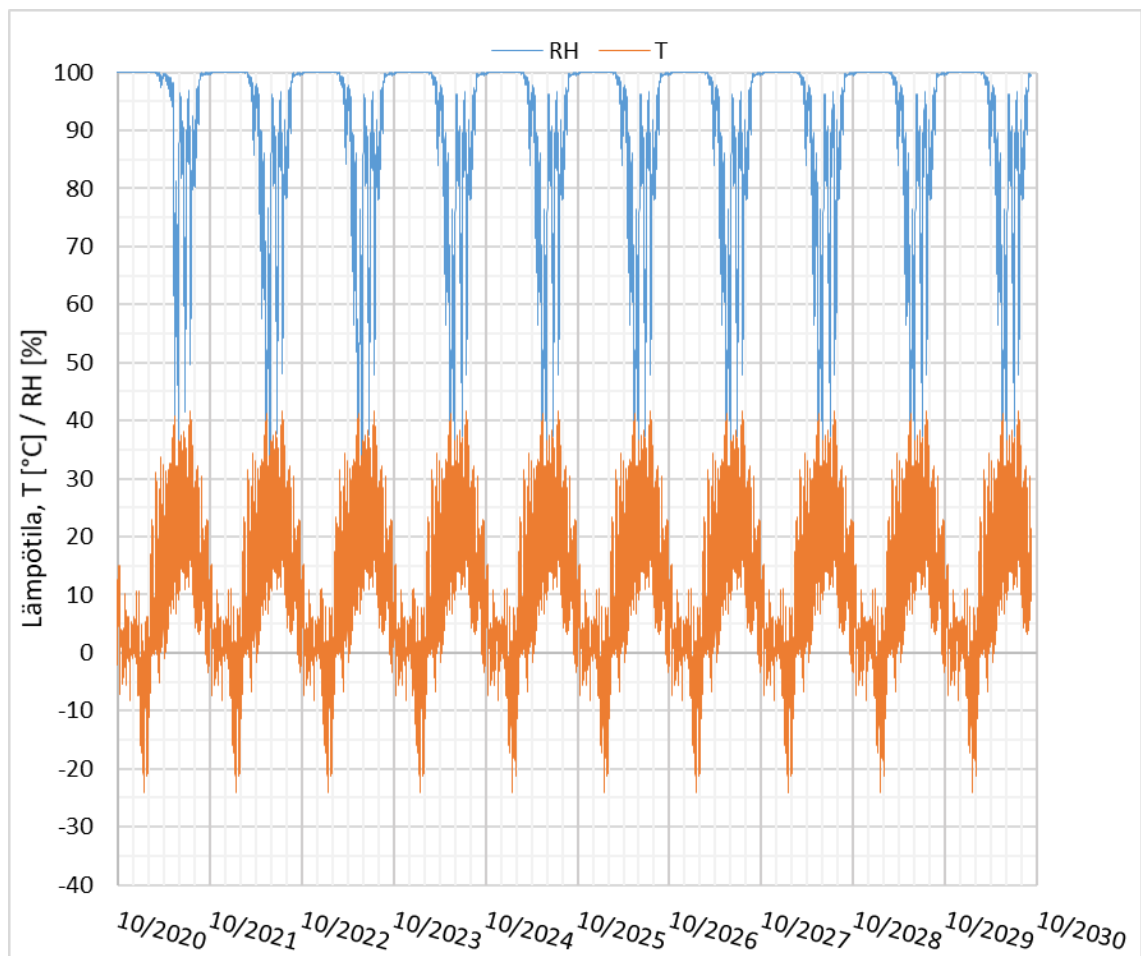
KUVIO 17. Ohutrappaus-eristejärjestelmä, rakenteen kokonaiskosteus 2007 ja 2100 ilmastossa.

Kuvaajasta havaitaan, että vuoden 2100 ilmasto-olosuhteissa rakenteen kokonaiskosteus tasapainottuu noin 10 - 15 % nykyilmastoa korkeammalle tasolle. Rakenne tasaantuu 10 vuoden tarkastelujaksossa noin kolmen vuoden kuluessa laskennan alusta eikä kasvavaa kosteuskuormaa synny rakenteeseen.

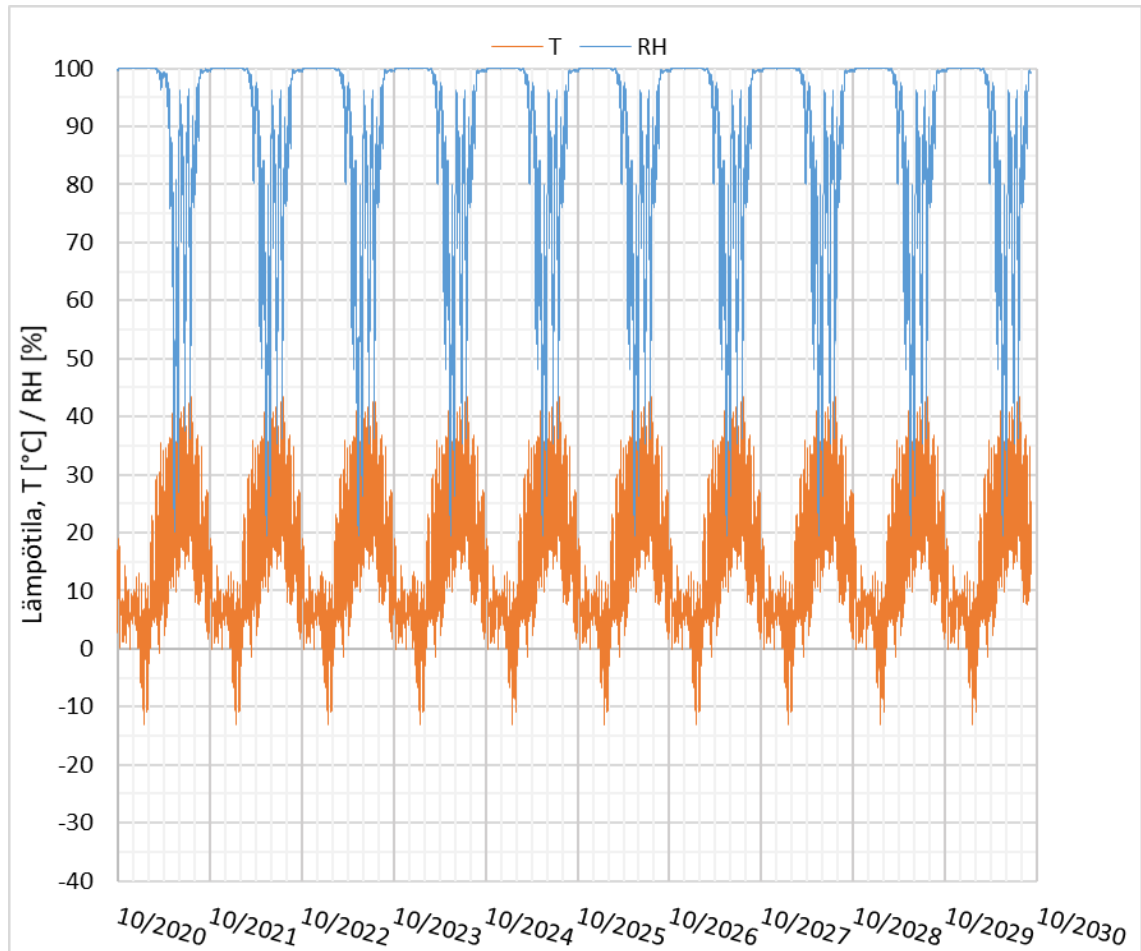
6.1.2 Tarkastelupiste 1 rappauskerros

Rappauskerroksessa olevalla tarkastelupisteellä haluttiin selvittää julkisivurakenteen ulkopinnan kosteusolosuhteita, mahdollista rapautumaherkkyttä ja riskiä homeen kasvulle.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus rappauslaastikerroksessa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

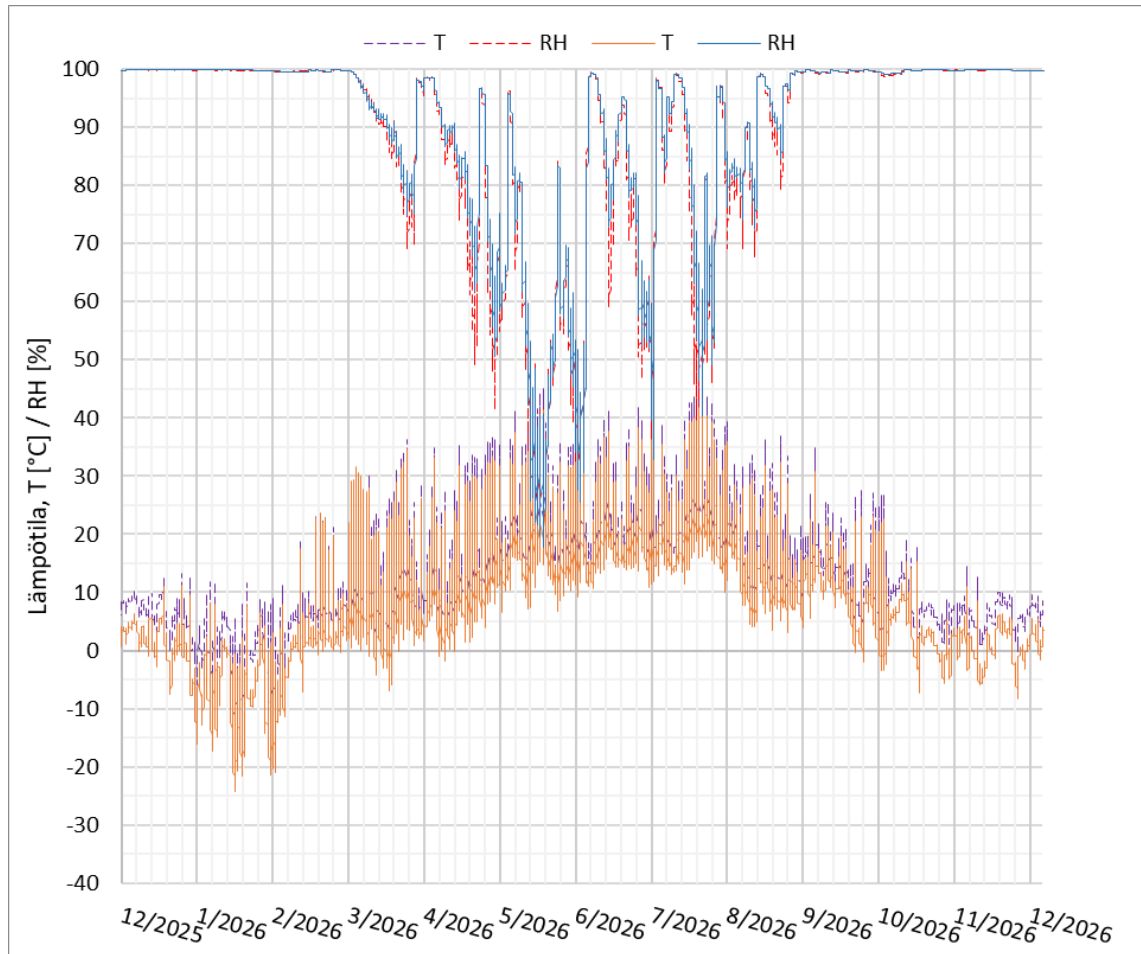


KUVIO 18. Rappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ilmastossa.



KUVIO 19. Rappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajista nähdään, että rappauskerros on syys- ja talvikaudella pitkiä aikoja hyvin märkä jo nykyisissä ilmasto-olosuhteissa. Rakennusfysikaalisista laskelmista saatua numeerista dataa tarkastelemalla nähdään, että suhteellinen kosteus on molemmissa ilmastoissa 58 % tunneittain muodostetuista laskentapisteistä yli 98 %. Kerros on ulkoilman olosuhteita lähinnä oleva kerros ja tulokset ovat loogisia. Kosteus ja lämpötila seuraavat ulkoilman olosuhteita, mutta kuivumisen ollessa kastumista hitaampaa pysyy kosteuspitoisuus suurena. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty tarkastelujaksosta poimitun yhden vuoden ajalta lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ja 2100 ilmastoissa.



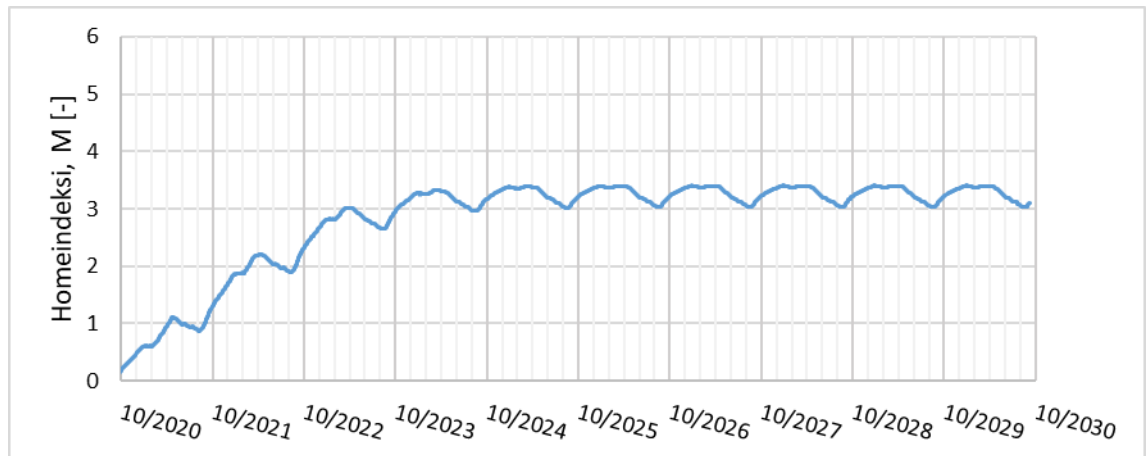
KUVIO 20. Rappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Suhteellisen kosteuden osalta ei nähdä merkittävää muutosta eri ilmasto-olosuhteiden välillä. Lämpötilan kohoamisen myötä vuoden 2100 ilmastossa keväällä ja kesällä kuivien jaksojen aikana rakenne pääsee kuivumaan ja suhteellinen kosteus on ainakin ajoittain matalammalla kuin 2007 ilmastossa. Ohutrappauksen vettä hylkivä silikonihartsipinnoite hidastaa kosteuden imeytymistä rakenteeseen, toisaalta perinteisiä rappauksen pinnoitteita suuremman diffuusiovastuksen takia rakenne myös kuivuu hitaasti. Lämpötilan osalta on nähtävissä vielä selkeämpi muutos talvikaudella, jolloin lämpötila on vuoden 2100 ilmasto-olosuhteissa jatkuvasti korkeammalla kuin 2007 ilmastossa. Talvikauden minimilämpötilat ovat myös huomattavasti korkeampia vuonna 2100. Lämpötila käy alle nollan koko tarkastelujaksolla vuoden 2007 ilmastossa noin 20 % laskentapisteistä ja vuoden 2100 ilmastossa enää 6 % tarkastelupisteistä. Mahdollisia

pakkasrapautumasyklejä on vähemmän, mutta toisaalta kuvaajista voi päätellä olosuhteiden olevan homeen kasvulle otollisemmat vuoden 2100 ilmastossa syys- ja talvikauden aikana. Homeen kasvua tarkastellaan homeindeksin avulla seuraavissa kuvaajissa.



KUVIO 21. Rappauskerroksen homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.



KUVIO 22. Rappauskerroksen homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.

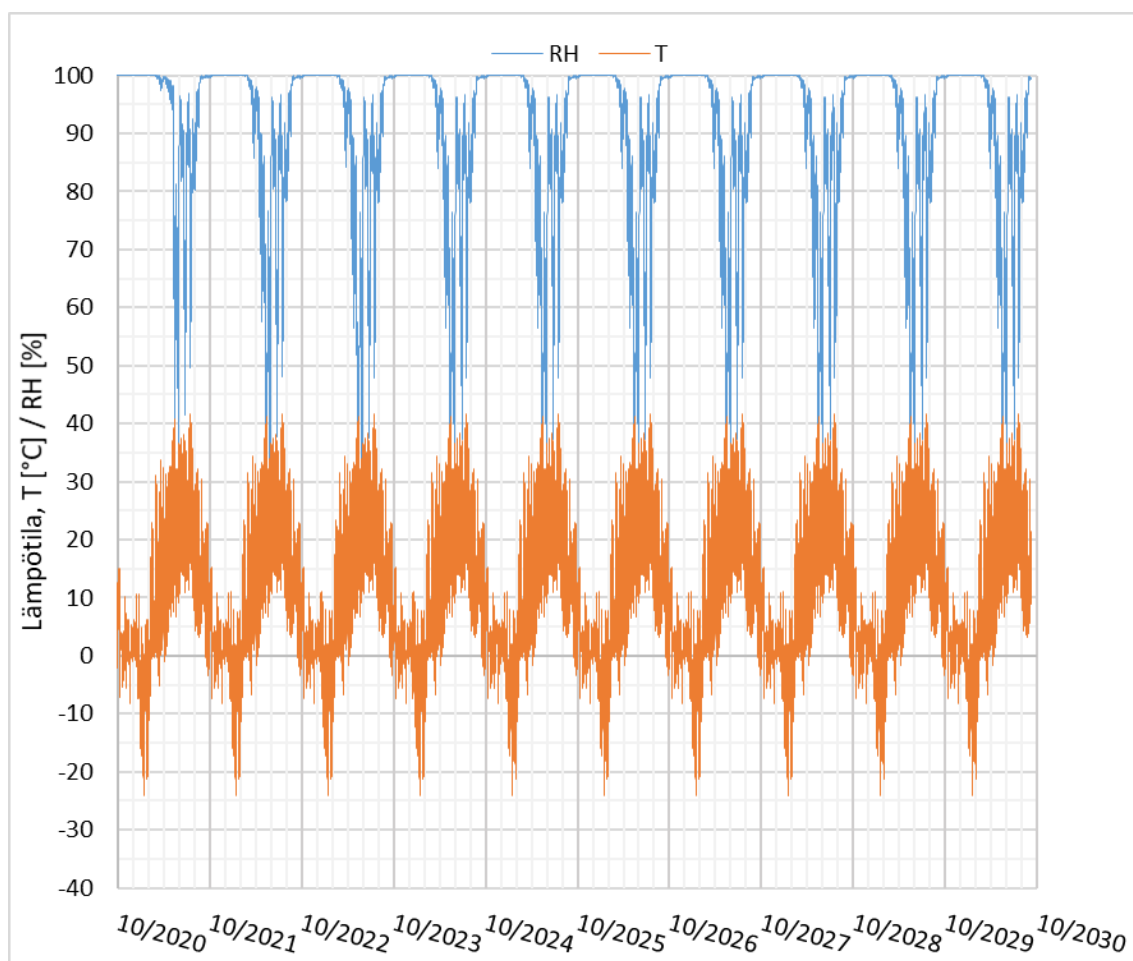
Homeindeksin kuvaajista nähdään, että vuoden 2007 ilmastossa indeksi kasvaa vuosi vuodelta lähestyen indeksin arvoa 3, maksimin ollessa 2,57. Laskennasta ei suoraan nähdä jatkaako indeksi kasvuaan myös 10 vuoden laskentajakson

jälkeen. Vuoden 2100 ilmastossa homeindeksi saavuttaa alle kolmessa vuodessa indeksin 3 ja tasaantuu, maksimin ollessa 3,39. Tämä tarkoittaa, että rakenteessa voi olla jo kolmessa vuodessa pinnoilla silmin nähtävää homeen kasvua ja selvästi mikroskoopilla havaittavia kasvustoja. Vuoden 2007 ilmastossa näkyvää homeen kasvua ei havaita tarkastelujakson aikana, mikroskoopilla havaittavaa selvästi havaittavaa kasvustoa (homeindeksi 2) esiintyy noin 5 vuoden kuluttua. Ulkoseinän ulkopinnassa oleva homekasvusto ei kuitenkaan aiheuta riskiä sisäilman laadulle ja tämä joudutaan usein hyväksymään Suomen olosuhteissa. (RIL 255-1-2014, 64)

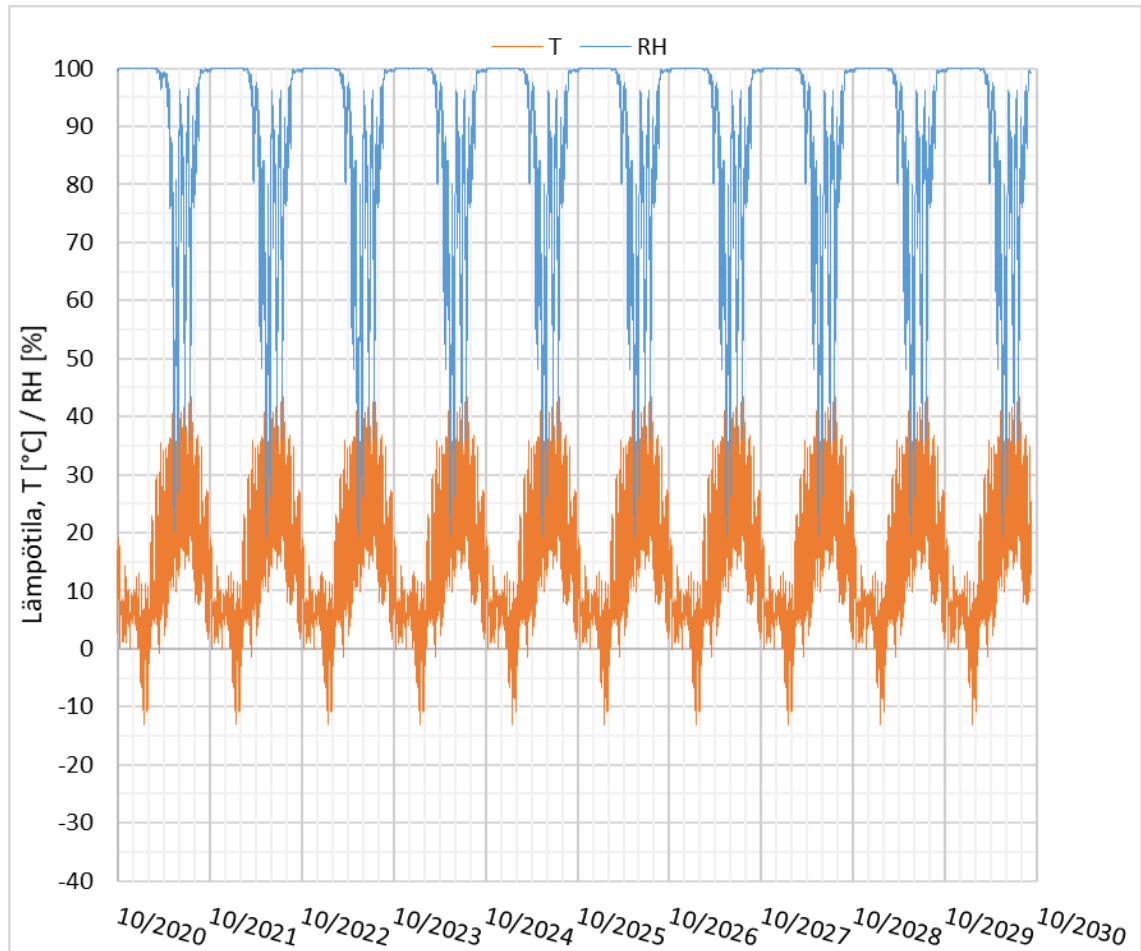
6.1.3 Tarkastelupiste 2 mineraalivillan ulkopinta

Mineraalivillan ulkopinnassa, rappauserroksen rajalla olevalla tarkastelupisteellä tutkittiin mahdollista kosteuden tiivistymistä ohutrappauksen ja mineraalivillan rajapintaan ja homeen kasvun mahdollisuutta rajapinnassa.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

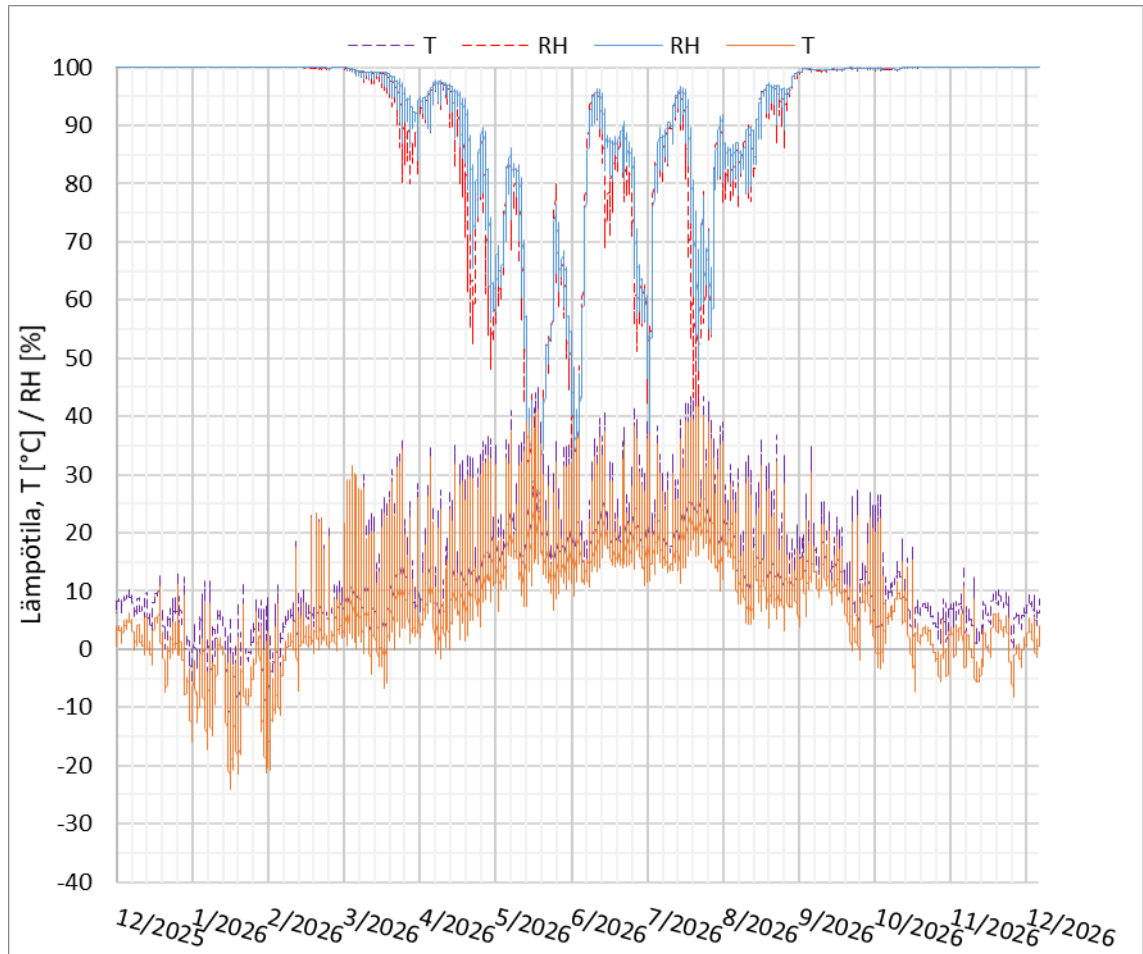


KUVIO 23. Mineraalivillan ulkopinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ilmastossa.



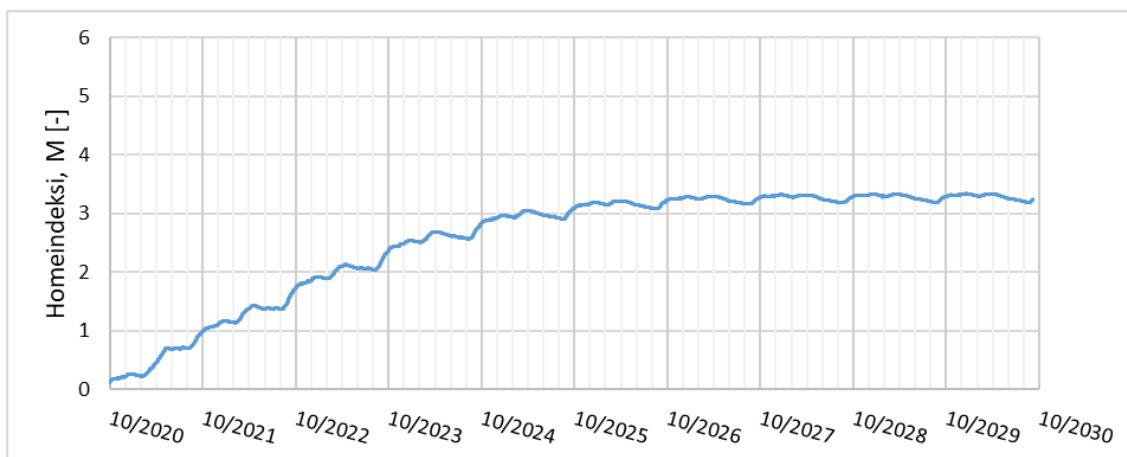
KUVIO 24. Mineraalivillan ulkopinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Tarkastelupiste 2 sijaitsee vain muutaman millimetrin sisempänä kuin tarkastelupiste 1 ja kuvaajat ovat lähes identtisiä edellisen kohdan kuvaajien kanssa. Villan ulkopinta on syys- ja talvikaudella kosteana pitkiä aikoja kerrallaan molemmissa tutkituissa ilmastoissa. Tarkastelujaksolla vuoden 2007 ilmastossa 37 % ja vuoden 2100 ilmastossa 32 % laskentapisteistä suhteellinen kosteus on 100 %, jolloin olosuhteet mahdollistavat kosteuden tiivistymisen rappauksen taustalle. Yli 80 % suhteellinen kosteus saavutettiin 2007 ilmastossa 85 % laskentapisteistä ja 2100 ilmastossa 82 % laskentapisteistä. Laskennallisesti tarkasteltuna vuoden 2100 ilmastossa rakenne on hieman kuivempänä, johtuen korkeammasta lämpötilasta, mikä laskee suhteellista kosteutta.

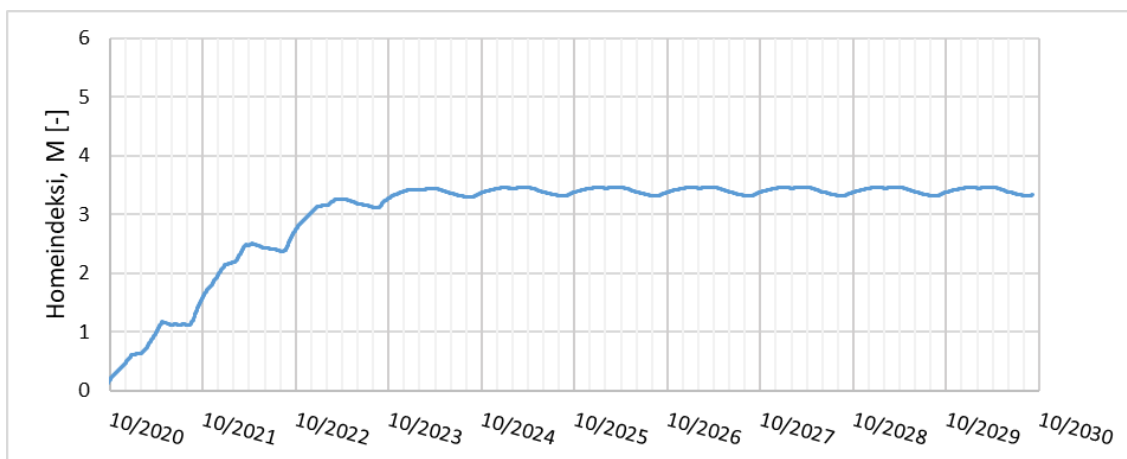


KUVIO 25. Mineraalivillan ulkopinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla. Tarkastelupiste 2.

Myös yhden vuoden kuvaajassa nähdään, että lämpötilat 2100 ilmastossa ovat selvästi korkeampia syys- ja talvikaudella, ja suhteellinen kosteus on keväällä ja kesällä hieman matalammalla kuin 2007 ilmastossa. Kuvaaja on hyvin lähellä rappauskerroksen vastaavaa kuvaajaa. Homeen kasvua tarkastellaan homeindeksin avulla seuraavissa kuvaajissa.



KUVIO 26. Homeindeksi mineraalivillan ulkopinnassa vuoden 2007 ilmastossa HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



KUVIO 27. Homeindeksi mineraalivillan ulkopinnassa vuoden 2100 ilmastossa HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

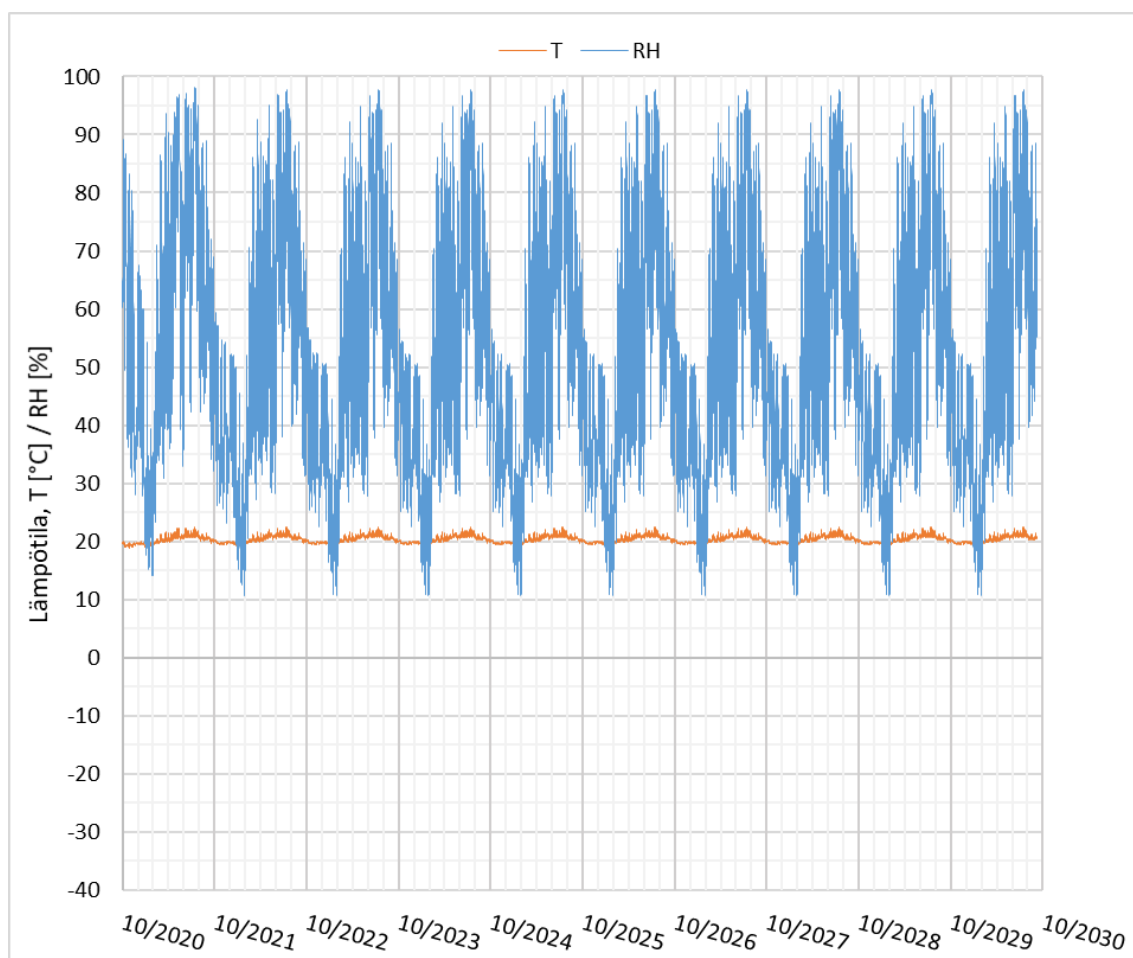
Vuoden 2007 ilmastossa homeindeksin maksimiarvo 3,32 saavutetaan noin 6 vuoden kuluessa ja homeindeksi tasaantuu samassa ajassa. Vuoden 2100 ilmastossa homeindeksin maksimiarvo 3,46 saavutetaan jo reilun kolmen vuoden kuluttua laskennan alusta, näkyvän homekasvun raja 3 jo kahdessa vuodessa. Arvot ovat korkeampia kuin rappauserroksessa ja homeindeksin kasvu villan ulkopinnassa tasaantuu laskentajakson aikana. Tulevaisuudessa ohutrappauseristejärjestelmän villan ulkopinnassa voi olla silmin nähtävää homekasvua jo alle kolmen vuoden kuluttua rakentamisesta. Nykyilmastossakin homeindeksi saavuttaa näkyvää homekasvua tarkoittavan indeksin 3 noin viidessä vuodessa.

Mikäli homeetta kasvaa lämmöneristeessä tai lämmöneristekerroksen ulkopinnassa, on avohuokoisessa eristeessä mahdollista, että epäpuhtauksia voi siirtyä sisäilmaan vaipan epätiivetysohjeiden ilmapuottojen kautta. Tällä perusteella RIL 255-1-2014 ohjeen mukaan homeen kasvua ei voida sallia lämmöneristekerroksessa.

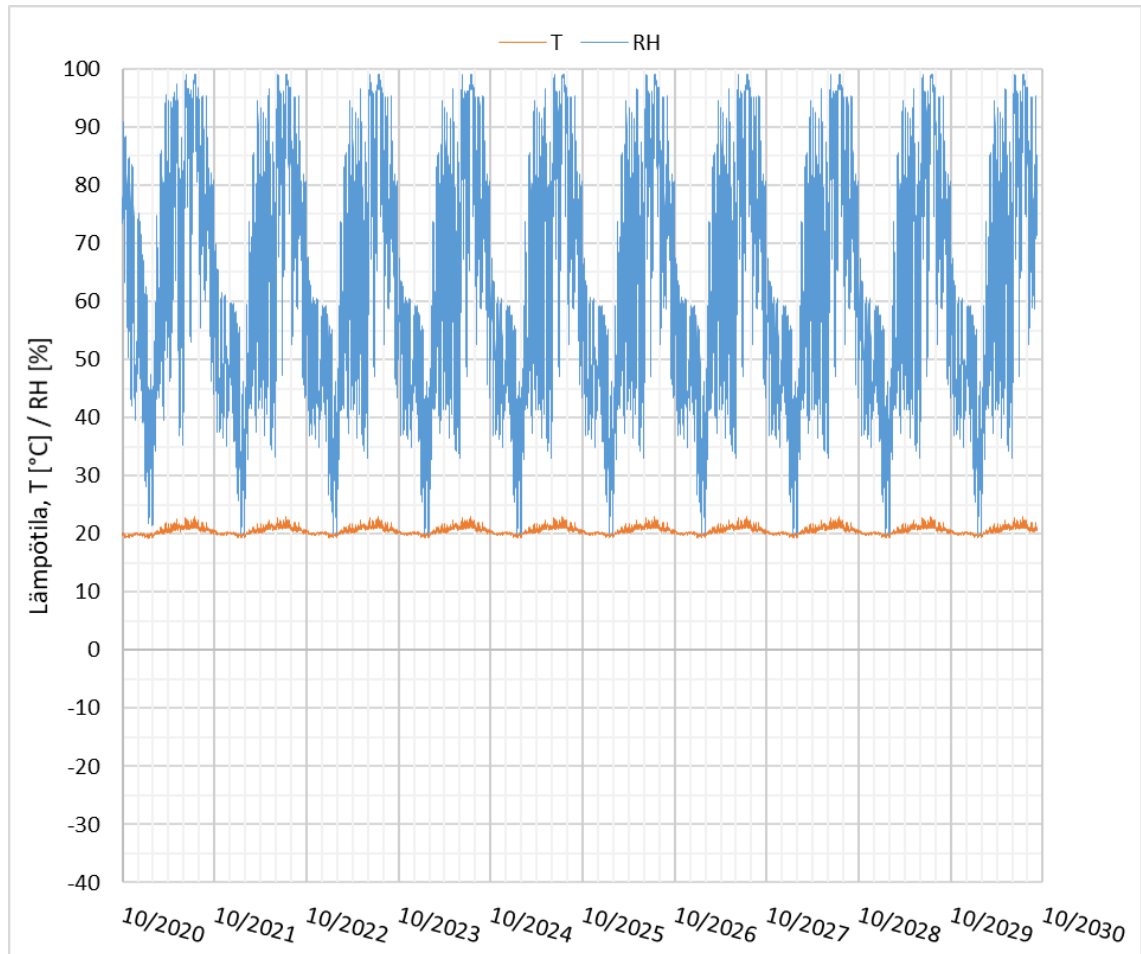
6.1.1 Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta

Mineraalivillan sisäpinnassa, villan ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa tutkittiin olosuhteita homeen kasvun kannalta.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

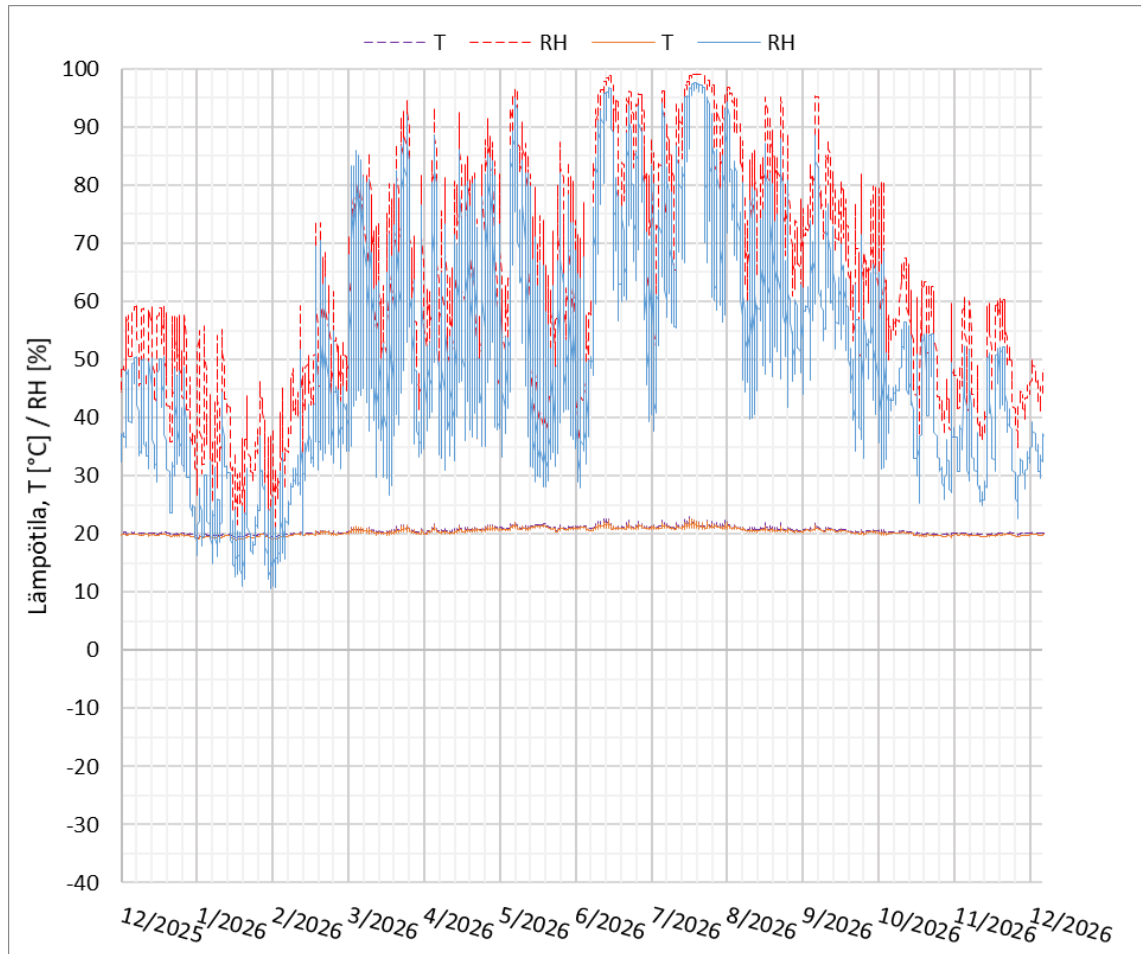


KUVIO 28. Mineraalivillan sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ilmastossa.



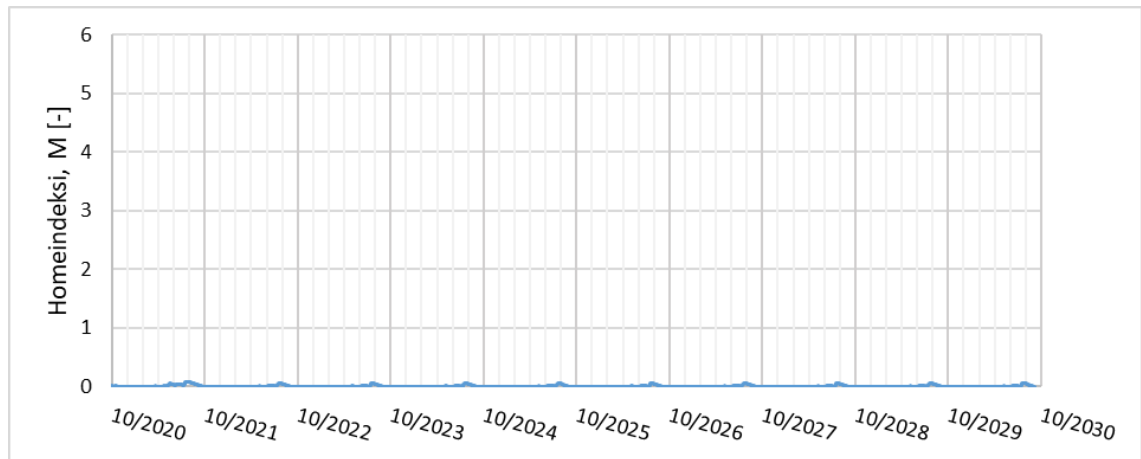
KUVIO 29. Mineraalivillan sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Sisäkuoren betonin ja mineraalivillan sisäpinnan välisessä rajapinnassa lämpötila riippuu huonelämpötilasta sisäpuolella ja lämpötilakuvaaja pysyy tasaisena koko laskentajakson. Suhteellinen kosteus vaihtelee vuoden kierron mukaan ja kuvaajista nähdään, että vuoden 2100 olosuhteissa suhteellinen kosteus on koko laskentajakson korkeammalla kuin vuoden 2007 ilmastossa. Kummassakaan ilmastossa ei tapahdu tiivistymistä rajapinnassa. Yli 80 % suhteellinen kosteus saavutetaan vuoden 2007 ilmastossa noin 12 % ja vuoden 2100 ilmastossa noin 23 % laskentapisteistä koko tarkastelujakson ajalla. Kosteus on betonin ja villan rajapinnassa tulevaisuuden ilmastossa selvästi korkeammalla.

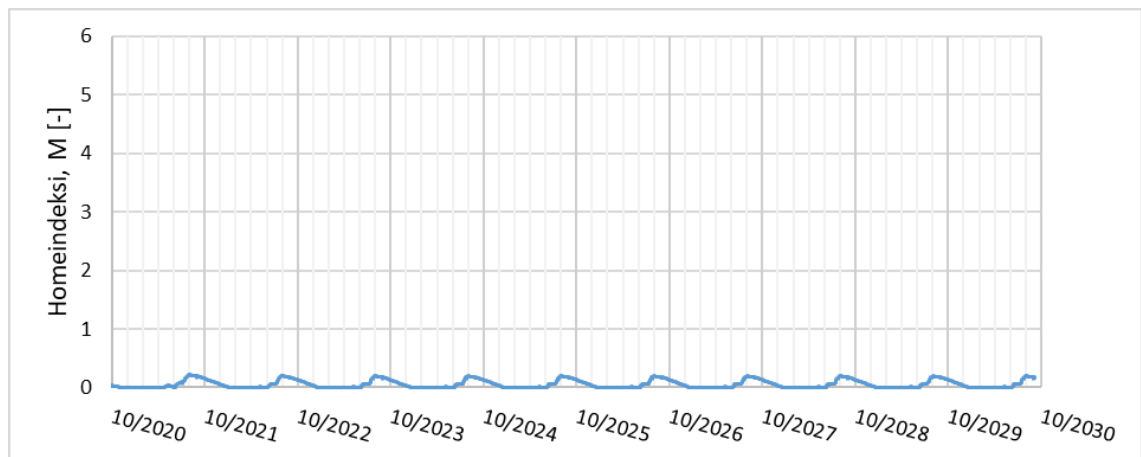


KUVIO 30. Mineraalivillan sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla. Tarkastelupiste 3.

Myös vuoden tarkastelujaksolla näkyy selvästi, että tarkasteltavassa rajapinnassa tulevaisuuden ilmastossa suhteellinen kosteus on korkeammalla kuin nykyilmastossa. Lämpötilakuvaajat ovat lähes identtisiä.



KUVIO 31. Homeindeksi mineraalivillan sisäpinnassa vuoden 2007 ilmastossa HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



KUVIO 32. Homeindeksi mineraalivillan sisäpinnassa vuoden 2100 ilmastossa HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Homeindeksitarkasteluissa nähdään pientä kasvua homeindeksissä vuoden 2100 ilmastossa verrattuna nykytilaan. Homeindeksi jää kuitenkin selvästi alle yhden molemmissa ilmasto-olosuhteissa, jolloin merkittävää homeen kasvua ei tapahdu.

6.2 Paksurappaus-eristejärjestelmä

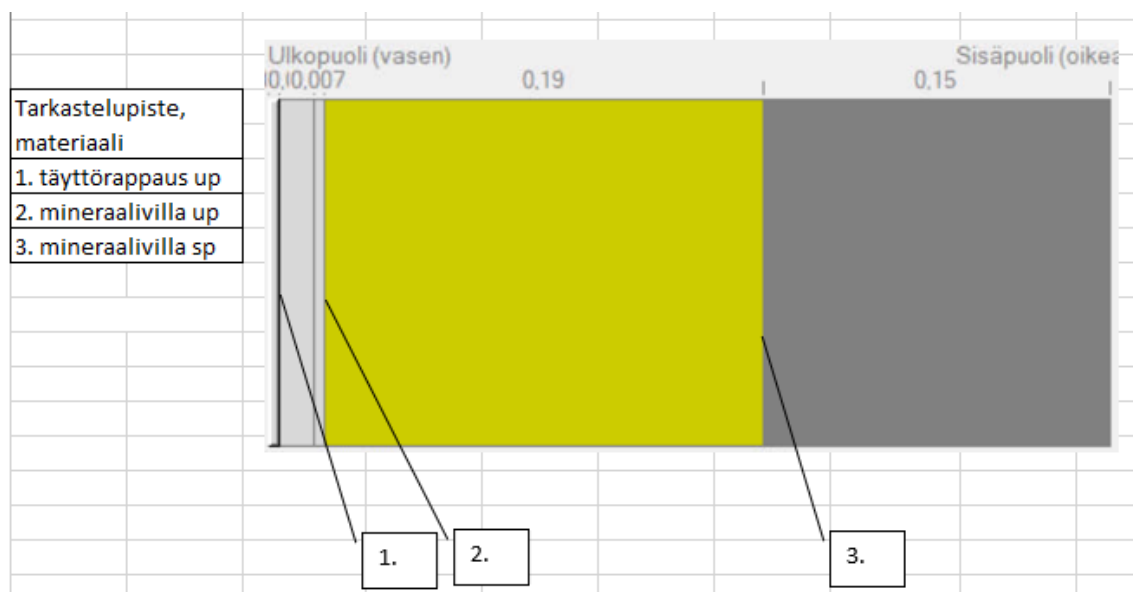
Tutkittu paksurappaus-eristejärjestelmän rakenne on uudisrakentamisessa käytetty järjestelmä, jossa betonisen sisäkuoren päällä on mineraalivillalämmöneriste ja paksurappaus. Rappaus on ripustettu mekaanisilla kannakkeilla (ns. heilurihaka) mineraalivillaeristeen lävitse. Kannakkeita ei ole huomioitu laskennallisissa tarkasteluissa. Alla on esitetty rakennetyypin rakennekerrokset.

TAULUKKO 7. Paksurappaus-eristejärjestelmä, sisäpuolelta ulospäin

kerros	materiaali	paksuus mm
1.	Betoni C35/45	150
2.	Mineraalivilla, Rockwool facade 1	190
3.	Pohjalaasti	7
4.	Täyttölaasti	15
5.	Jalolaasti	3

Tutkitun rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan vaikuttaa ulkoilman suhteellisen kosteuden lisäksi viistosaderasitus, joten taulukon 3 mukaisesti rakenne tutkittiin Vantaa 2007 ja 2100 ilmastollisten testivuosien avulla.

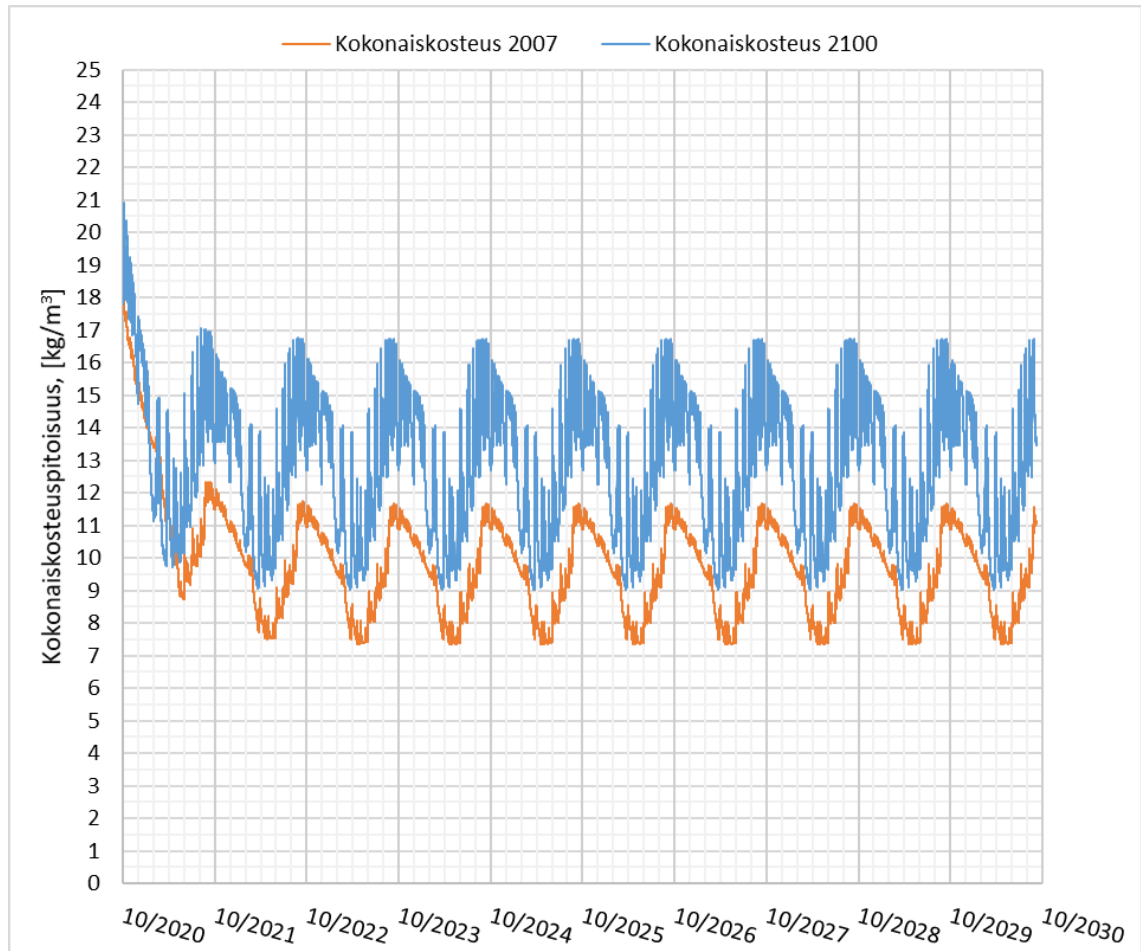
Rakenteen tarkastelupisteiksi valittiin täyttörappauksen ulkopinta, mineraalivillaeristeen ja rappauksen rajapinta ja mineraalivillan sisäpinnassa rajapinta betoniseen sisäkuoreen.



KUVIO 33. Paksurappaus-eristejärjestelmä ja tarkastelupisteet

6.2.1 Rakenteen kokonaiskosteus

Rakenteen kokonaiskosteuden kehitys 10 vuoden tarkastelujaksolla ilmastoitain esitetään alla olevassa kuvaajassa.



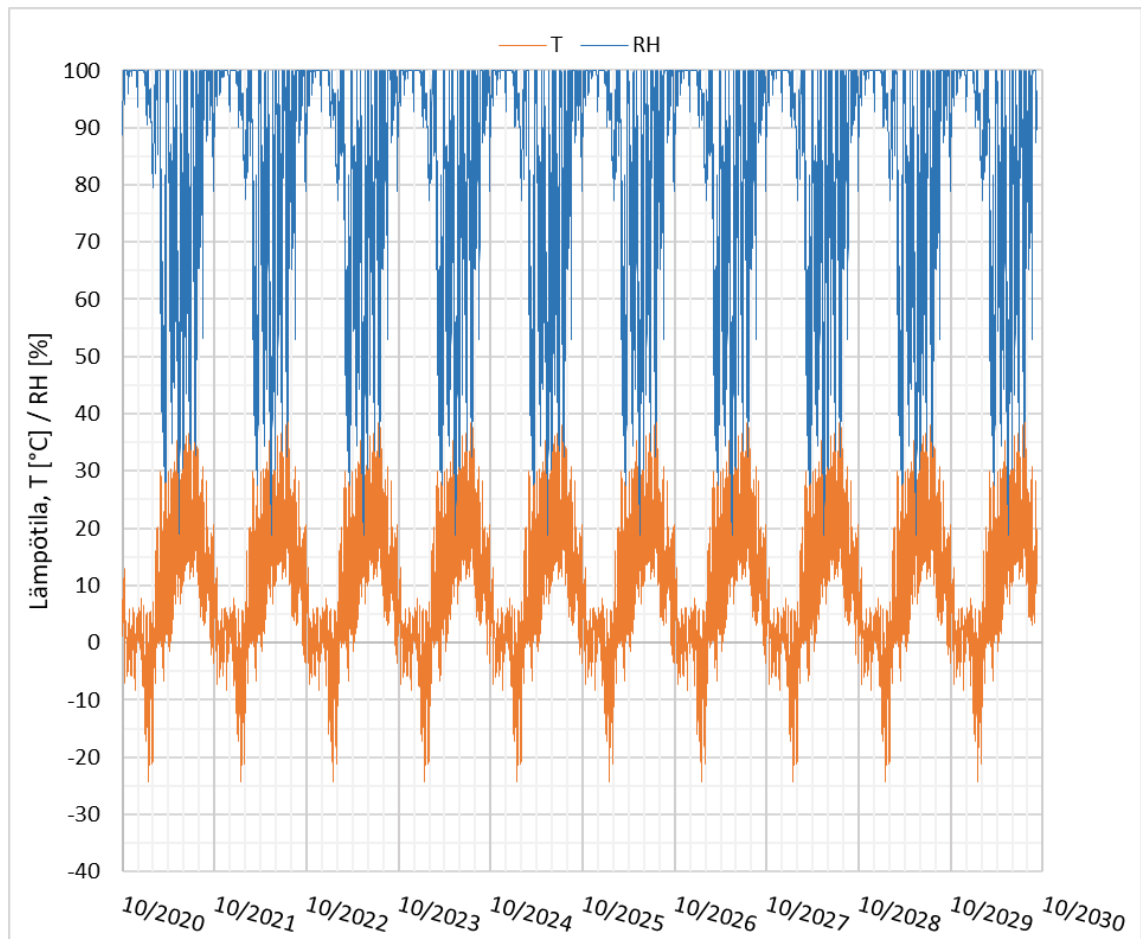
KUVIO 34. Paksurappaus-eristejärjestelmä, rakenteen kokonaiskosteus 2007 ja 2100 ilmastossa.

Kuvaajasta havaitaan, että vuoden 2100 ilmasto-olosuhteissa rakenteen kokonaiskosteus on huomattavasti korkeampi ja tasapainottuu noin 45 % nykyilmas-
toa korkeammalle tasolle. Rakenne tasaantuu 10 vuoden tarkastelujaksossa
noin kahden vuoden kuluessa laskennan alusta eikä kasvavaa kosteuskuormaa
synny rakenteeseen.

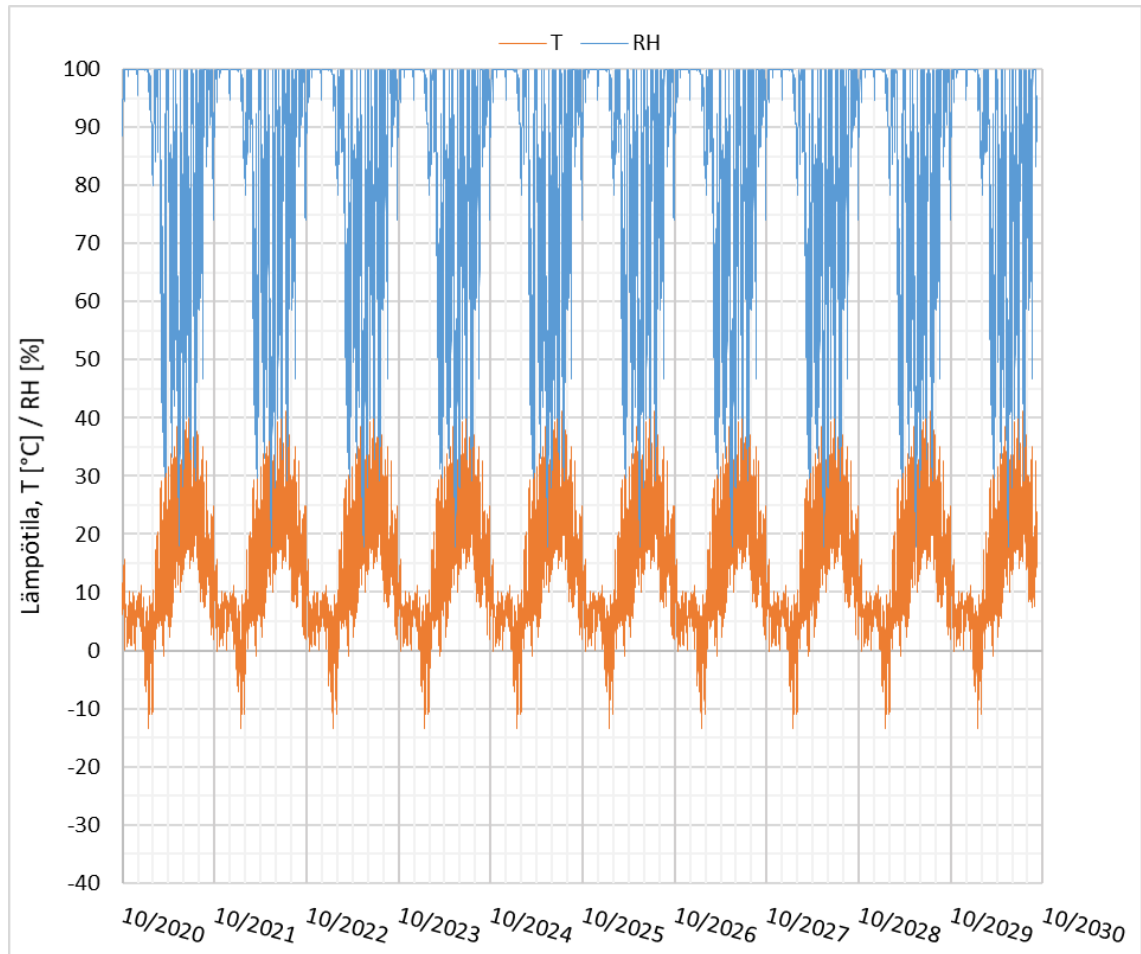
6.2.2 Tarkastelupiste 1 täyttörappauksen ulkopinta

Täyttörappauskerroksessa olevalla tarkastelupisteellä haluttiin selvittää julkisivurakenteen ulkopinnan kosteusolosuhteita, mahdollista rapautumaherkkyttä ja riskiä homeen kasvulle. Tarkastelupiste sijaitsee jalolaastin alla noin 3 mm ulkopinnasta.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus rappauslaastikerroksessa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

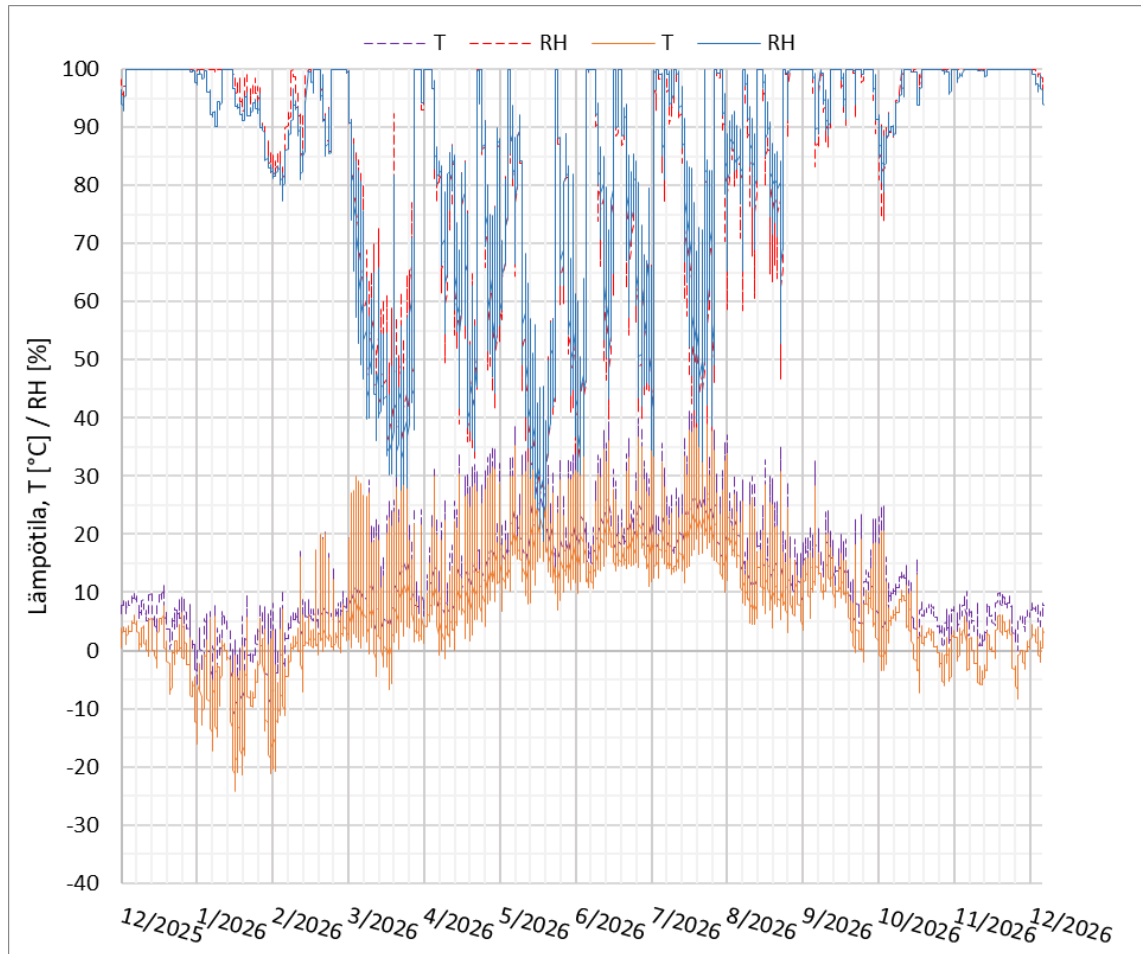


KUVIO 35. Täyttörappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ilmastossa.



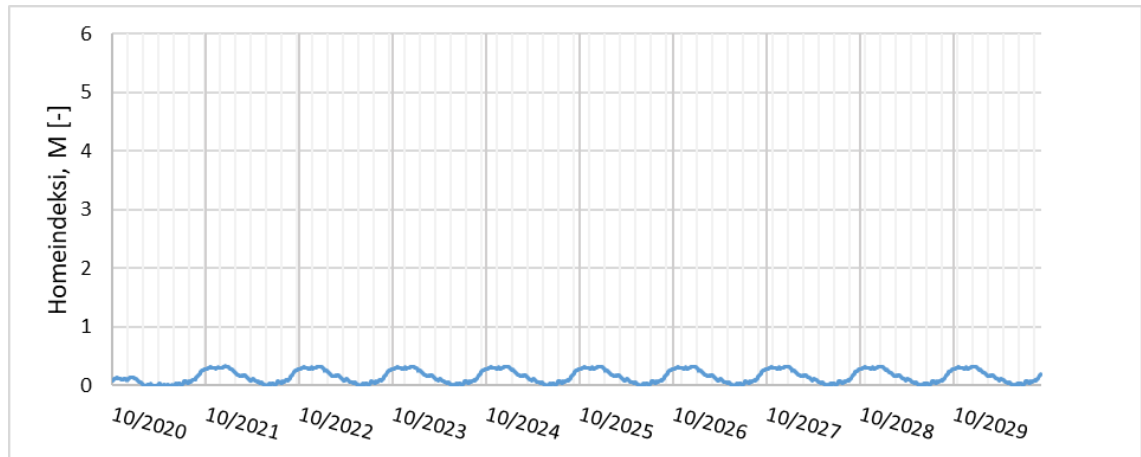
KUVIO 36. Täyttörappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajista nähdään, että rappauskerros on syys- ja talvikaudella pitkiä aikoja hyvin märkä jo nykyisissä ilmasto-olosuhteissa. Rakennusfysikaalisista laskelmista saatua numeerista dataa tarkastelemalla nähdään, että suhteellinen kosteus on vuoden 2007 ilmastossa 44 % laskeutapisteistä yli 98 %, vuoden 2100 ilmastossa määrä on 47 %. Kosteuspitoisuus on korkea, mutta ohutrappaukseen verrattuna rakenteen kuivuminen nopeampaa jalolaastin hyvän vesihöyrynläpäisevyyden ansiosta. Ilmasto-olosuhteiden aikaan saamia eroja nähdään tarkemmin alla olevasta yhden vuoden tarkastelujakson kuvaajasta.

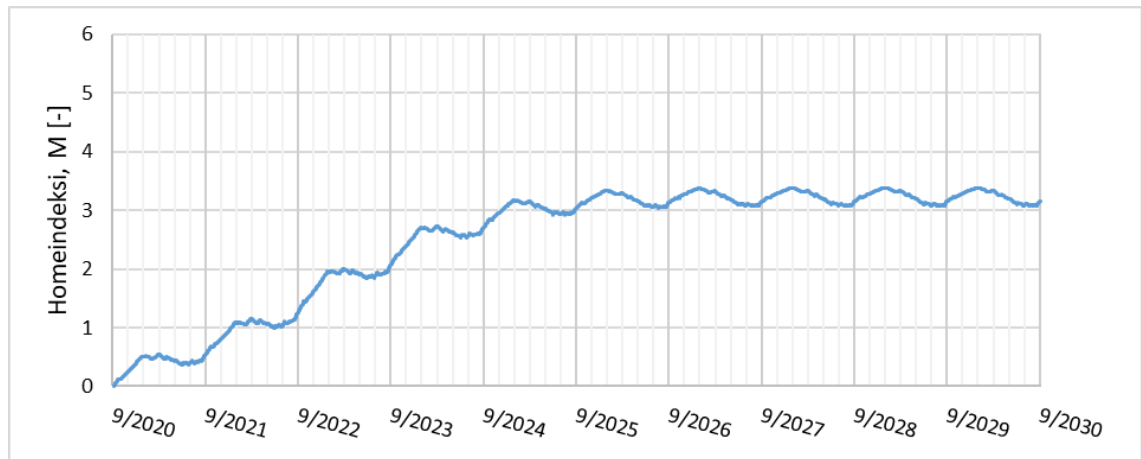


KUVIO 37. Täyttörappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Tulevaisuuden ilmastossa paksurappaus-eristejärjestelmän rappauskerroksessa on jonkin verran nykyistä suurempi kosteuspitoisuus. Suhteellinen kosteus on hieman matalammalla kuin aiemmin tutkitussa ohutrappaus-eristejärjestelmän laastikerroksessa. Jalolaasti pinnoitteena on hygroskooppinen ja hyvin diffuusioavoin, tämä selittää selvää eroa ohutrappausjärjestelmään. Lämpötilassa nähdään selkeä muutos, etenkin talvikaudella. Vuoden 2007 ilmastossa koko kymmenen vuoden tarkastelujaksolla lämpötila on pakkasen puolella 20 % laskentapisteistä ja vuoden 2100 ilmastossa enää 6 %. Homeen kasvulle otollisia olosuhteita tarkastellaan tarkemmin homemallin avulla.



KUVIO 38. Täyttörappauskerroksen homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.



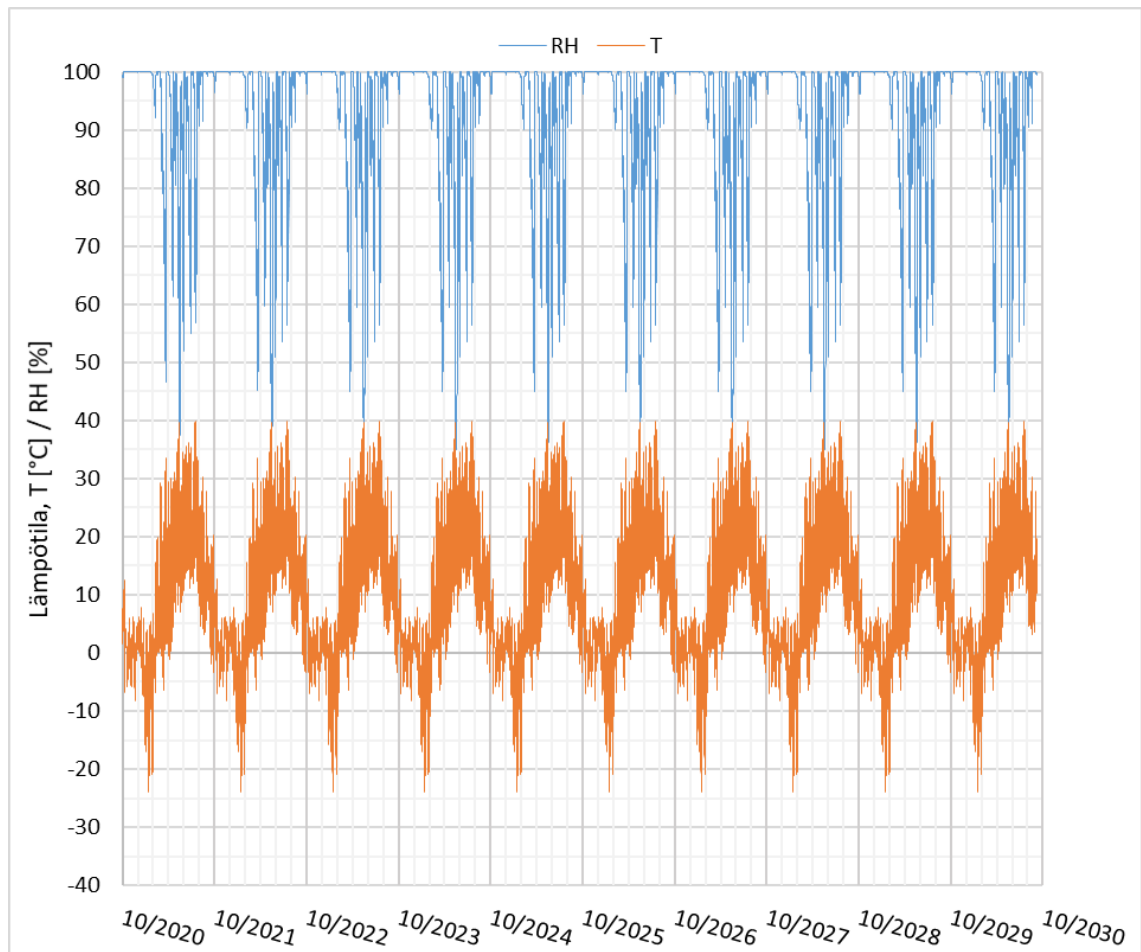
KUVIO 39. Täyttörappauskerroksen homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.

Homeriskimallissa nähdään merkittävä ero vuoden 2007 ja 2100 ilmastojen välillä. Nykyilmastossa rakenteeseen ei pääse syntymään homeen kasvulle otollisia olosuhteita, homeindeksin maksimi on 0,38. Tulevaisuuden ilmastossa suurempi suhteellinen kosteus ja lämpötila mahdollistavat homeen kasvun rappauskerroksessa ja rappauksen pinnalla. Homeindeksin maksimiarvo on 3,38, mikä tarkoittaa silmin havaittavaa homeen kasvua. Maksimiarvo saavutetaan viidentenä vuonna laskennan alusta. Tulevaisuuden ilmastossa paksurappaus-eristejärjestelmän pinnalla voi näkyä jo viiden vuoden kuluttua rakentamisesta erilaisia kasvustoa.

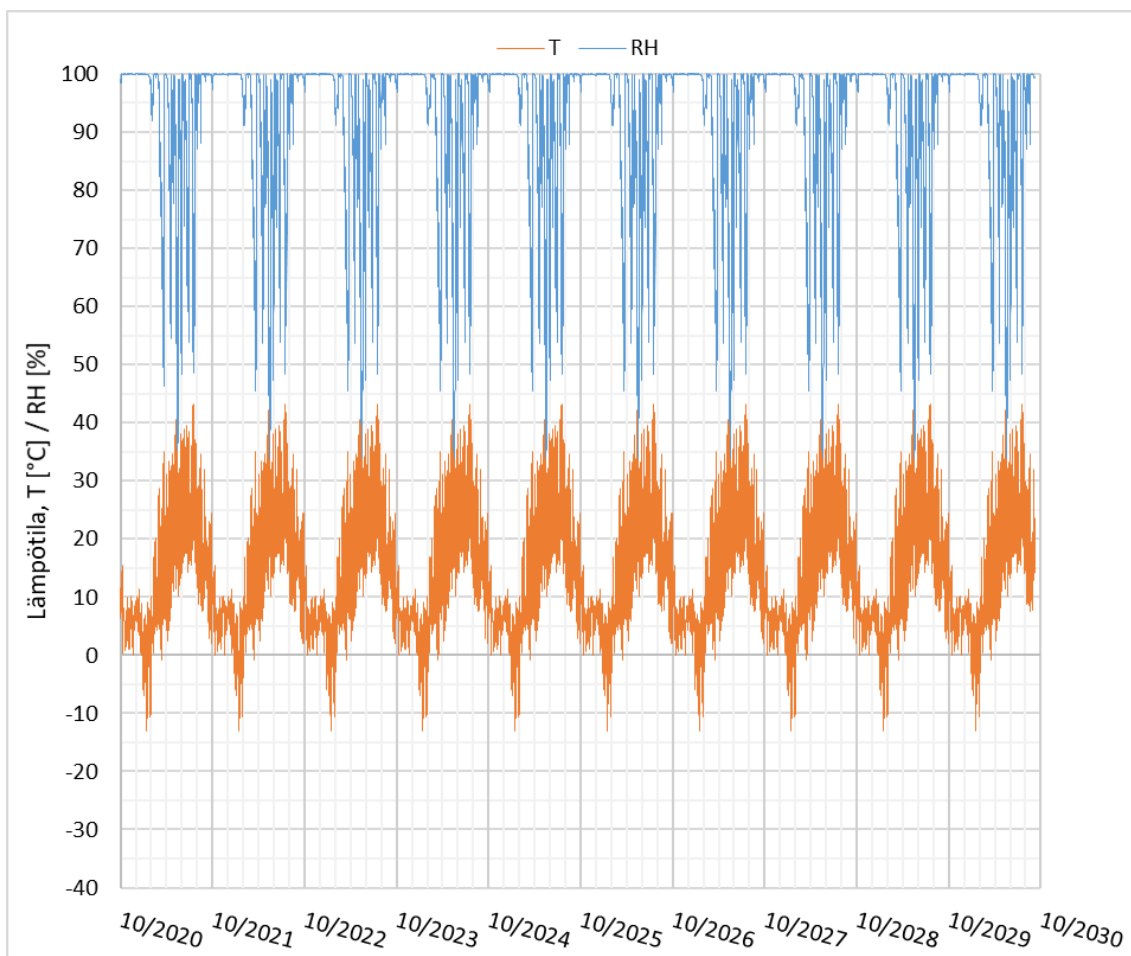
6.2.3 Tarkastelupiste 2 mineraalivillan ulkopinta

Mineraalivillan ulkopinnassa, paksurappauksen rajapinnassa olevalla tarkastelupisteellä tutkittiin mahdollista kosteuden tiivistymistä ja homeen kasvun mahdollisuutta.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

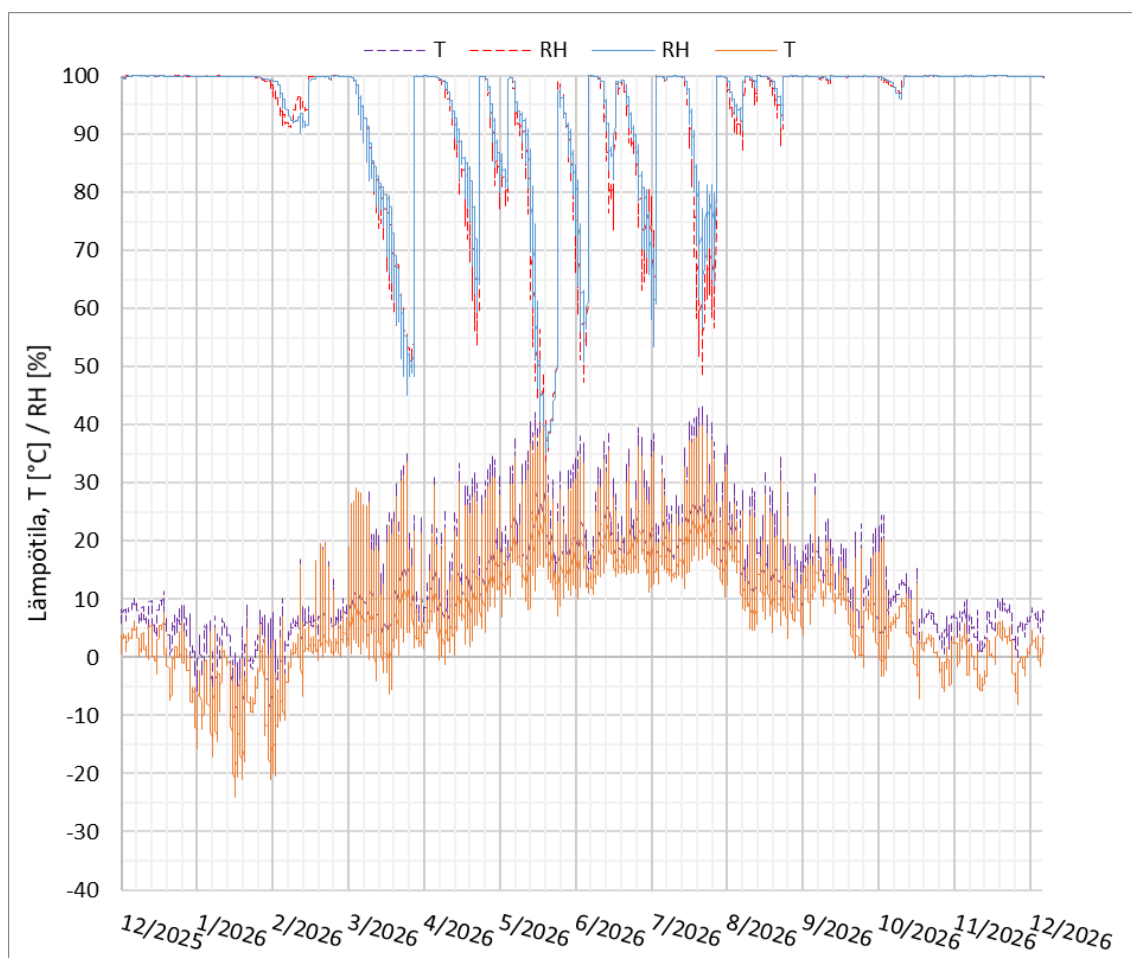


KUVIO 40. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnassa vuoden 2007 ilmastossa.



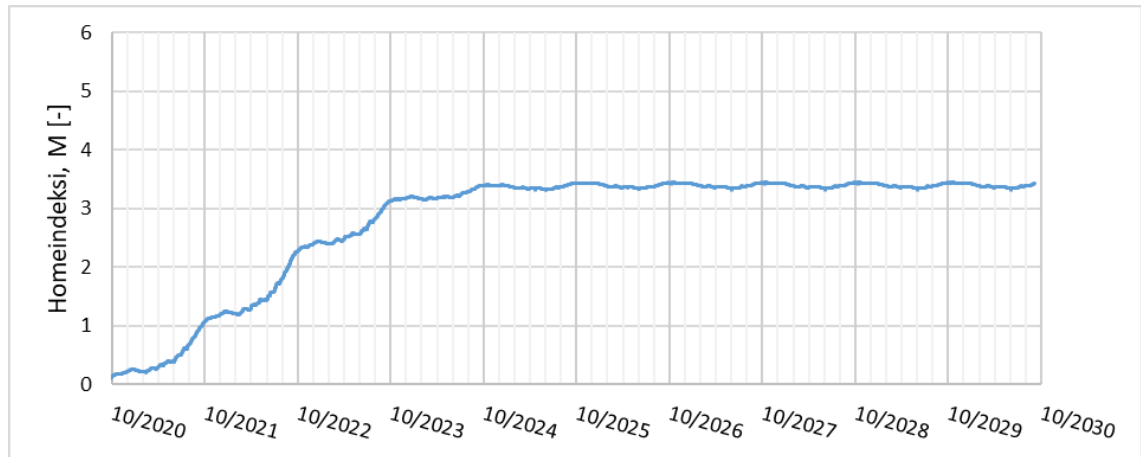
KUVIO 41. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

Villan ulkopinnassa syksyllä ja talvella suhteellinen kosteus on varsin korkealla molemmissa tutkituissa ilmastoissa. Tiivistymisriski on kuitenkin melko pieni, molemmissa ilmastoissa laskentapisteistä vain noin 4 % suhteellinen kosteus on 100 %. Toisaalta yli 80 % suhteellinen kosteus saavutetaan 88 % nykyilman-
ton ja 85 % tulevaisuuden ilmaston laskentapisteistä.

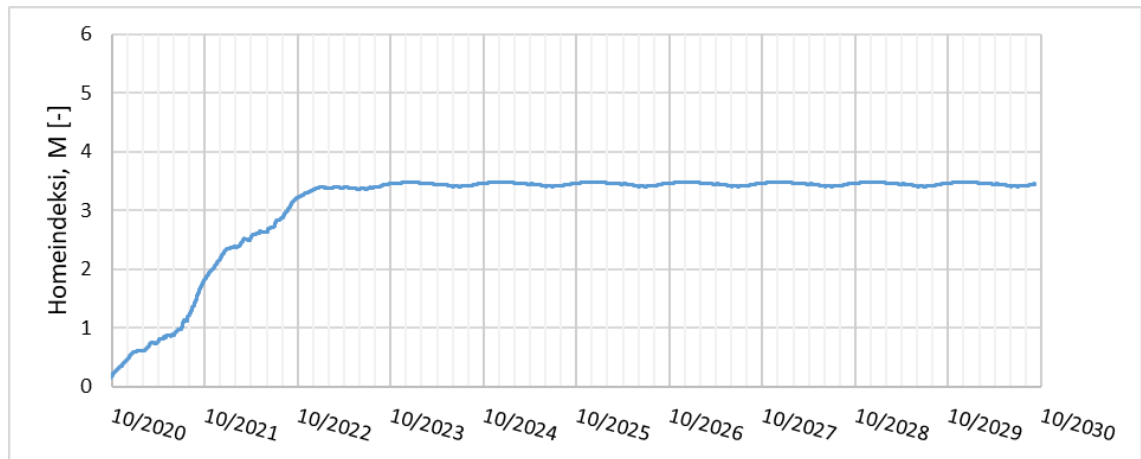


KUVIO 42. Lämpötila ja suhteellinen kosteus villan ulkopinnassa vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Yhden vuoden tarkastelussa havaitaan lämpötilassa muutos korkeampaan kuiten aiemmissakin tarkasteluissa. Suhteellisen kosteuden osalta erot tarkasteltujen ilmastojen välillä ovat melko pieniä. Kuvaajien perusteella molemmissa ilmastoissa olosuhteet ovat otolliset homeen kasvuille. Alla tarkastelu homeriskimallin avulla.



KUVIO 43. Villan ulkopinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



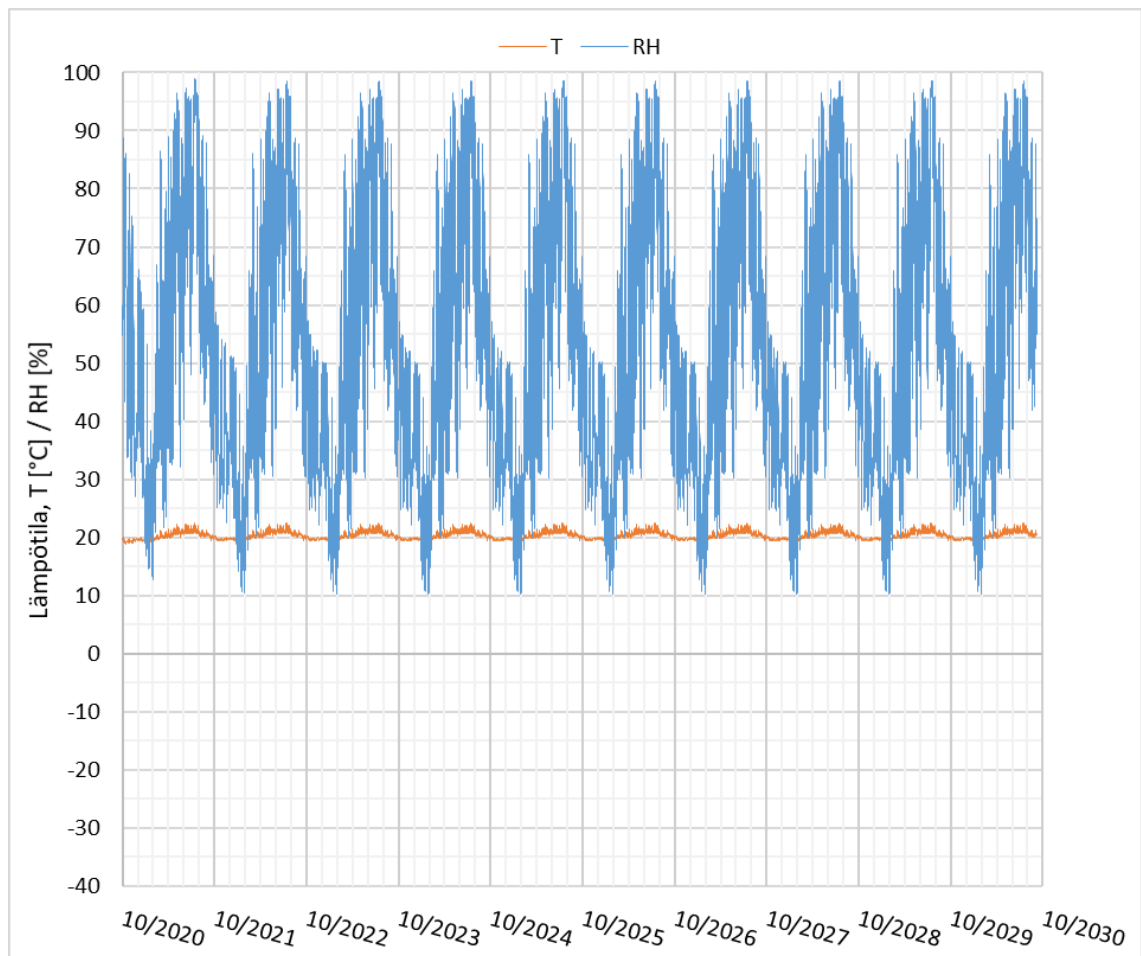
KUVIO 44. Villan ulkopinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Molemmissa homeriskimallin tarkasteluissa saavutetaan yli homeindeksi 3 luku. Vuoden 2007 ilmastossa maksimi on 3,44 ja tämä saavutetaan neljän vuoden kuluttua laskennan aloituksesta. Vuoden 2100 ilmastossa maksimi 3,48 saavutetaan jo reilun kahden vuoden kuluessa. Silmin nähtävä homekasvusto voi kehittyä villan ulkopintaan 2 - 3 vuodessa ja mikroskoopilla nähtävä homekasvu (indeksi 2) jo 1 - 2 vuodessa ilmastosta riippuen. Sallittuna indeksin lukemana lämmöneristekerroksessa pidetään arvoa <1.

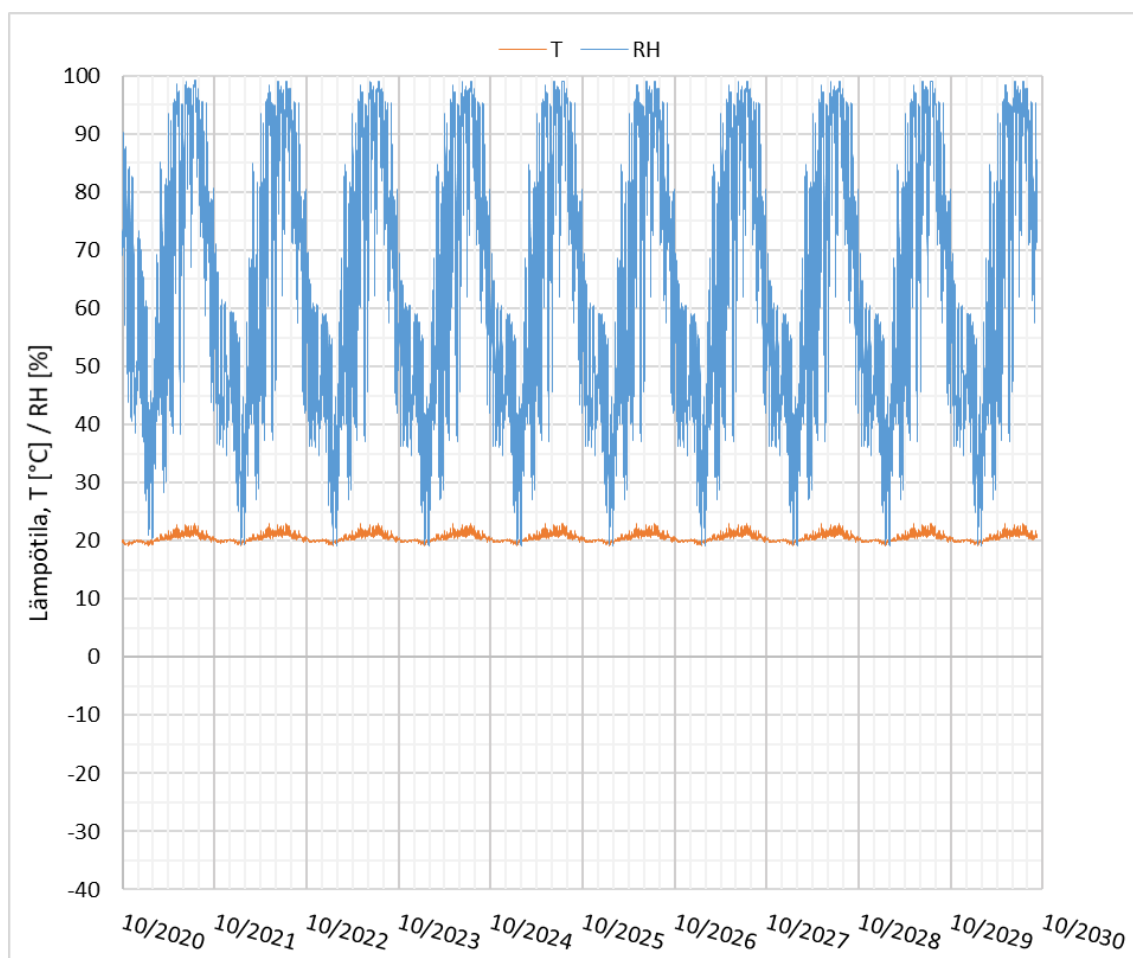
6.2.4 Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta

Mineraalivillan sisäpinnassa, villan ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa tutkittiin olosuhteita homeen kasvun kannalta.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

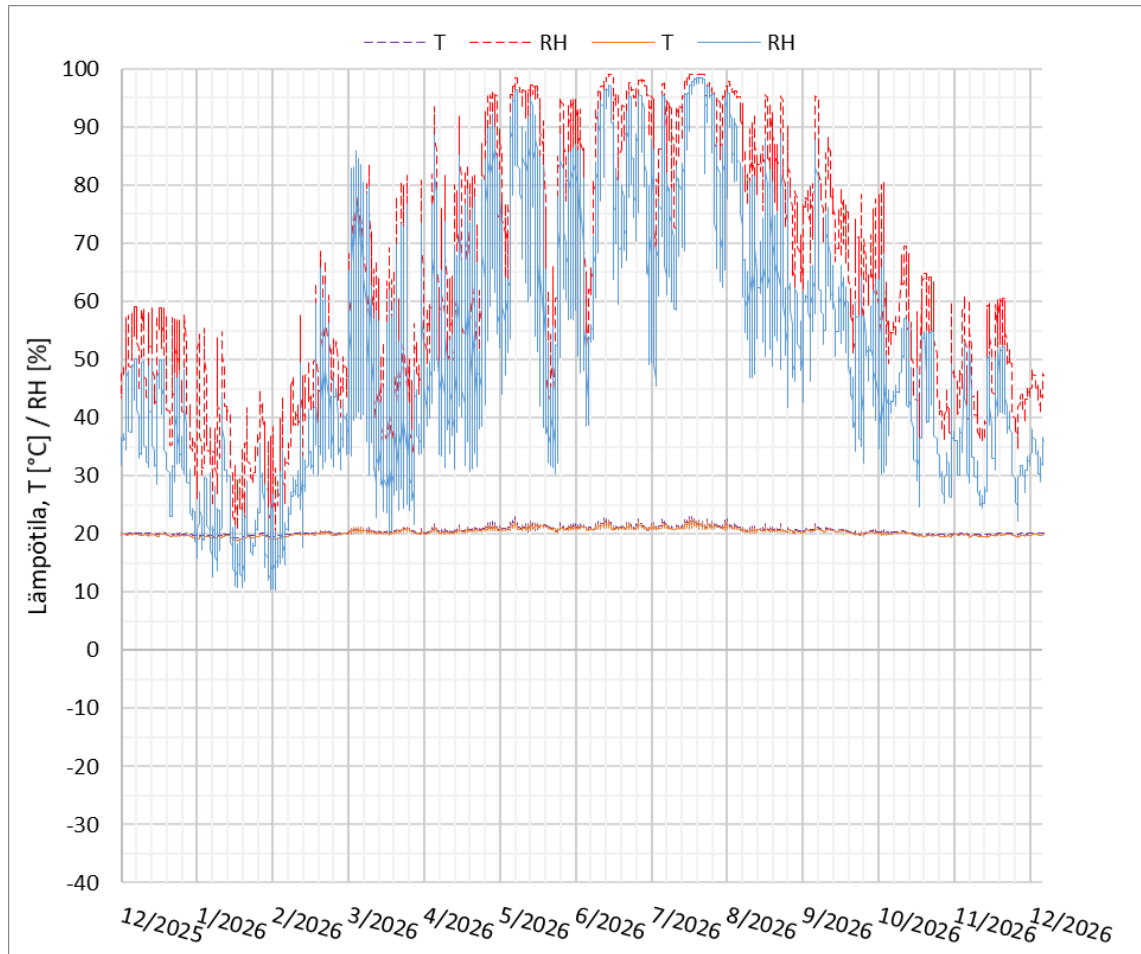


KUVIO 45. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa vuoden 2007 ilmastossa.



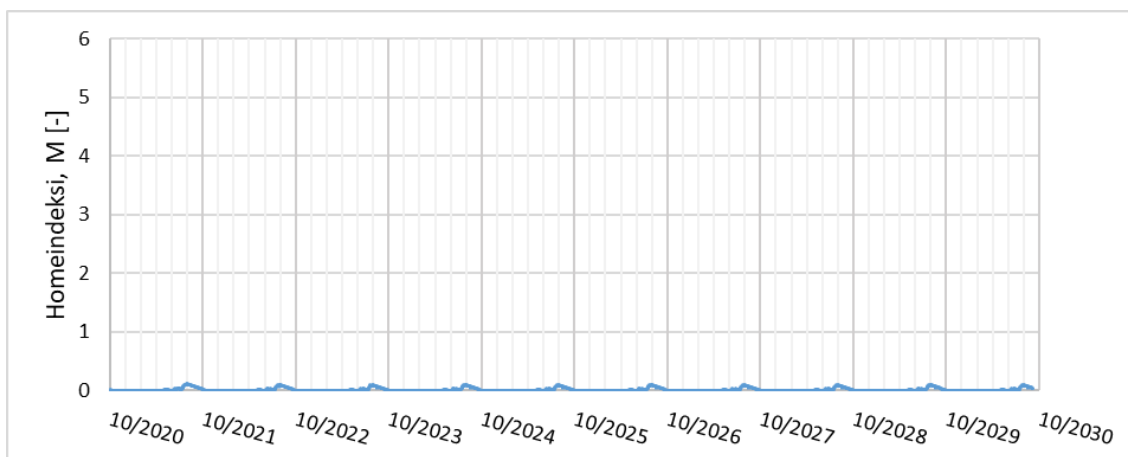
KUVIO 46. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

Lämpötilakuvaajassa ei nähdä juurikaan vaihtelua eri tarkasteluolosuhteiden välillä. Suhteellinen kosteus on korkeammalla vuoden 2100 ilmastossa, mutta tiivistymisriskiä ei rajapinnassa havaita. Yli 80 % suhteellinen kosteus saavutetaan vuoden 2007 ilmastossa noin 15 % ja vuoden 2100 ilmastossa noin 29 % laskentapisteistä koko tarkastelujakson ajalla. Kosteuspitoisuus on betonin ja villan rajapinnassa tulevaisuuden ilmastossa selvästi korkeammalla.

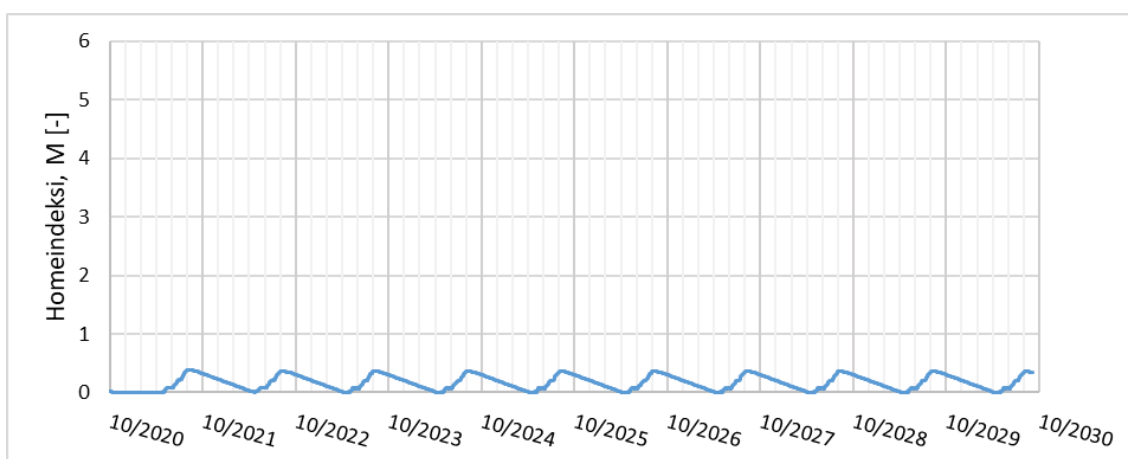


KUVIO 47. Lämpötila ja suhteellinen kosteus villan sisäpinnassa vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Vuoden tarkastelujaksolla nähdään selvemmin, miten suhteellinen kosteus on vuoden 2100 ilmastossa jatkuvasti vuoden 2007 ilmastoa korkeammalla. Lämpötila pysyy lähellä sisäilman lämpötilaa ja on molemmissa tarkasteluissa lähes identtinen.



KUVIO 48. Villan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



KUVIO 49. Villan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Homemallin laskennallisissa tarkasteluissa nähdään vuoden 2100 ilmastossa selkeästi kohonnut homeindeksin arvo verrattuna nykyilmastoon. Indeksini maksimi jää kuitenkin alle yhden arvoon 0,38. Villan sisäpinnassa ei pääse tapahtumaan merkittävää homeen kasvua.

6.3 Levyrappausjärjestelmä

Tutkittu levyrappausjärjestelmän rakenne on uudisrakentamisessa käytetty järjestelmä, jossa betonisen sisäkuoren päällä on mineraalivillalämmöneriste ja rankarakenne, tuulensuojakipsilevy, ventiloitujen levyjen kannatusprofiilit ja tuuletusrako sekä levyrappaus. Levyrappausta kannattavaa rankarakennettä ei ole huomioitu laskennassa. Alla on esitetty rakennetyypin rakennekerrokset.

TAULUKKO 8. Ulkoseinärakenne levyrappausjärjestelmällä, sisäpuolelta ulospäin

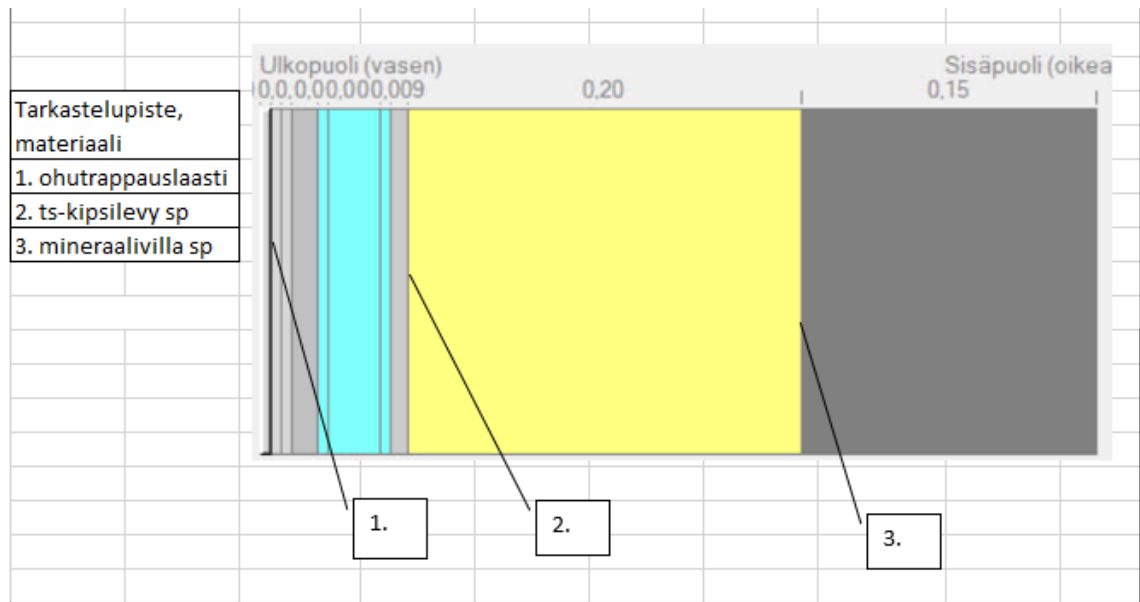
kerros	materiaali	paksuus mm
1.	Betoni C35/45	150
2.	Mineraalivilla, Isover ol-e-35	200
3.	Tuulensuojakipsilevy	9
4.	Ilmarako	30
5.	Kuitusementtinen rappauslevy	13
6.	Ohutrappauslaasti	6
7.	Silikonihartsimaali, pohjuste	0,3
8.	Silikonihartsipinnoite	2

Rakenteessa oletetaan, että levyverhous muodostaa yhtenäisen vaipan, eikä viistosade pääse vaikuttamaan rakenteen sisäosiin. Taulukon 3 mukaisesti rakenne tutkittiin Jokioinen 2004 ja 2100 ilmastollisten testivuosien avulla ja rakennuksen ilmansuunta on pohjoiseen.

Tuuletusrako on mallinnettu luvussa 4.3 esitetyllä periaatteella ja tuuletusrakoon on mallinnettu ilmanvaihtolähde, jossa ilmanvaihtomääräksi on valittu 100 kertaa tunnissa, kun julkisivu on pohjoiseen. (Mäkitalo M. 2012, 55 - 56).

Rakenteen tarkastelupisteiksi valittiin ohutrappauslaasti, jolla haluttiin tutkia ulkovaipan kosteusteknistä toimintaa ja toisaalta verrata toimintaa ohutrappauseristejärjestelmään. Toinen tarkastelupiste on tuulensuojalevyn sisäpinnassa,

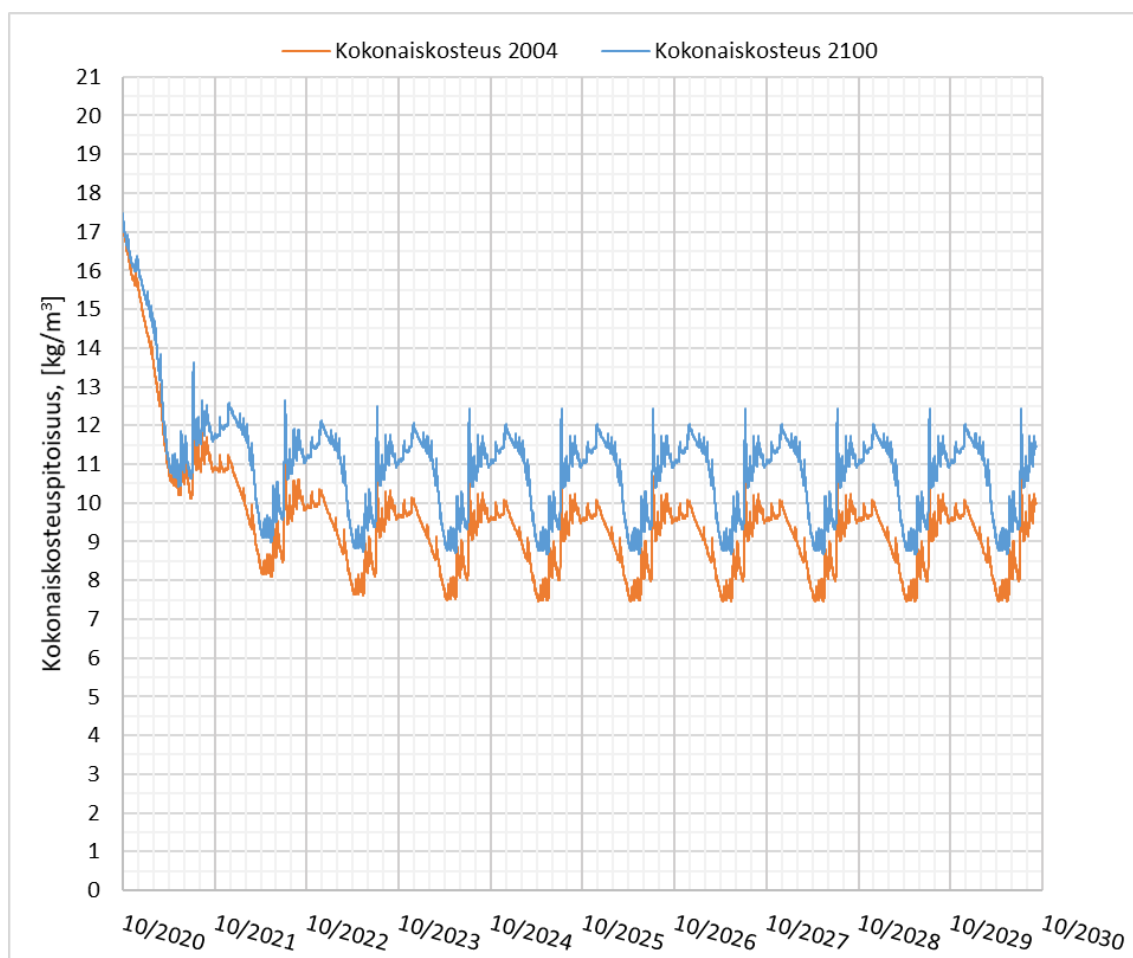
lämmöneristeen ja tuulensuojan rajapinnassa. Kipsilevyn homeutumisherkkyyssluokka on herkkä, HHL 2. Homeen kasvu tuulensuojalevyn sisäpinnassa mahdollistaa epäpuhtauksien kulkeutumisen eristekerrokseen ja edelleen sisäpuolelle mahdollisten ilmapuotojen kautta. Kolmas tarkastelupiste on lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinta.



KUVIO 50. Levyrappausjärjestelmä ja tarkastelupisteet

6.3.1 Rakenteen kokonaiskosteus

Kokonaiskosteuskuvaajasta nähdään julkisivurakenteen kokonaiskosteus määrän vaihtelu tarkastelujaksolla. Rakenteen kokonaiskosteuden kehitys 10 vuoden tarkastelujaksolla ilmastoittain esitetään alla olevassa kuvaajassa.



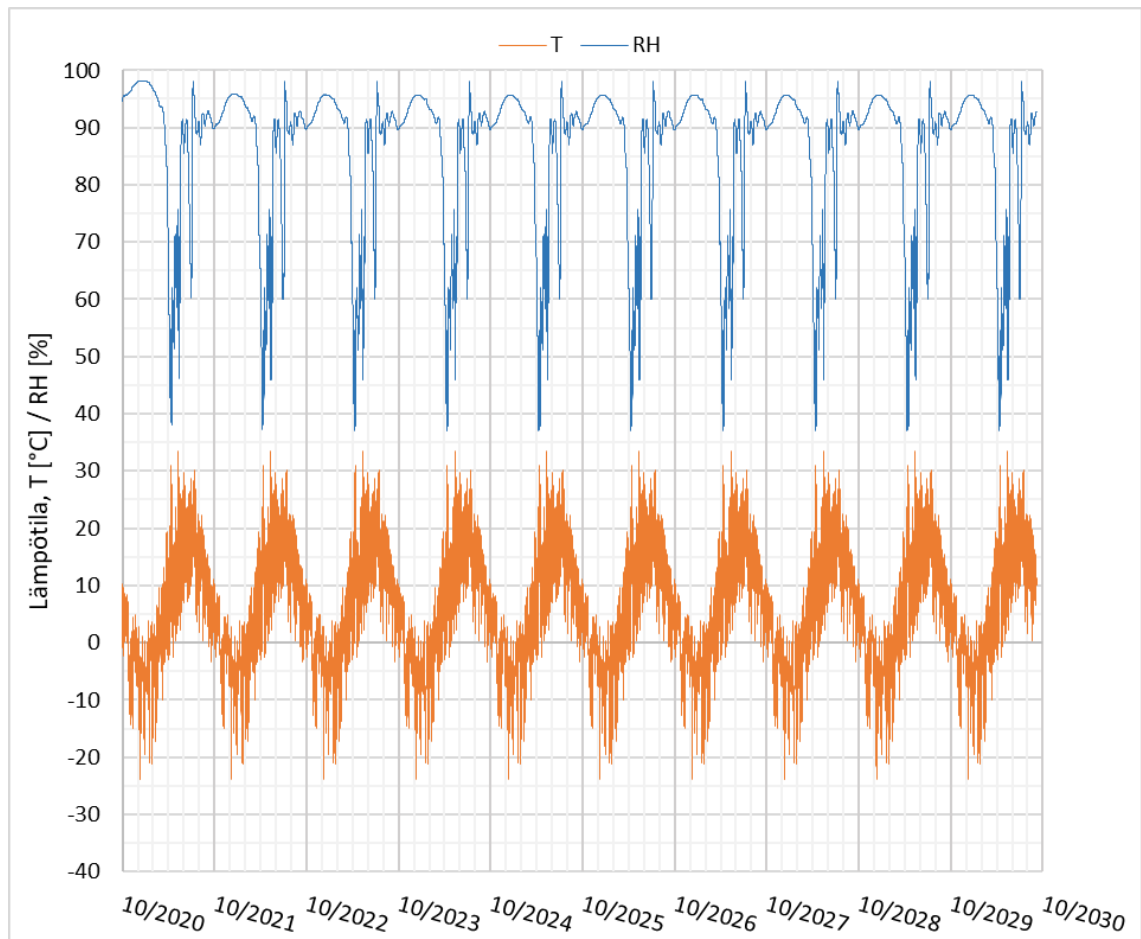
KUVIO 51. Levyrappausjärjestelmällä toteutettu ulkoseinärakenne, rakenteen kokonaiskosteus 2004 ja 2100 ilmastossa.

Kuvaajasta on nähtävissä, että vuoden 2100 ilmasto-olosuhteissa rakenteen kokonaiskosteus on noin 20 % korkeammalla tasolla kuin nykyilmastossa. Rakenteen tasaantuu 10 vuoden tarkastelujaksossa noin kahden vuoden kuluessa laskennan alusta eikä kasvavaa kosteuskuormaa synny rakenteeseen. Kokonaiskosteuksen määrä tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa jää levyrapatulla rakenteella selvästi alemmaksi kuin aiemmin käsitellyillä ohutrappaus- tai paksurappaus-eristejärjestelmillä.

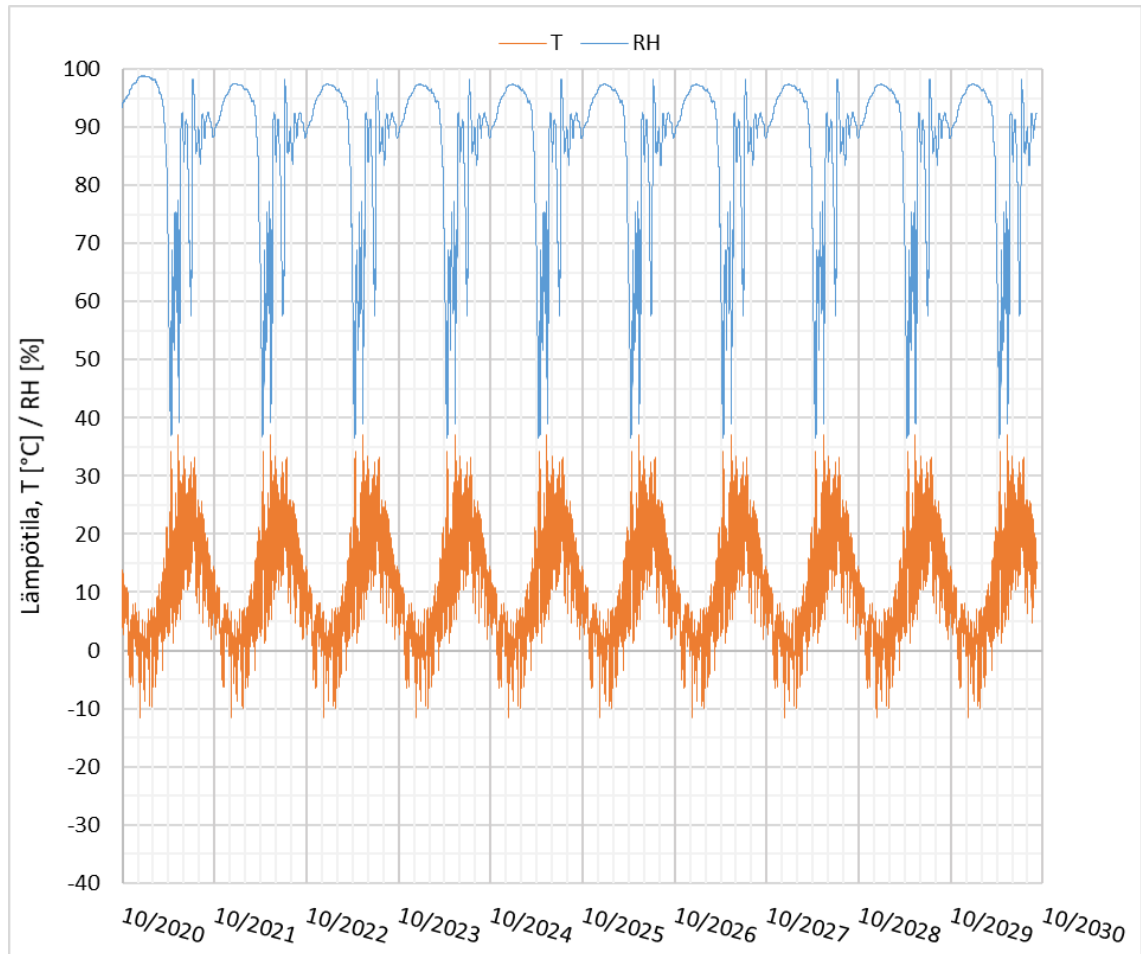
6.3.2 Tarkastelupiste 1 rappauserros

Rappauserroksessa olevalla tarkastelupisteellä haluttiin selvittää julkisivurakenteen ulkopinnan kosteusteknistä toimintaa ja verrata sitä ohutrappauseristejärjestelmä vastaavan rappauserroksen toimintaan.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus rappauserroksessa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2004 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.



KUVIO 52. Rappauserroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2004 ilmastossa.



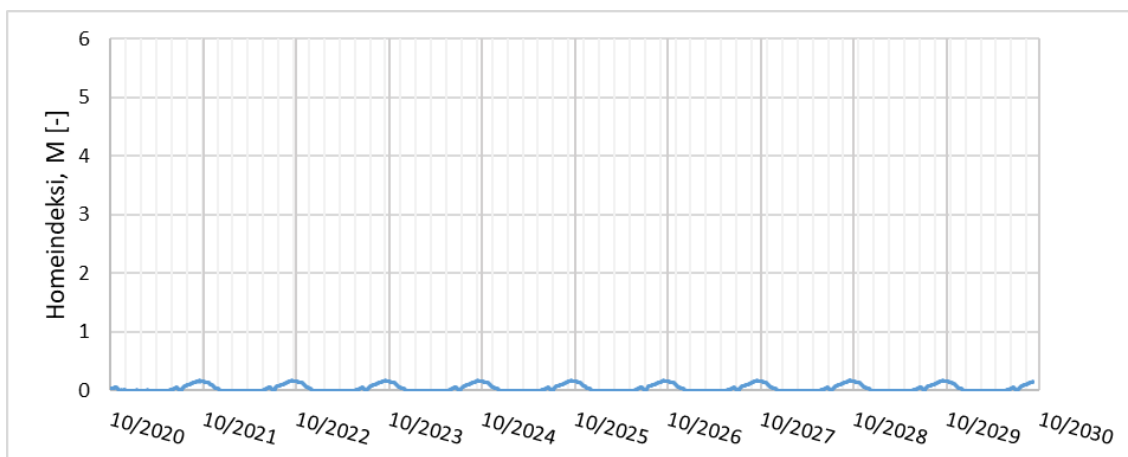
KUVIO 53. Rappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Kuvaajista nähdään tulevaisuuden ilmaston lämpötilan kohoaminen selvästi. Laskennallisesti tarkasteltuna vuoden 2004 ilmastossa lämpötila on alle nollan 28 % laskentapisteistä, kun taas vuoden 2100 ilmastossa luku on noin 9 %. Suhteellinen kosteus on selvästi alempana verrattuna tuulettumattomiin rapattuihin rakenteisiin. Tästä on nähtävissä rakenteen kuivuminen sekä ulospäin, että tuuletusraon suuntaan.

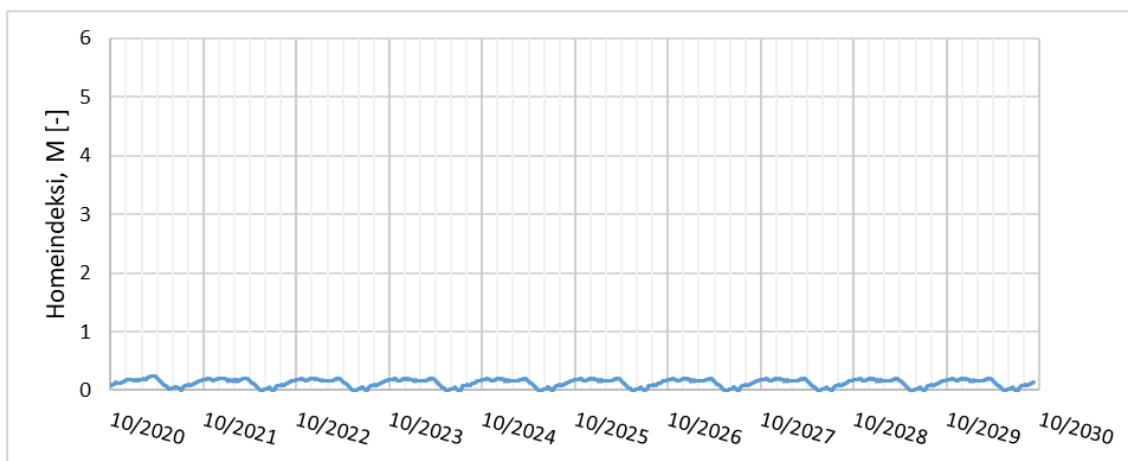


KUVIO 54. Rappauskerroksen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2004 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Nykyisen ja tulevan ilmaston välillä nähdään melko suuri ero lämpötilassa ja kohtalaisen selvä ero suhteellisessa kosteudessa etenkin talvikaudella. Levyrapatun rakenteen rappauskerroksessa suhteellinen kosteus ei saavuta 100 % arvoa koko tarkastelujaksolla. Homeen kasvuedellytyksiä tarkastellaan homemallin avulla.



KUVIO 55. Rappauksen homeindeksi vuoden 2004 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.



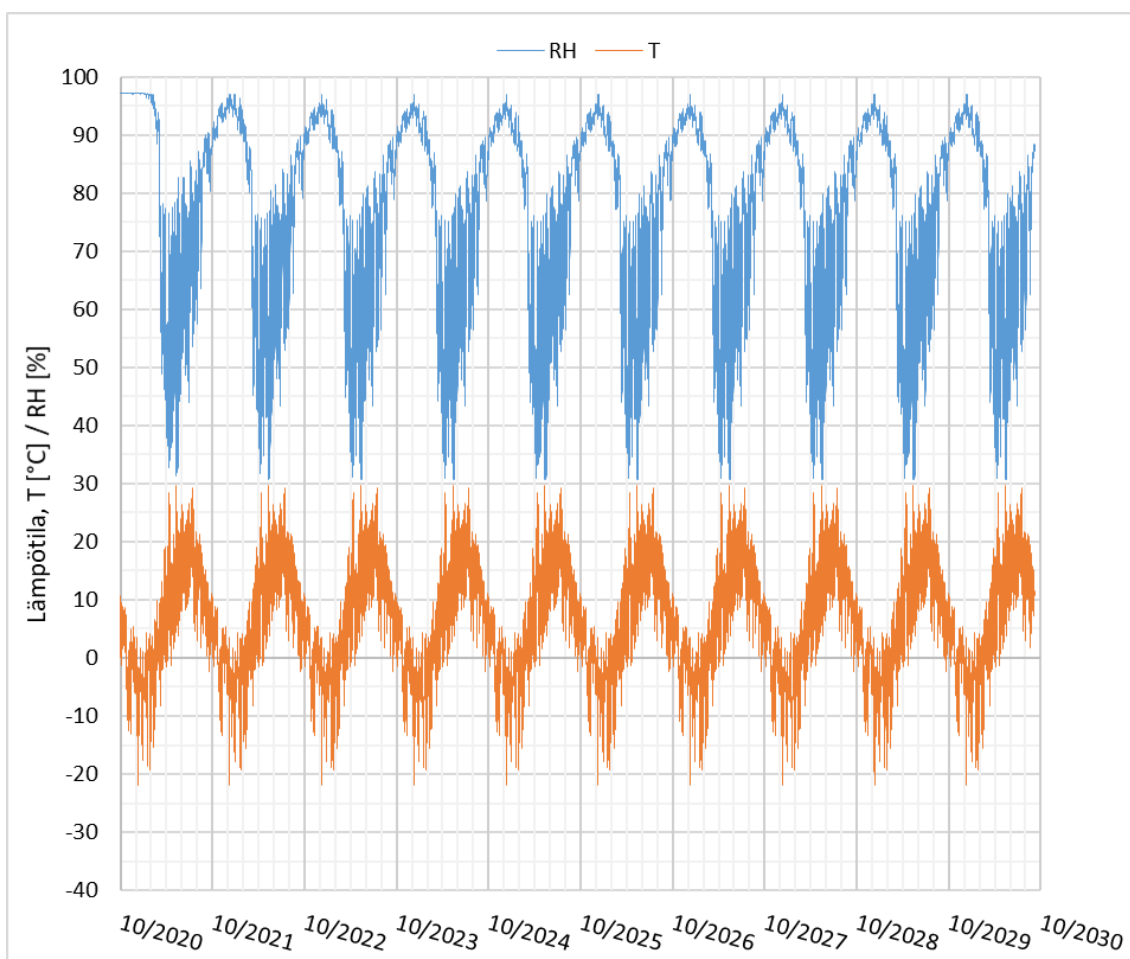
KUVIO 56. Rappauksen homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.

Homeindeksi pysyy molemmilla ilmastoilla tutkittuna matalana eikä merkittävää homeen kasvua ilmene. Rakenne toimii hyvin. Tuulettumattomiin rappauspinnallisiin rakenteisiin verrattuna tuulettuvalla rakenteella saavutetaan merkittävästi parempi pintarakenteen kosteustekninen toiminta.

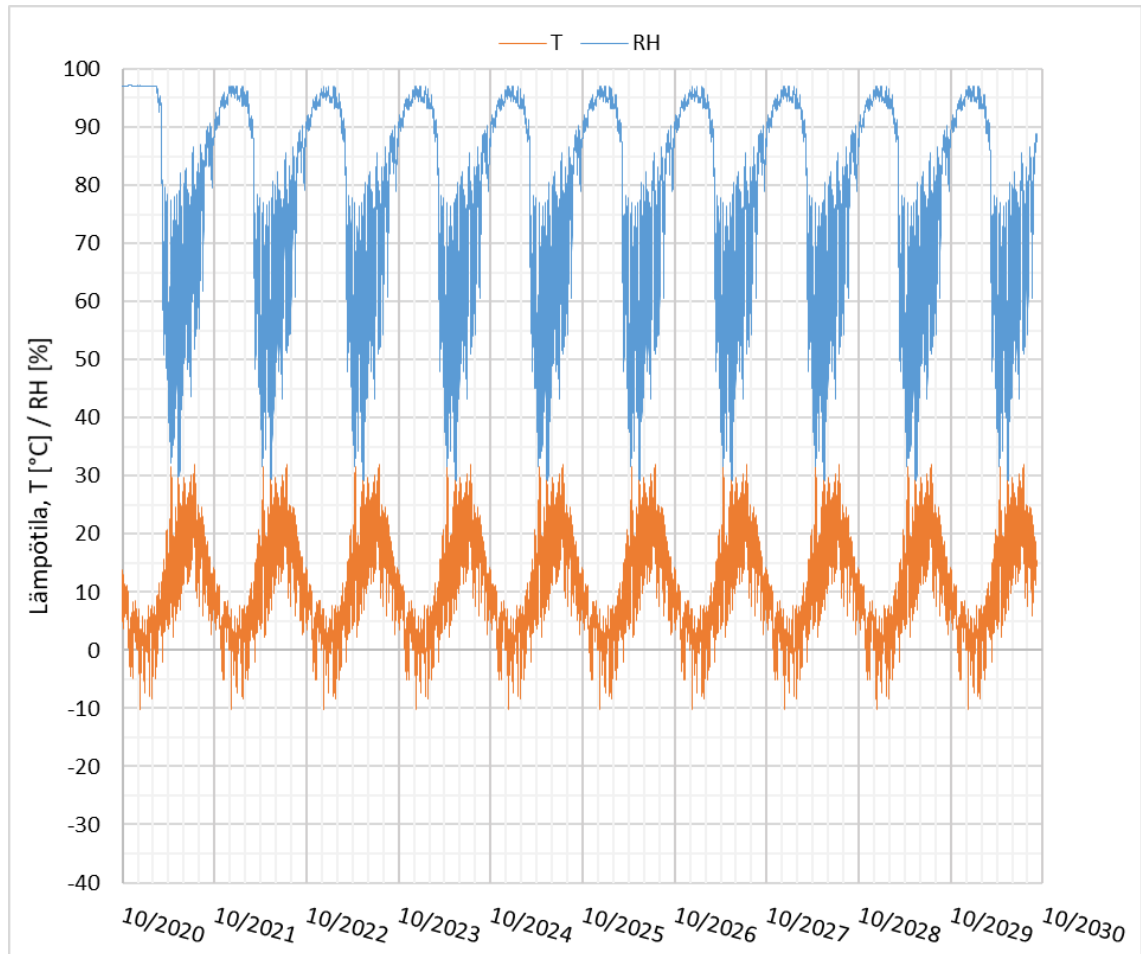
6.3.3 Tarkastelupiste 2 tuulensuojalevyn sisäpinta

Rakenteen tuulensuojalevyn sisäpinnassa, tuulensuojan ja lämmöneristeen rajapinnassa olevalla tarkastelupisteellä tutkittiin mahdollista kosteuden tiivistymistä ja homeen kasvun mahdollisuutta.

Alla olevissa kuvaajissa esitetään lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2004 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

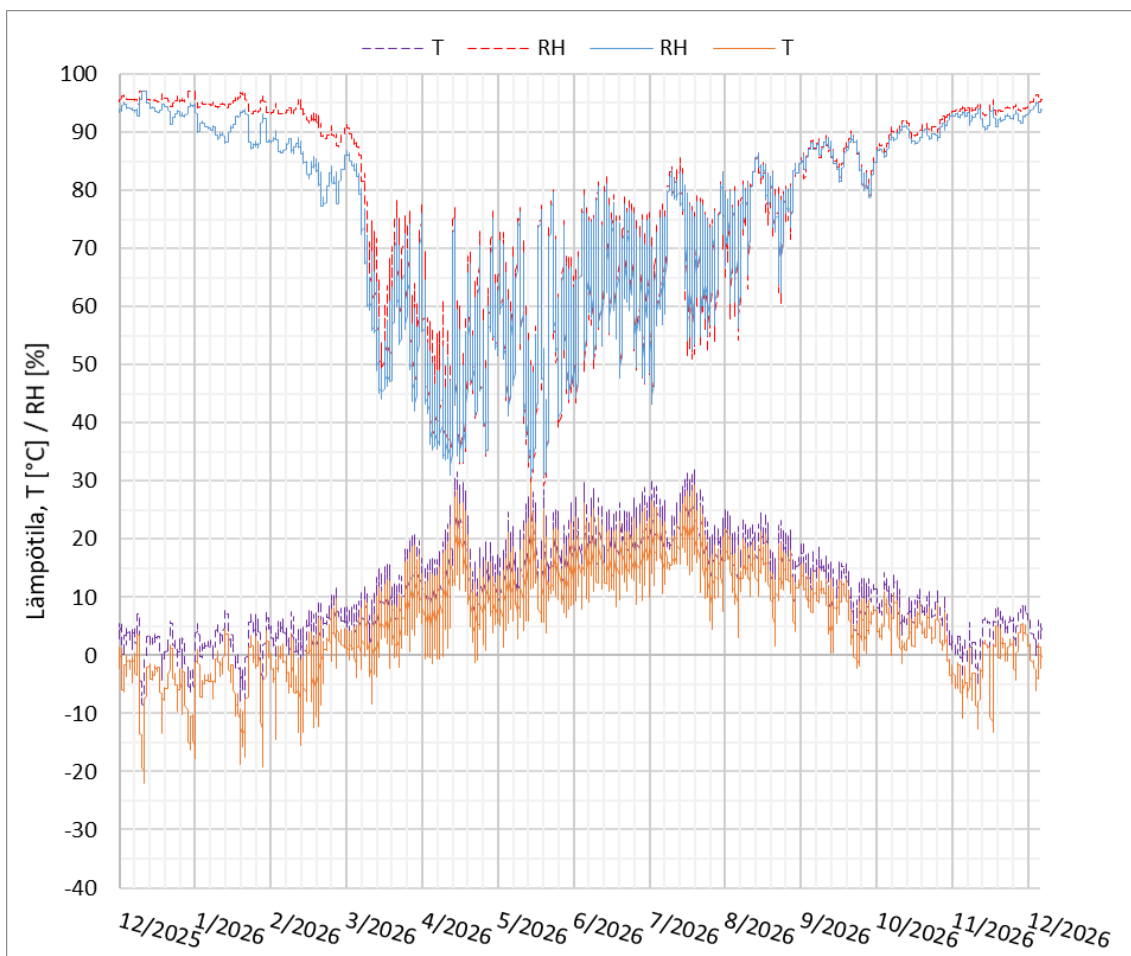


KUVIO 57. Lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojalevyn sisäpinnassa vuoden 2004 ilmastossa.



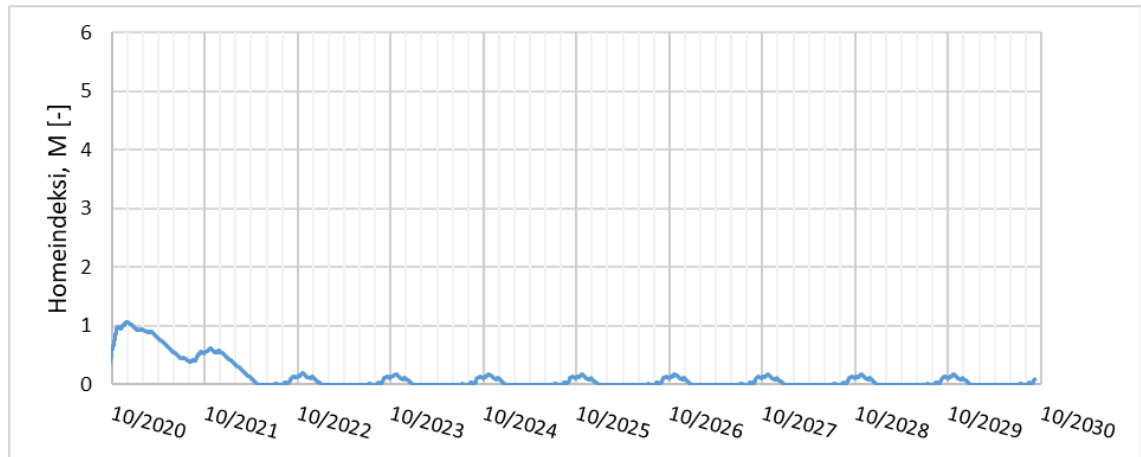
KUVIO 58. Lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojalevyn sisäpinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

Tuulensuojalevyn sisäpinnassa olosuhteet seuraavat ulkoilman olosuhteita. Suhteellinen kosteus on jaksottain korkealla, mutta tiivistymisriskiä ei havaita nykyisessä eikä tulevaisuuden ilmastossa. Yli 80 % suhteellinen kosteus saavutetaan 57 % - 59 % laskentapisteissä tarkasteluilmaston mukaan.

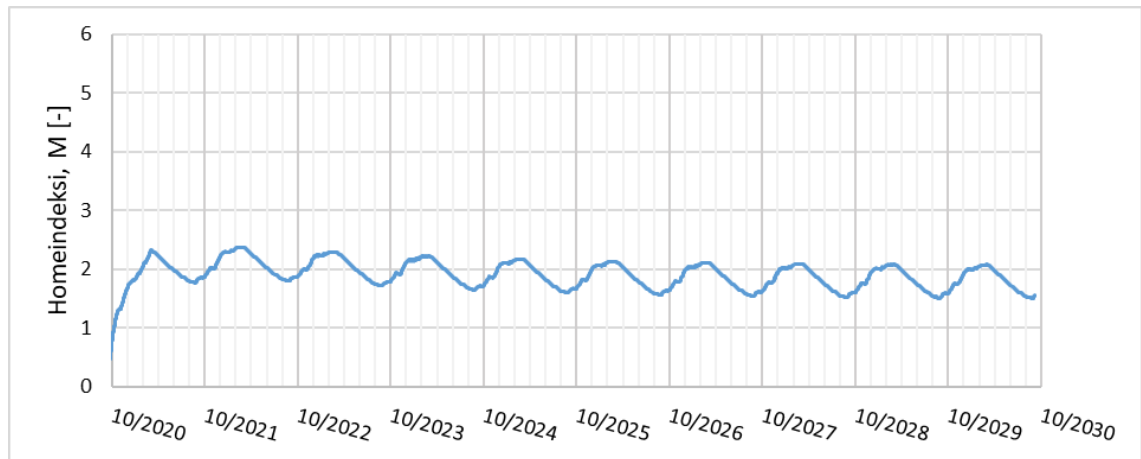


KUVIO 59. Lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojalevyn sisäpinnassa vuosien 2004 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Yhden vuoden kuvaajien perusteella tuulensuojakipsilevyn suhteellinen kosteus on tulevaisuuden ilmastossa talvikaudella pidemmän aikaa yli 90 % kuin nykyilmastossa. Korkeampi suhteellinen kosteus yhdistettynä tulevaisuuden lämpötilaosuhteisiin luo homeen kasvuille otollisemmat olosuhteet. Tämä on nähtävissä myös homemallin kuvaajista.



KUVIO 60. Tuulensuojakipsilevyn sisäpinnan homeindeksi vuoden 2004 ilmastossa, HHL 2, taantumakerroin 0,5 merkittävä taantuma.



KUVIO 61. Tuulensuojakipsilevyn sisäpinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 2, taantumakerroin 0,5 merkittävä taantuma.

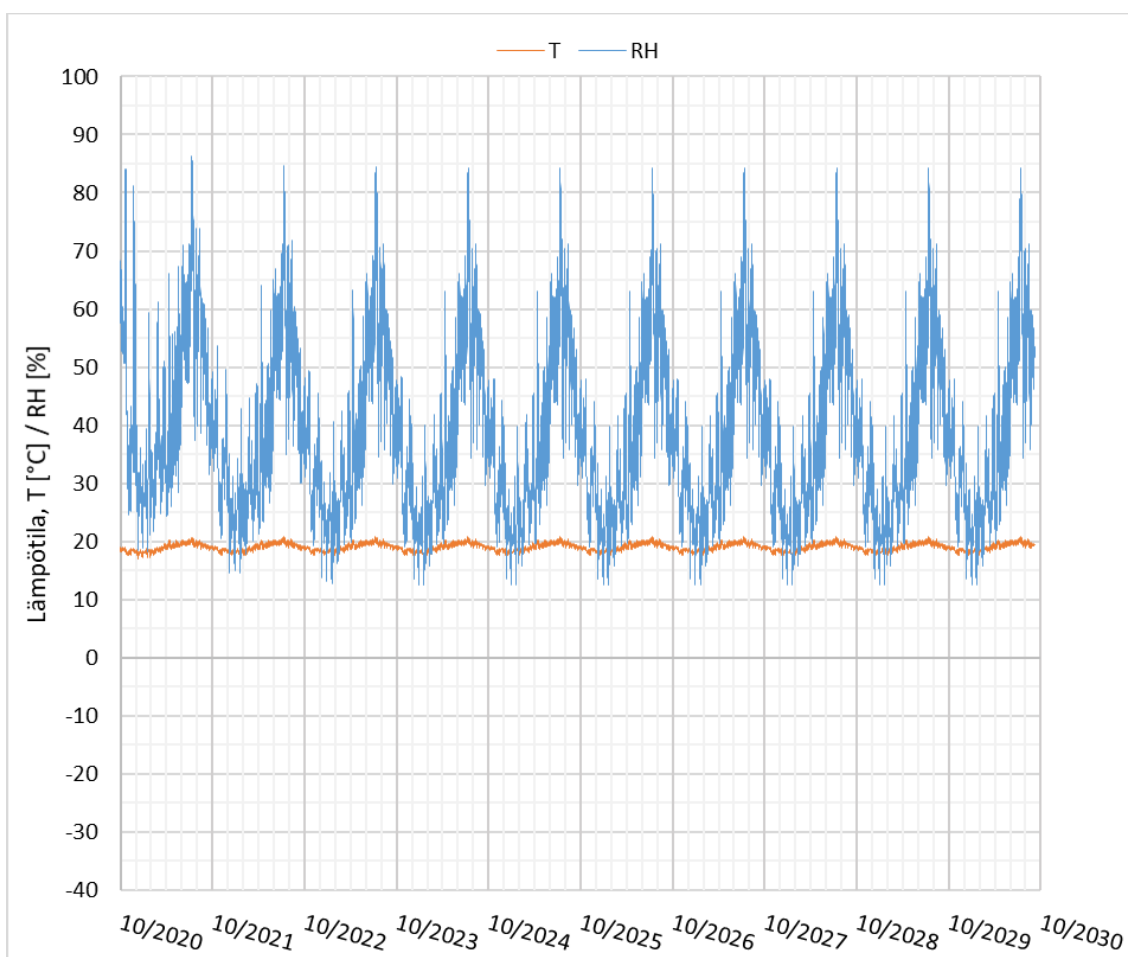
Homeindeksin arvo kasvaa vuoden 2004 ilmaston mukaisissa tarkasteluissa alkuvaiheessa yli yhden, todennäköisesti rakennusaikaisen kosteuden vuoksi, mutta tasaantuu nopeasti ja laskee lähelle nollaa. Tulevaisuuden ilmastossa olosuhde on suotuisampi homeen kasvun kannalta. Rakennusaikaisen kosteuden vuoksi homeindeksi nousee vuodessa yli kahden, lähtien sitten tasaantumaan noin arvoon 2. Maksimi on ensimmäisen kahden vuoden aikana 2,37. Nykyilmastossa tuulensuojakipsilevyn sisäpinnassa ei ole merkittävää homeen kasvua,

mutta tulevaisuudessa rakenteessa voi olla selvästi mikroskoopilla nähtäviä kasvustoja. Epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan tuulensuojakipsilevyn ja mineraalivillan rajapinnasta on mahdollista.

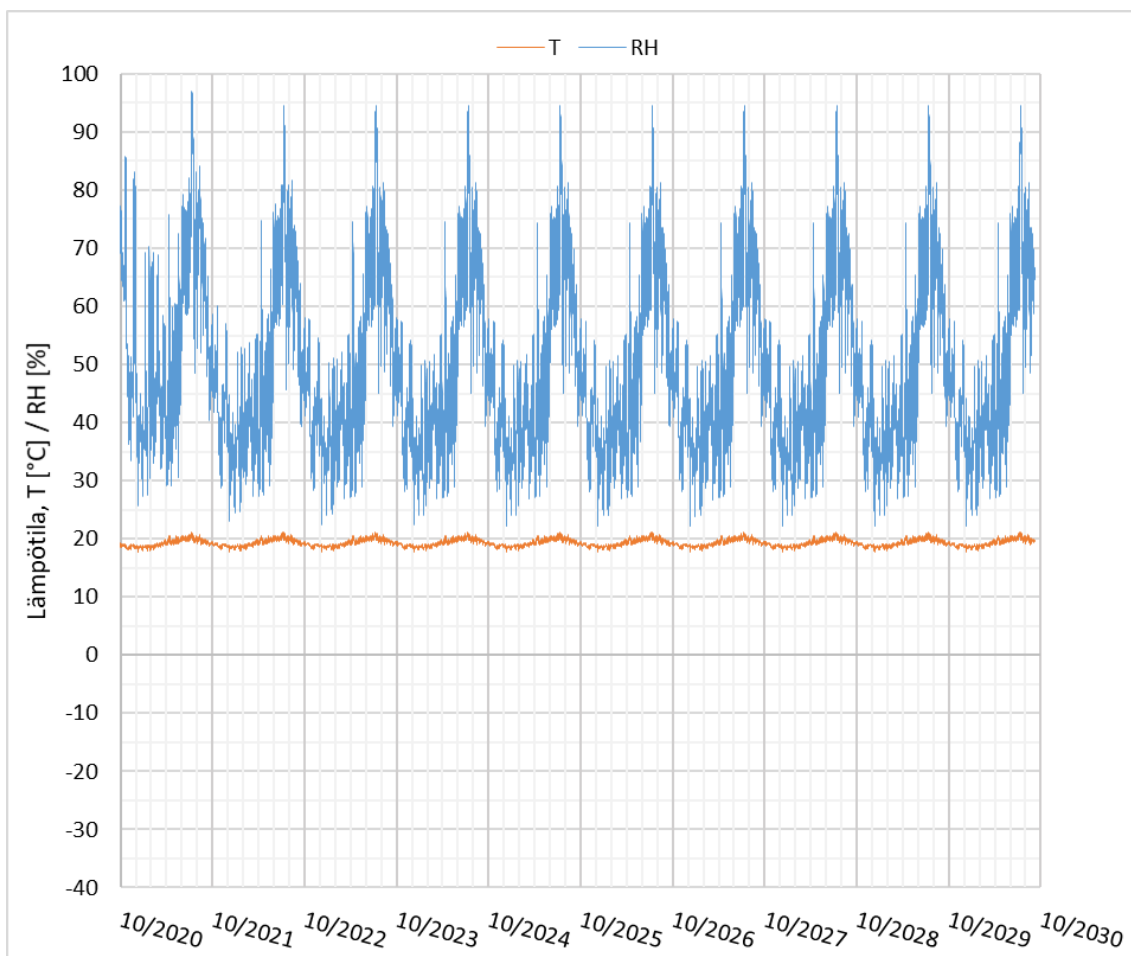
6.3.4 Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta

Mineraalivillan sisäpinnassa, villan ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa tutkittiin olosuhteita homeen kasvun kannalta.

Alla lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2004 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

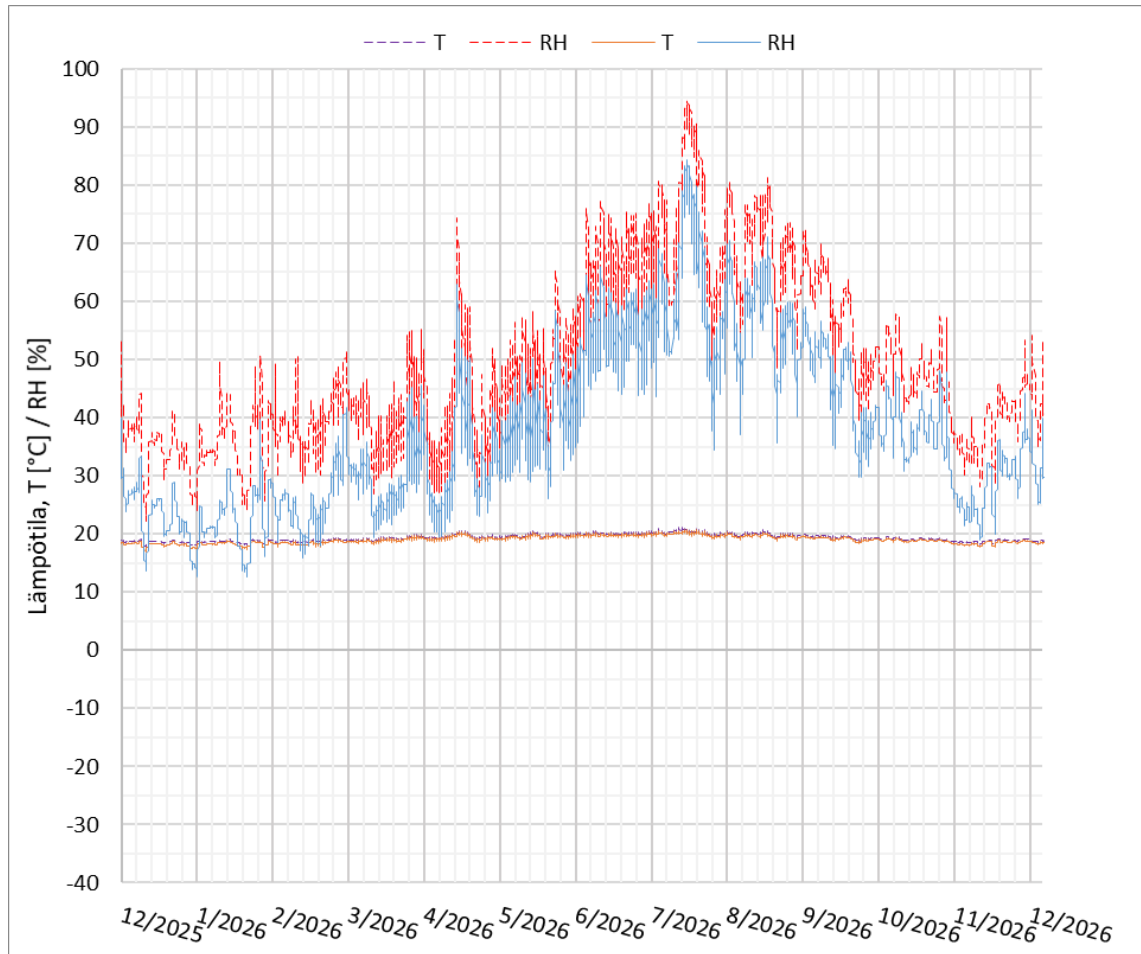


KUVIO 62. Lämpötila ja suhteellinen kosteus lämmöneristeen ja betonin rajapinnassa vuoden 2004 ilmastossa.



KUVIO 63. Lämpötila ja suhteellinen kosteus lämmöneristeen ja betonin rajapinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

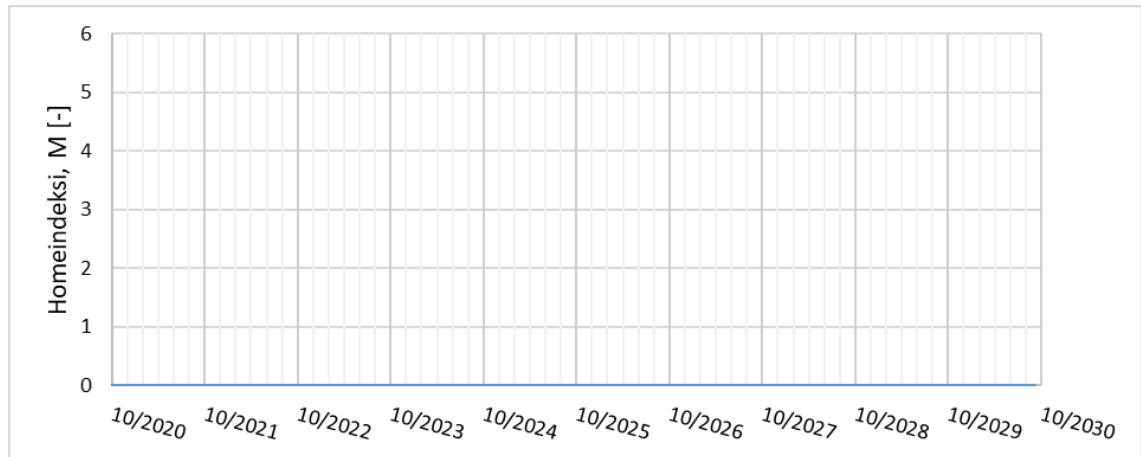
Molemmissa ilmastoissa tarkasteltuna lämpötila mineraalivillan sisäpinnassa on tasaisesti lähellä sisäilman lämpötilaa. Suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa on korkeammalla kuin nykyilmastossa, mutta käy vain ajoittain yli 90 % lukemissa.



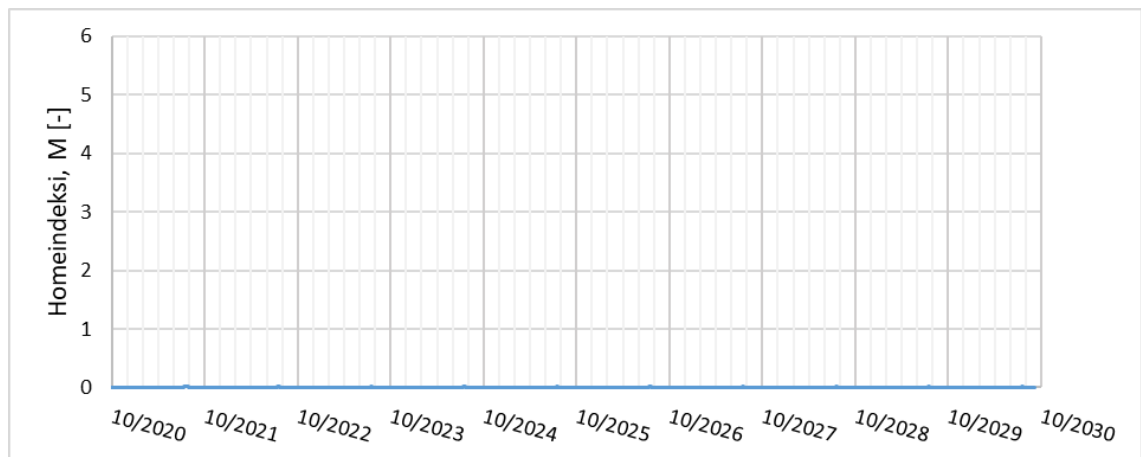
KUVIO 64. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa vuosien 2004 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla

Yhden vuoden kuvaajasta nähdään kosteuden olevan koko ajan korkeammalla tulevaisuuden ilmastossa. Kosteus on kuitenkin yleisesti kohtalaisen matalalla, etenkin verrattuna tuulettumattomiin eristerappausjärjestelmiin.

Homemallitarkastelun perusteella mineraalivillan sisäpinnassa homeen kasvua ei pääse tapahtumaan, indeksin arvo on molemmissa ilmastoissa lähelle nollaa. Homemallin kuvaajat alla.



KUVIO 65. Mineraalivillan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2004 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



KUVIO 66. Mineraalivillan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2004 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

6.4 Levyverhottu julkisivu

Tutkittu levyverhottu julkisivu on rakenne, jossa betonisen sisäkuoren päällä on mineraalivillalämmöneriste, tuulensuojamineraalivilla ja tuulettuva levyverhous. Alla on esitetty rakennetyypin rakennekerrokset.

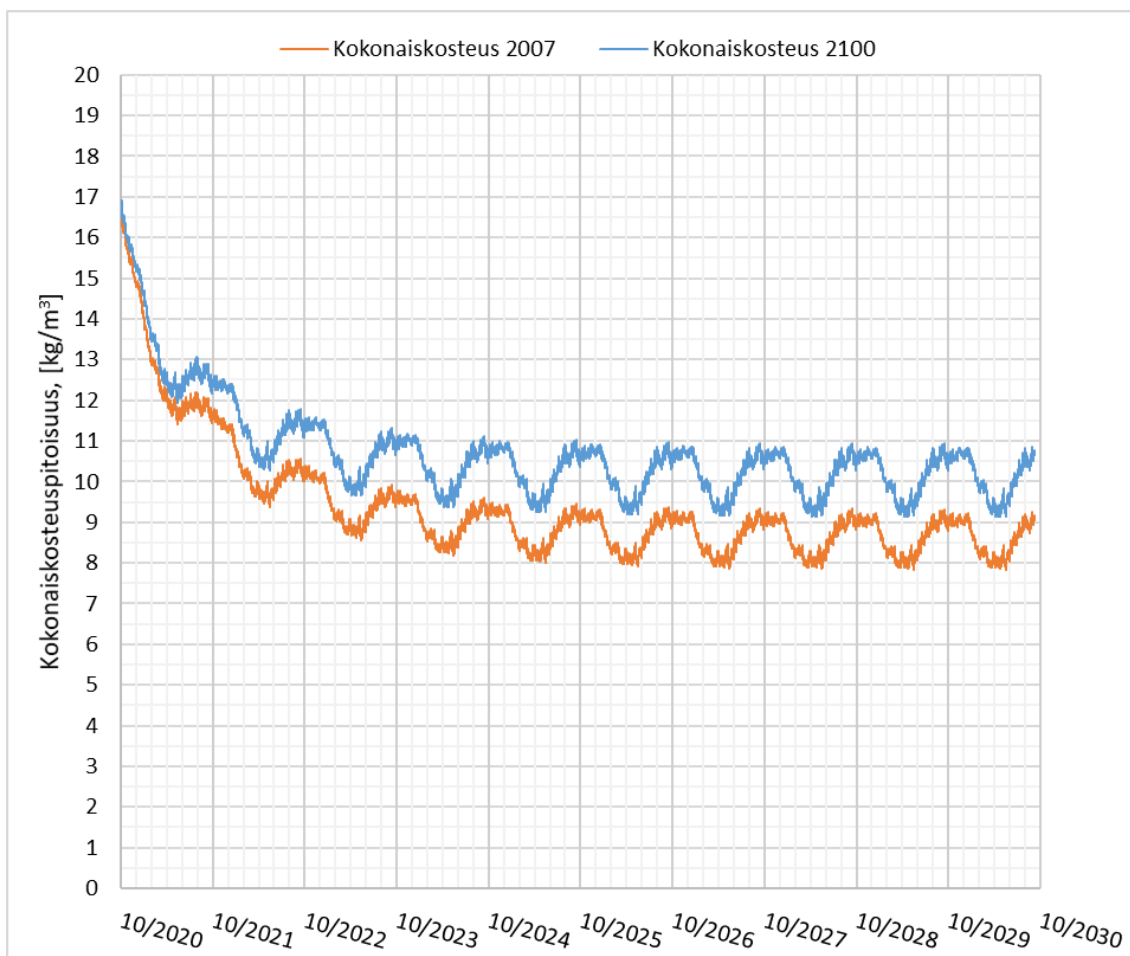
TAULUKKO 9. Levyverhottu ulkoseinärakenne, sisäpuolelta ulospäin

kerros	materiaali	paksuus mm
1.	Betoni C35/45	150
2.	Mineraalivilla, Isover KL-32	150
3.	Tuulensuojamineraalivilla, Isover RKL	30
4.	Ilmarako	30
5.	Levyverhous kuitusementtilevyllä	13

Tutkitussa rakenteessa on avoimet vaakasaumat levyjen välillä. Levyverhousjärjestelmissä on yleensä myös erilaisia listoja ja sauma profiileja, joilla saumat saadaan sadevesitiiviiksi. Tutkitun rakenteen valinnalla haluttiin selvittää viistosateen vaikutusta rakenteen sisäkerrosten kosteustekniseen toimintaan, joten rakenne tutkittiin taulukon 3 mukaisesti Vantaa 2007 ja 2100 ilmastollisten testivuosien avulla.

Tuuletusrako on mallinnettu luvussa 4.3 esitetyllä periaatteella ja tuuletusrakoon on mallinnettu ilmanvaihtolähde, jossa ilmanvaihtomääräksi on valittu 250 kertaa tunnissa, kun julkisivu on etelään. (Mäkitalo M. 2012, 55 - 56). Wufi Pro on 1d ohjelma, jossa rakenteeseen ei suoraan saa mallinnettua avoimia saumoja. Tuuletusraon uloimpaan 2 mm kerrokseen mallinnettiin ASHRAE 160 standardin mukainen 1 % osuus seinään kohdistuvasta viistosateesta mallintamaan avoimien saumojen lävitse tulevaa vesisadetta.

Rakenteen tarkastelupisteiksi valittiin tuulensuojaeristeen ulkopinta ja sisäpinta. Tällä haluttiin tutkia verhouksen saumoista tulevalle viistosateelle alttiin tuulensuojaeristeen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ja homeriskiä. Kolmas tarkastelupiste on lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinta.



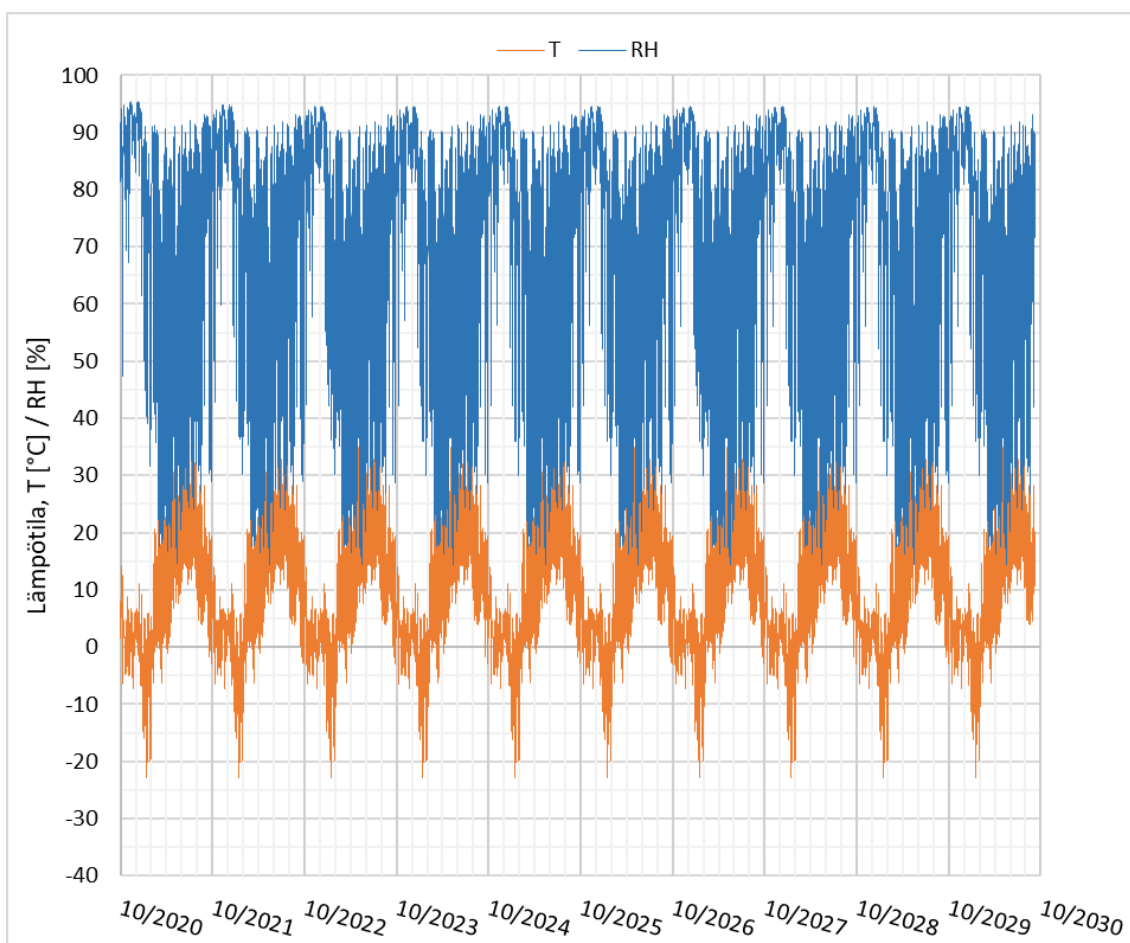
KUVIO 68. Levyverhottu ulkoseinärakenne, rakenteen kokonaiskosteus 2007 ja 2100 ilmastossa.

Kuvaajasta on nähtävissä, että vuoden 2100 ilmasto-olosuhteissa rakenteen kokonaiskosteus on noin 20 % korkeammalla tasolla kuin nykyilmastossa. Rakenteen tasaantuu 10 vuoden tarkastelujaksossa hieman edellä tutkittuja rakenteita hitaammin, noin neljän vuoden kuluessa laskennan alusta. Kasvavaa kosteuskuormaa ei synny rakenteeseen. Kokonaiskosteuksen määrä tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa jää levyverhotulla rakenteella kuitenkin kohtalaiseksi.

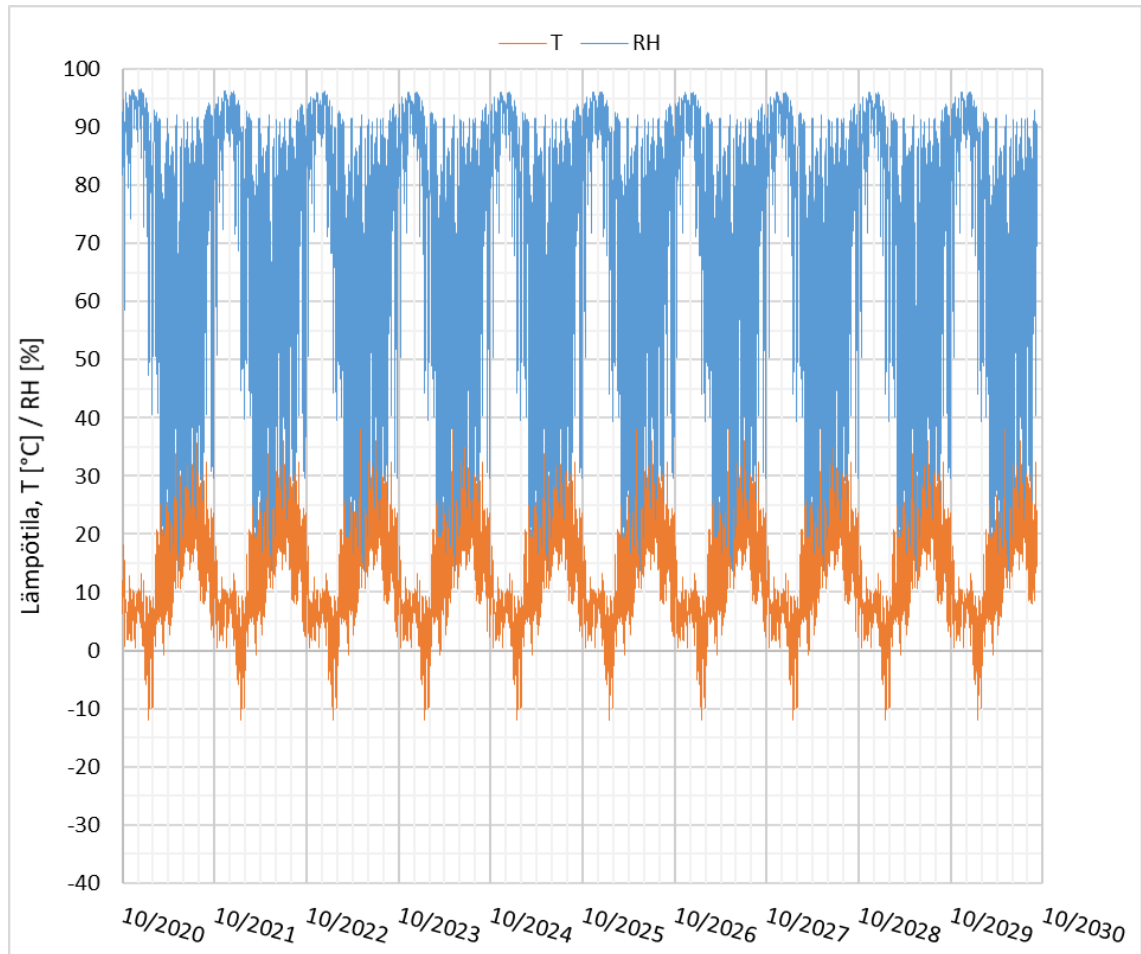
6.4.2 Tarkastelupiste 1 tuulensuojaeristeen ulkopinta

Rakenteen tuulensuojalevyn ulkopinnassa olevalla tarkastelupisteellä tutkittiin mahdollista kosteuden tiivistymistä ja homeen kasvua tuuletusraon sisäpinnassa.

Alla lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojamineraalivillan ulkopinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

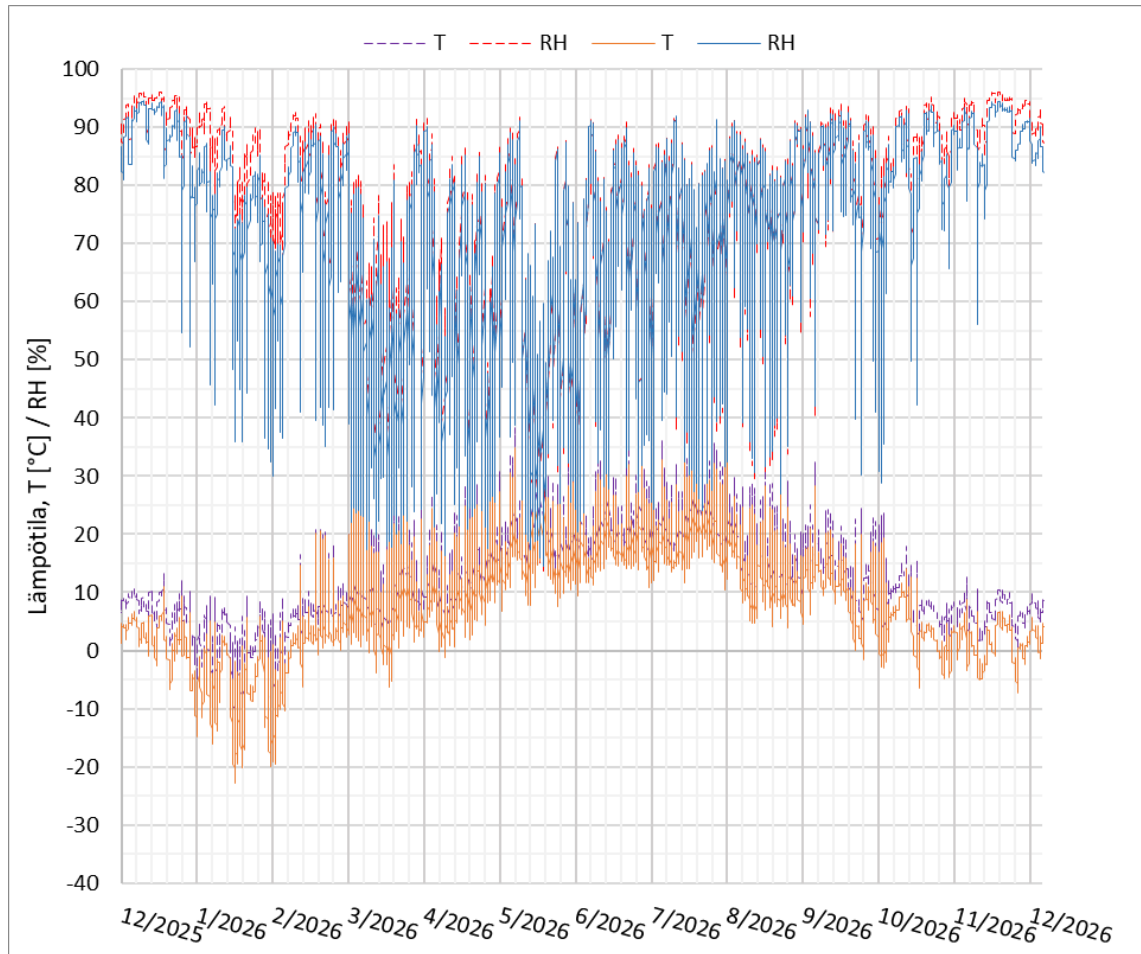


KUVIO 69. Levyverhottu ulkoseinärakenne, lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojaeristeen ulkopinnassa vuoden 2007 ilmastossa.



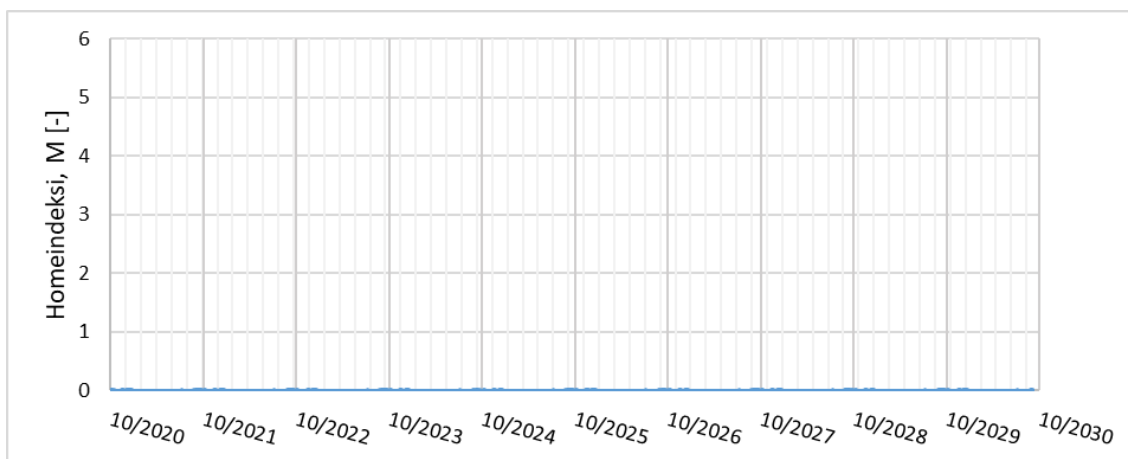
KUVIO 70. Levyverhottu ulkoseinärakenne, lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojaeristeen ulkopinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

Tuulensuojan ulkopinnassa olosuhteet seuraavat ulkoilman olosuhteita. Suhteellinen kosteus on jaksoittain korkealla, mutta tiivistymisriskiä ei havaita nykyisessä eikä tulevaisuuden ilmastossa. Yli 80 % suhteellinen kosteus saavutetaan nykyilmastossa 49 % ja tulevaisuudessa 55 % laskentapisteistä. Lämpötila on tulevaisuuden ilmastossa selkeästi korkeammalla etenkin talvikaudella.

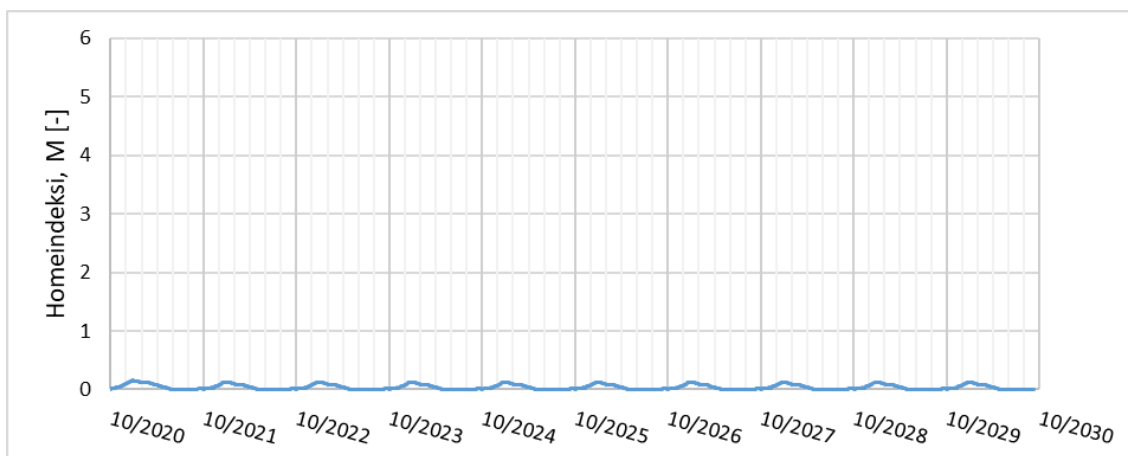


KUVIO 71. Tuulensuojamineraalivillan ulkopinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Vuoden vertailujaksosta nähdään ilmastonmuutoksen aiheuttama suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutos, molemmissa muutos on suurin talvikaudella. Tuulensuojamineraalivillan ulkopinta on suoraan ulkoilmaan yhteydessä ja altistuu viistosateelle verhoilun saumoista, jolloin se on muita sisempiä rakennekerroksia alttiimpi sääolosuhteille. Rakenne pysyy kuitenkin kohtalaisen kuivana, todennäköisesti tuuletusrakoon mallinnetun hyvän ilmanvaihtuvuuden ansiosta.



KUVIO 72. Tuulensuojamateriaalivillan ulkopinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



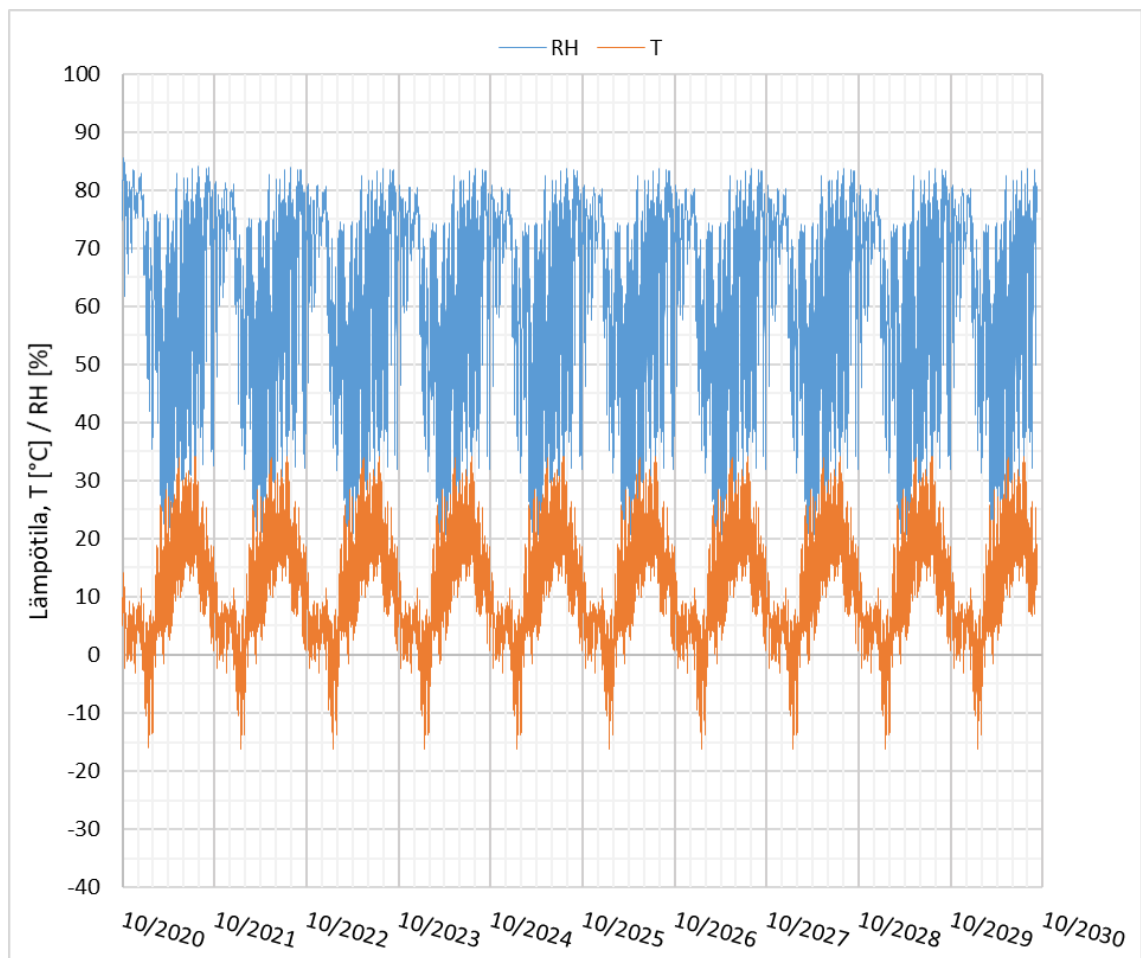
KUVIO 73. Tuulensuojamateriaalivillan ulkopinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Homemallitarkastelun perusteella nähdään hieman kohonnut homeindeksin arvio tulevaisuuden ilmastossa, mutta arvo on maksimissaan noin 0,15 eikä homeen kasvua ilmene.

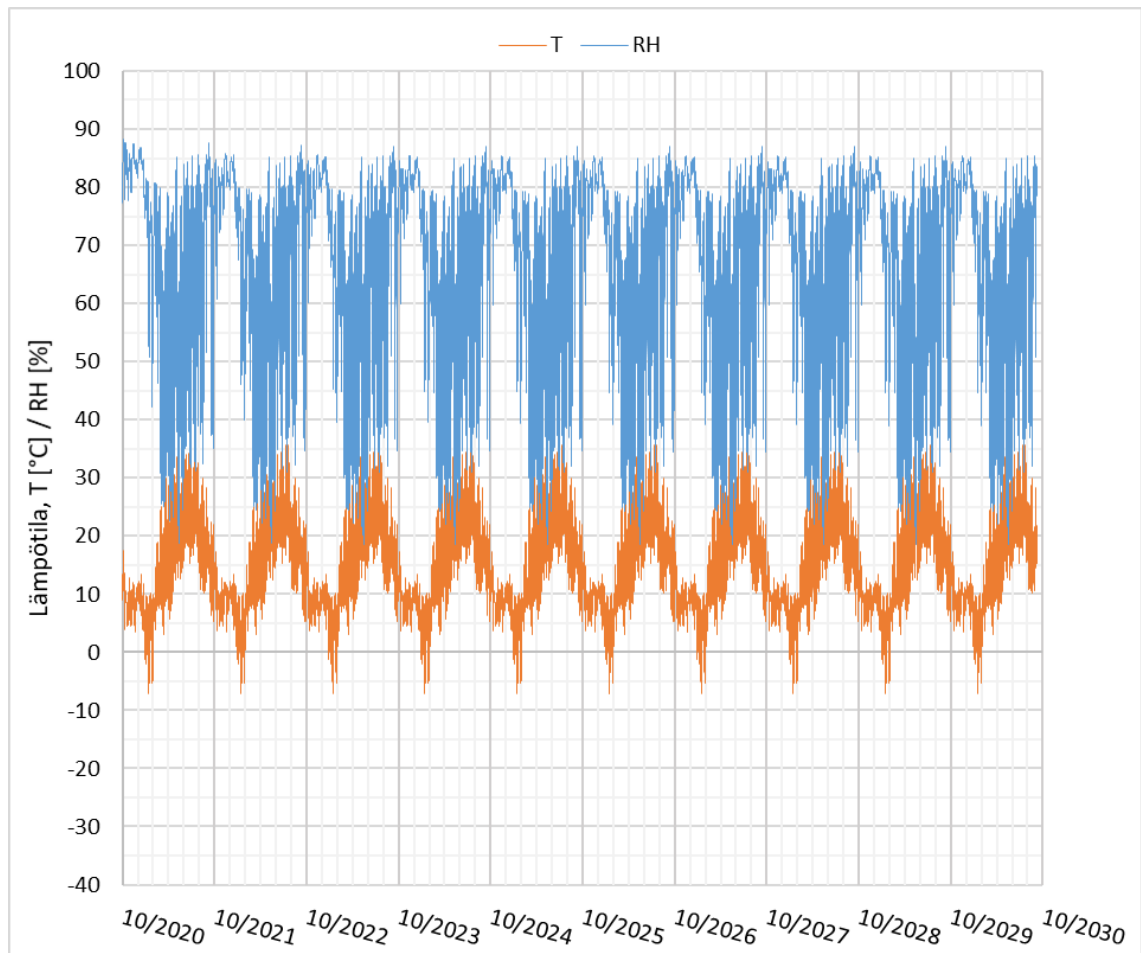
6.4.3 Tarkastelupiste 2 tuulensuojaeristeen sisäpinta

Rakenteen tuulensuojaeristeen sisäpinnassa, lämmöneristeen rajapinnassa olevalla tarkastelupisteellä tutkittiin mahdollista kosteuden tiivistymistä, lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ja homeen kasvun mahdollisuutta.

Alla lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

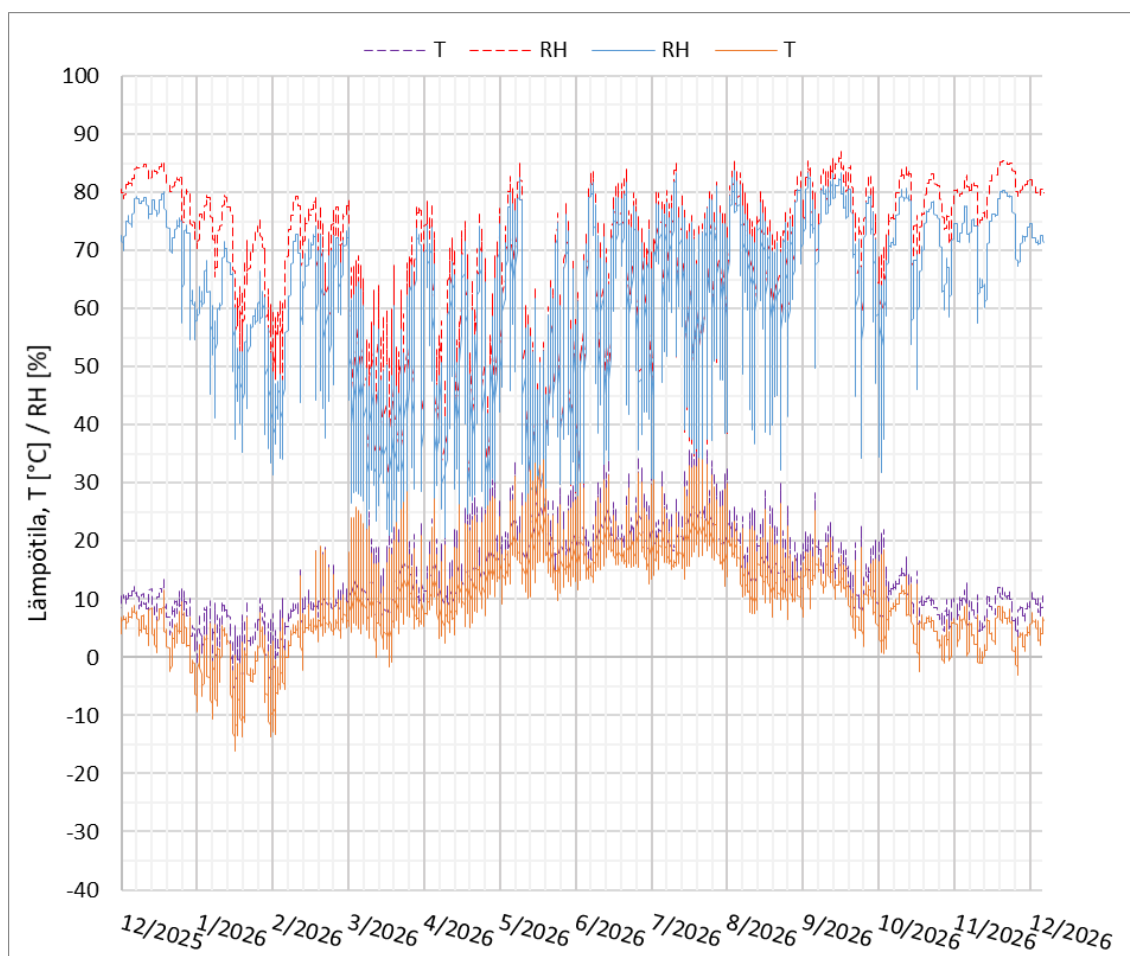


KUVIO 74. Levyverhottu ulkoseinärakenne, lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojaeristeen sisäpinnassa vuoden 2100 ilmastossa.



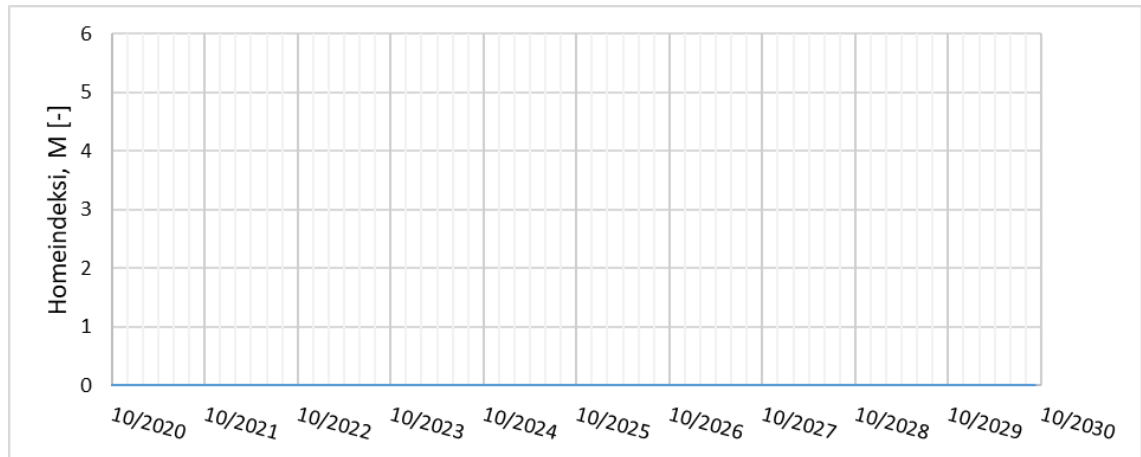
KUVIO 75. Levyverhottu ulkoseinärakenne, lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojaeristeen sisäpinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

Tuulensuojaeristeen ja varsinaisen lämmöneristeen rajapinnassa olosuhteissa on ilmastonmuutoksen myötä nähtävissä nousua sekä lämpötilassa että suhteellisessa kosteudessa. Yli 80 % suhteellinen kosteus saavutetaan 7 % tarkastelupisteistä nykyilmastossa ja 26 % vuoden 2100 ennustetussa ilmastossa.

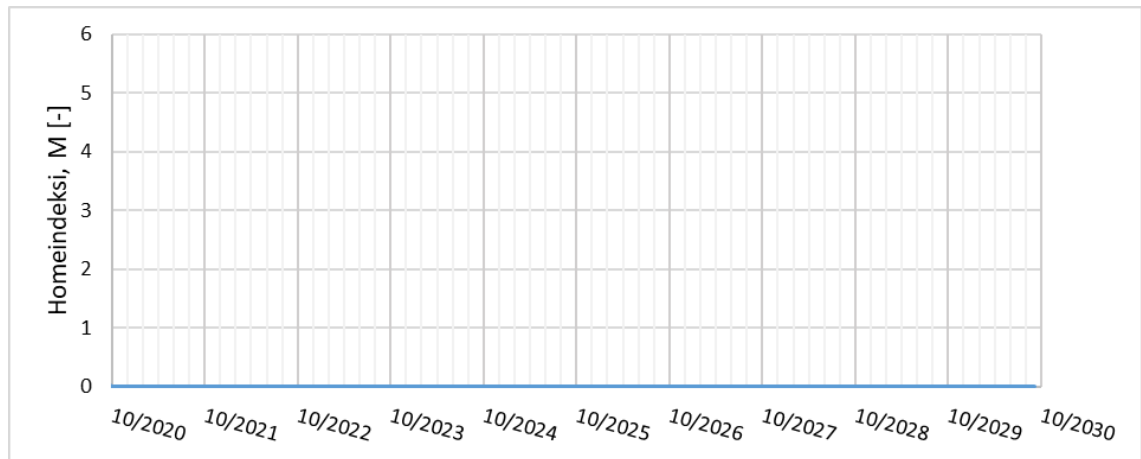


KUVIO 76. Tuulensuojamineraalivillan sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Myös yhden vuoden tarkastelujaksolla lämpötilan ja suhteellisen kosteuden nousu on hyvin nähtävissä. Nykyilmastossa suhteellinen kosteus on pääosin alle 80 %, tulevaisuudessa 80 % ylityksiä tulee enemmän. Suhteellinen kosteus on kuitenkin pääosin alueella, jossa homeen kasvuedellytykset ovat heikot. Alla homeindeksit.



KUVIO 77. Tuulensuojamineraalivillan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



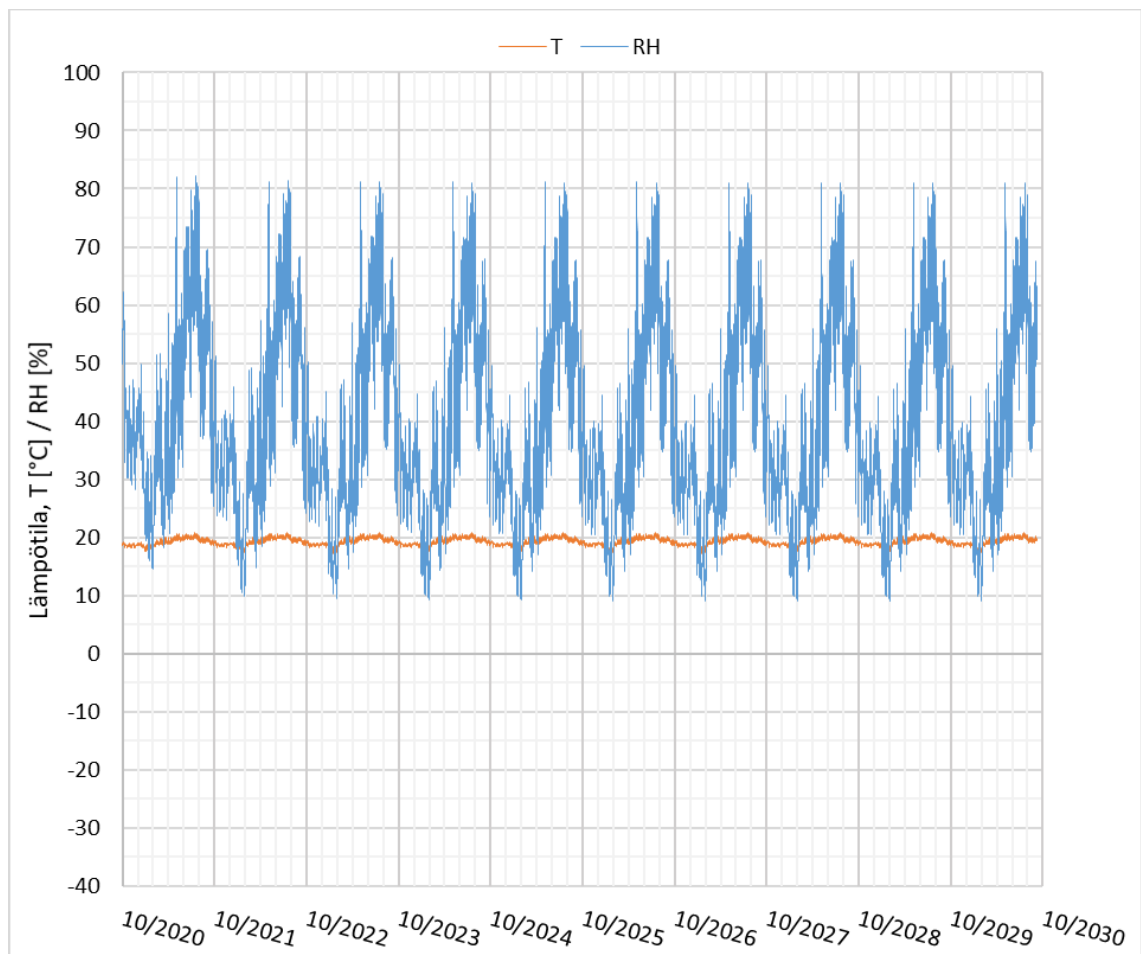
KUVIO 78. Tuulensuojamineraalivillan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Kummassakaan ilmastossa homeindeksi ei pääse kehittymään vaan on likimain nolla. Homeen kasvulle suotuisia olosuhteita ei pääse syntymään.

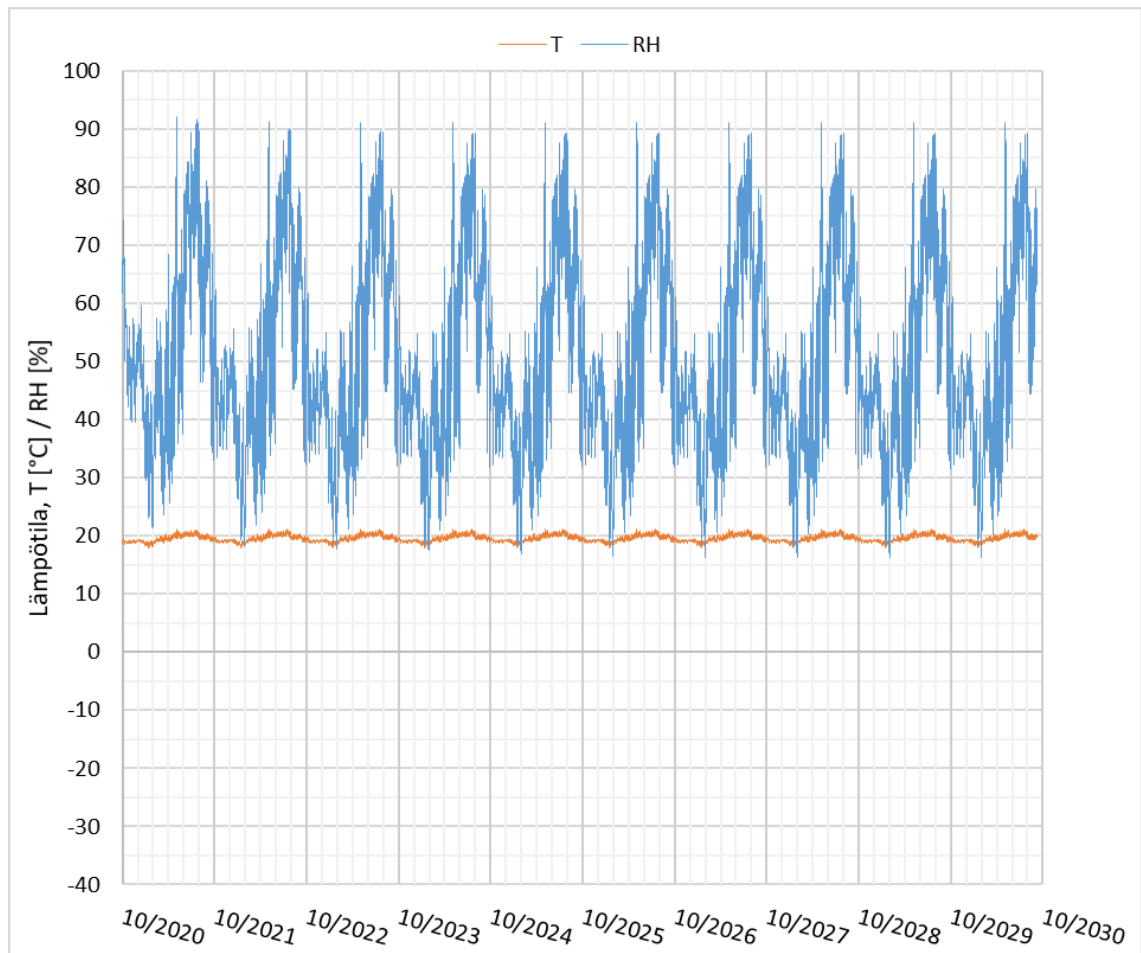
6.4.4 Tarkastelupiste 3 mineraalivillan sisäpinta

Mineraalivillan sisäpinnassa, villan ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa tutkittiin olosuhteita homeen kasvun kannalta.

Alla lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2004 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

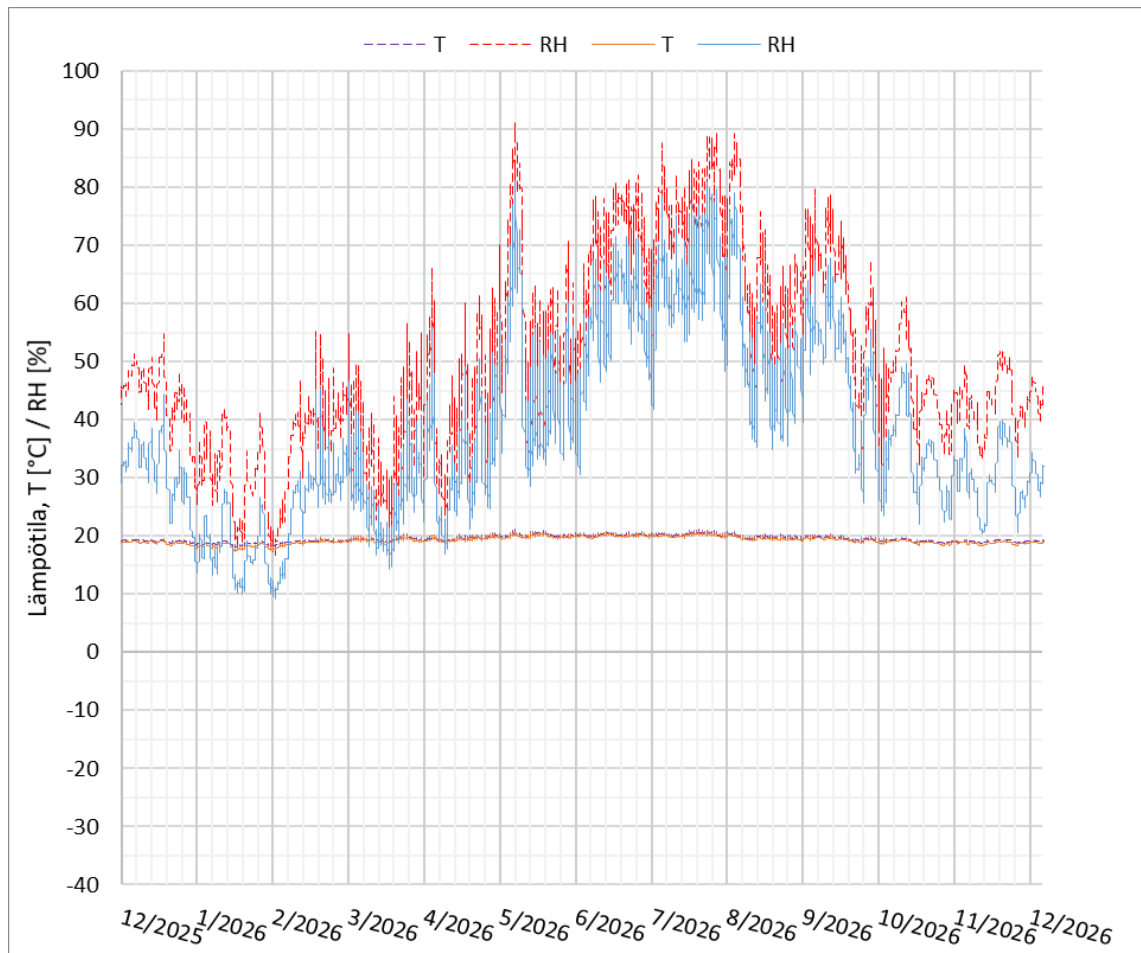


KUVIO 79. Levyverhottu ulkoseinärakenne, lämpötila ja suhteellinen kosteus lämmöneristeen sisäpinnassa vuoden 2007 ilmastossa.



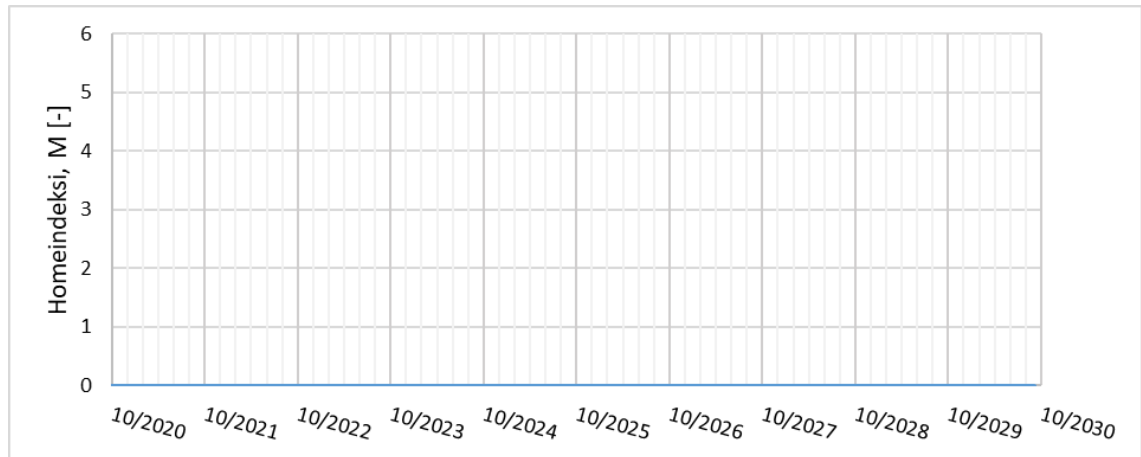
KUVIO 80. Levyverhottu ulkoseinärakenne, lämpötila ja suhteellinen kosteus lämmöneristeen sisäpinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

Molemmissa tarkastelluissa ilmastostoissa lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa lämpötilat ovat likimain identtiset, suurimman vaikutuksen lämpötilaan ollessa sisätilan lämpötila. Suhteellisen kosteuden osalta vuoden 2100 ilmastossa nähdään selvä kohoaminen. 80 % ylityksiä tapahtuu vuoden 2007 ilmastossa vain yksittäisiä joka vuosi, kun vuoden 2100 ilmastossa 80 % ylitetään noin 5 % tarkastelupisteistä. Kosteus on kuitenkin alhaisella tasolla.

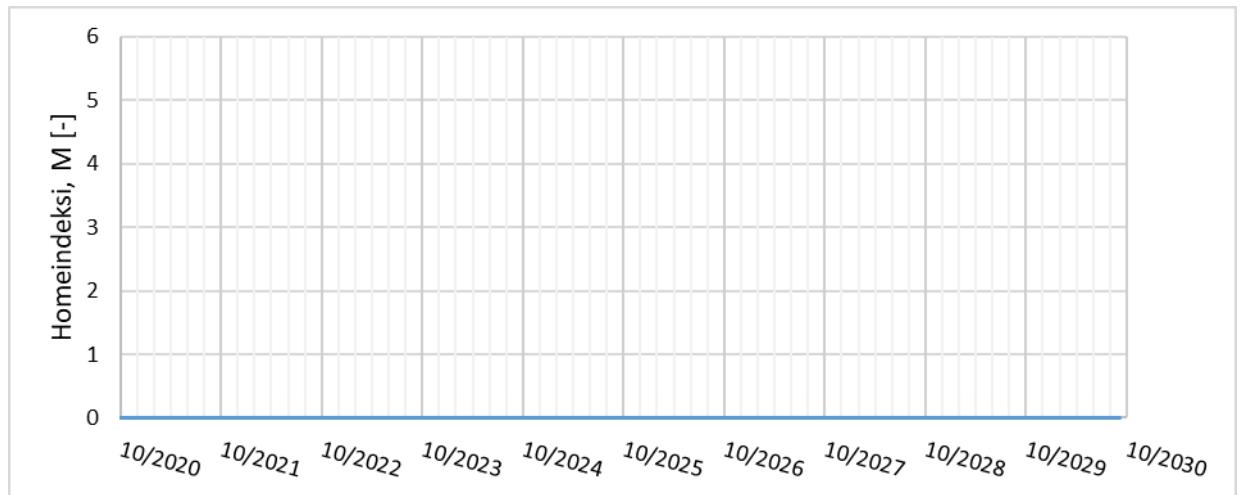


KUVIO 81. Lämpötila ja suhteellinen kosteus lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmas-
toissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Vuoden tarkastelujaksolla nähdään kosteuden osalta selvä nousu ilmastonmuu-
toksen myötä. Kosteus on kuitenkin alhaisella tasolla, eikä kuvaajien perusteella
rakenteeseen pääse muodostumaan homeen kasvulle suotuisia olosuhteita.



KUVIO 82. Lämmöneristeen sisäpinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



KUVIO 83. Lämmöneristeen sisäpinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Homeriskimallin mukaan lämmöneristeen sisäpinnassa ei ole riskiä homeen kasvusta, rakenne toimii hyvin.

6.5 Kuorimuuraus

Kuorimuurattua julkisivurakennetta käytetään yleisesti uudisrakentamisessa. Tutkitussa rakenteessa on betonisen sisäkuoren päällä lämmöneriste, tuulensuojamineraalivilla, tuuletusrako ja kuorimuuraus. Muuraussiteiden vaikutusta ei laskennassa huomioida. Alla rakennetyypin rakennekerrokset.

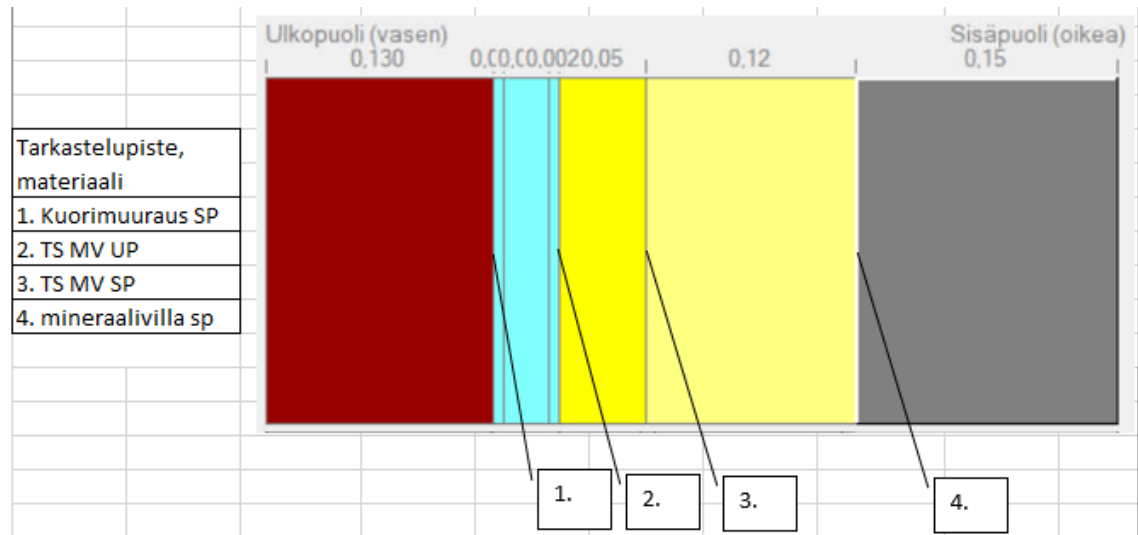
TAULUKKO 10. Kuorimuurattu ulkoseinärakenne, sisäpuolelta ulospäin

kerros	materiaali	paksuus mm
1.	Betoni C35/45	150
2.	Mineraalivilla, Isover KL-32	120
3.	Tuulensuojamineraalivilla, Isover RKL	50
4.	Ilmarako	30
5.	Kuorimuuraus	130

Tiilimuuratus rakenteessa viistosade vaikuttaa voimakkaasti rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan. Rakenne tutkittiin taulukon 3 mukaisesti Vantaa 2007 ja 2100 ilmastollisten testivuosien avulla.

Tuuletusrako on mallinnettu luvussa 4.3 esitetyllä periaatteella ja tuuletusrakoon on mallinnettu ilmanvaihtolähde, jossa ilmanvaihtomääräksi on valittu tiilimuurauksen takana 25 kertaa tunnissa, kun julkisivu on etelään. (Mäkitalo M. 2012, 52). Tuuletusraon uloimpaan 2 mm kerrokseen mallinnettiin ASHRAE 160 standardin mukainen 1 % osuus seinään kohdistuvasta viistosateesta mallintamaan tiilimuurauksen laastisaumojen ja muiden epäjatkuvuuskohtien lävitse tulevaa kosteusrasitusta.

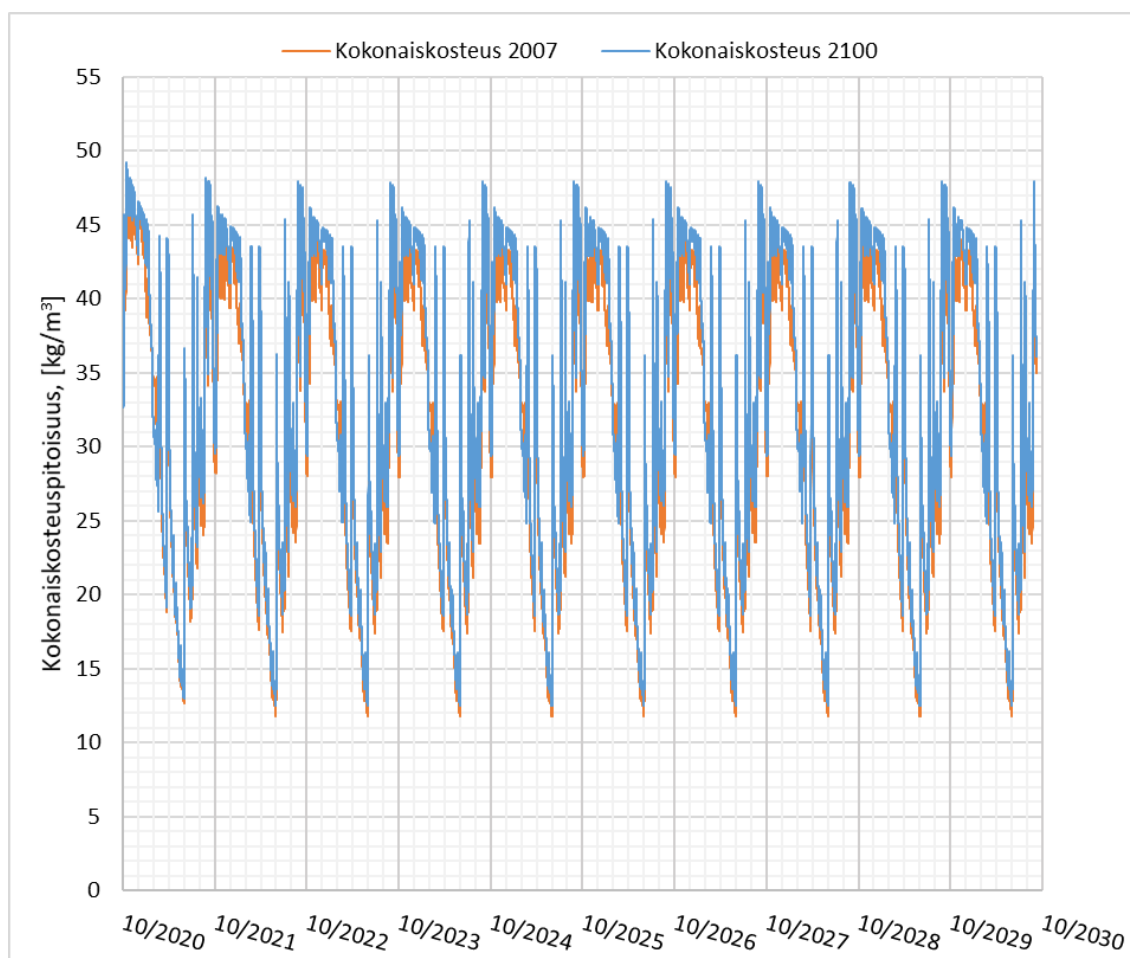
Rakenteen tarkastelupisteiksi valittiin tiilimuurauksen sisäpinta, tuulensuojaeristeen ulkopinta ja sisäpinta sekä lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinta. Tarkastelupisteiden valinnalla haluttiin tutkia tiilimuurin kosteustilannetta ja lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa, sekä homeen kasvun mahdollisuutta lämmöneristekerrosten eri osissa.



KUVIO 84. Levyverhottu ulkoseinärakenne ja tarkastelupisteet

6.5.1 Rakenteen kokonaiskosteus

Kokonaiskosteuskuvaajasta nähdään rakenteen kokonaiskosteusmäärän vaihtelu tarkastelujaksolla. Rakenteen kokonaiskosteuden kehitys 10 vuoden tarkastelujaksolla ilmastoittain esitetään alla olevassa kuvaajassa.



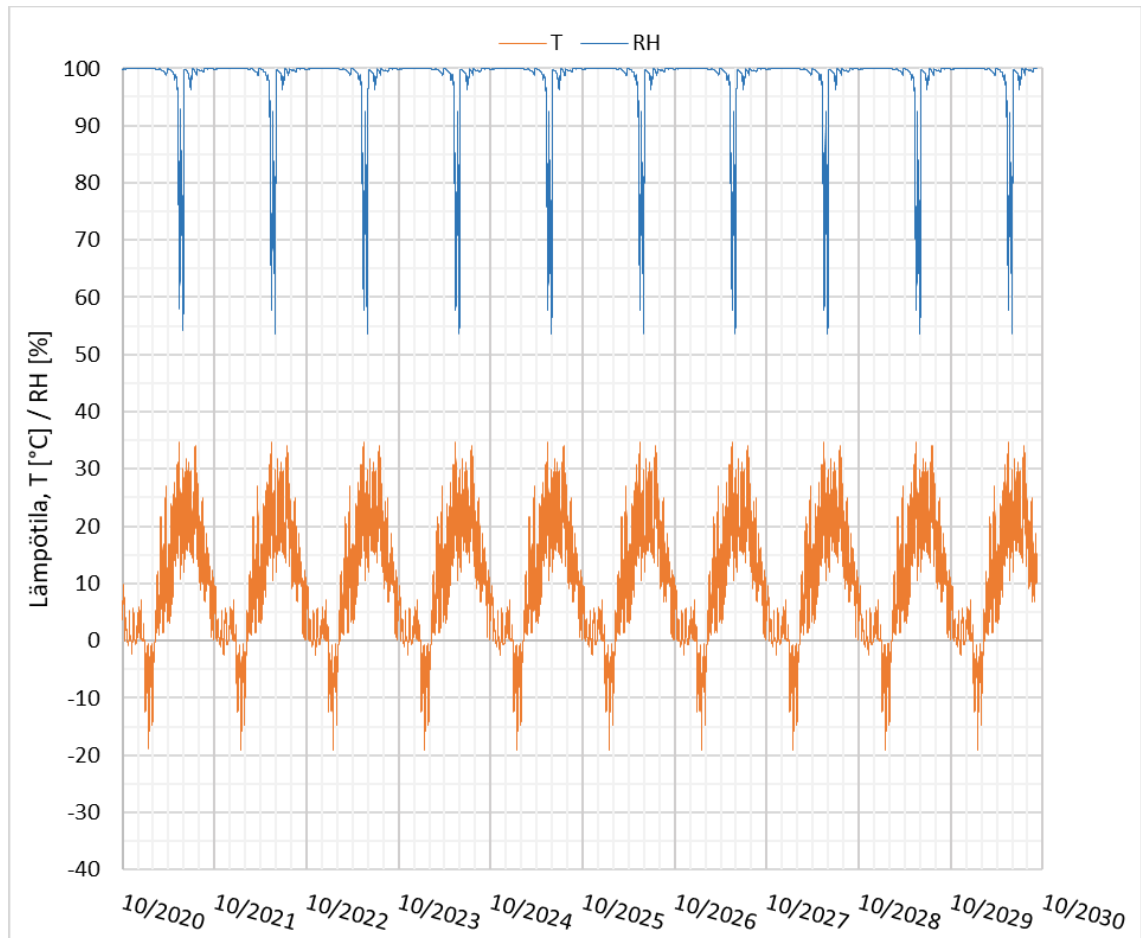
KUVIO 85. Kuorimuurilla verhoiltu ulkoseinärakenne, rakenteen kokonaiskosteus 2007 ja 2100 ilmastossa.

Kuvaajasta havaitaan, että rakenteen kokonaiskosteus on melko korkealla jo nykyilmastossa. Tulevaisuudessa kosteus määrä lisääntyy ja vuoden 2100 ilmastossa kosteus määrä on noin 10 - 15 % korkeammalla kuin nykyilmastossa. Kokonaiskosteus on myös huomattavasti muita tutkittuja rakenteita korkeammalla. Tämä johtuu tiilimuurauksen altistumisesta viistosateelle ja tiilen suuresta vedenimunopeudesta.

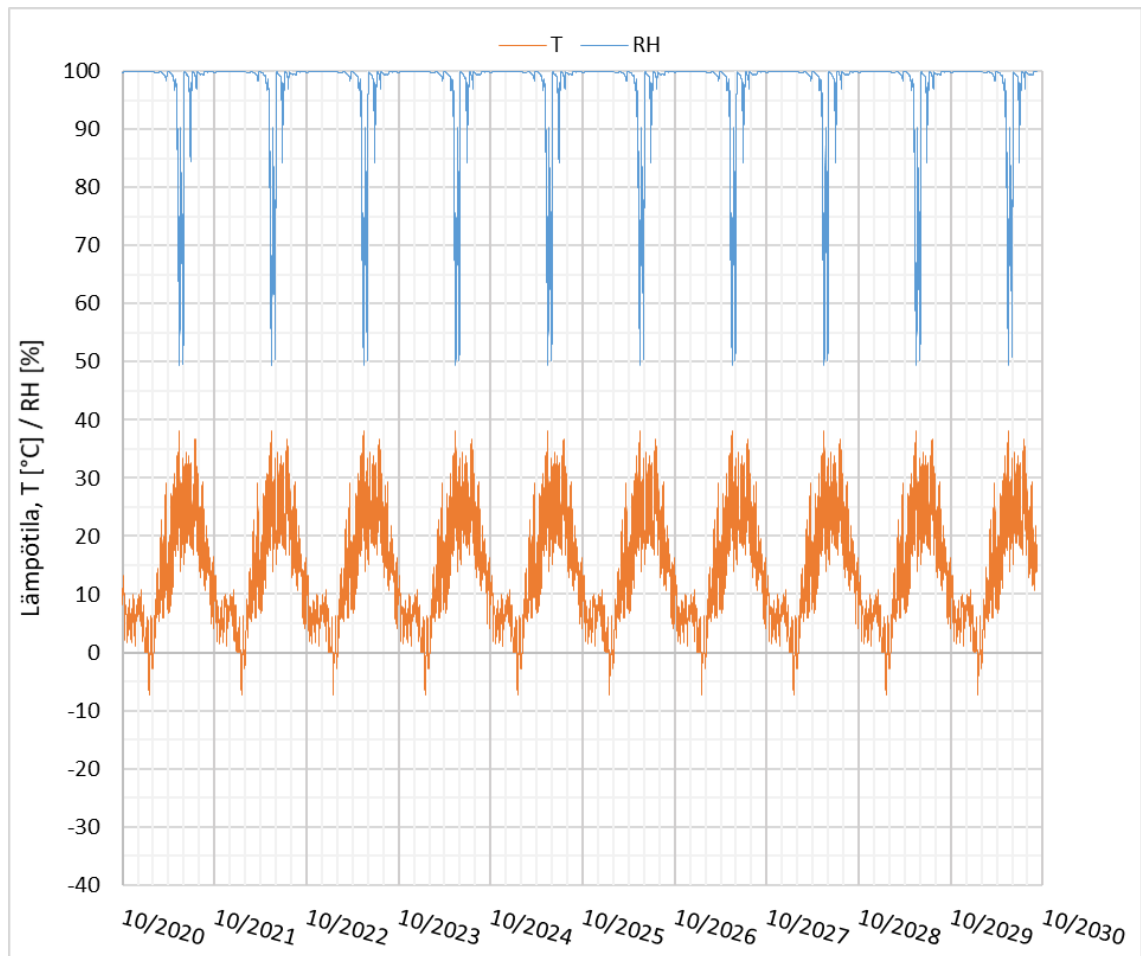
6.5.2 Tarkastelupiste 1 kuorimuurauksen sisäpinta

Kuorimuurauksen sisäpinnassa olevalla tarkastelupisteellä haluttiin selvittää tiilimuurin kosteustilanteen muutosta eri ilmasto-olosuhteissa.

Alla lämpötila ja suhteellinen kosteus kuorimuurauksen sisäpinnassa, tuuletusrakoa vasten 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.



KUVIO 86. Kuorimuurauksen sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ilmastossa.



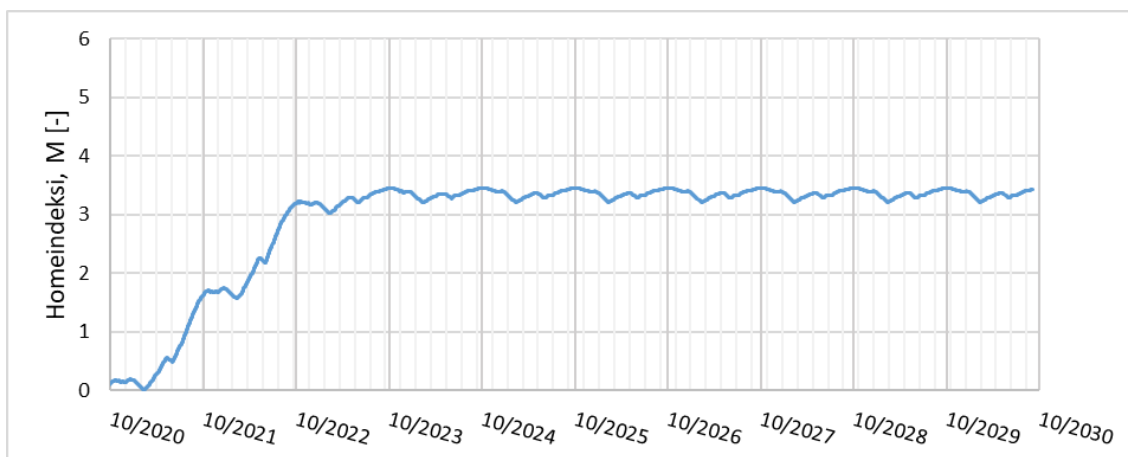
KUVIO 87. Kuorimuurauksen sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Kuvaajista nähdään, että tiilimuurauksen sisäpinnalla suhteellinen kosteus on hyvin korkealla molemmissa tutkituissa ilmastoissa. Laskennallisesti arvioiden nykyilmastossa 90 % ja tulevaisuudessa 86 % laskentapisteistä suhteellinen kosteus on kapillaarisella alueella, eli yli 98 %.

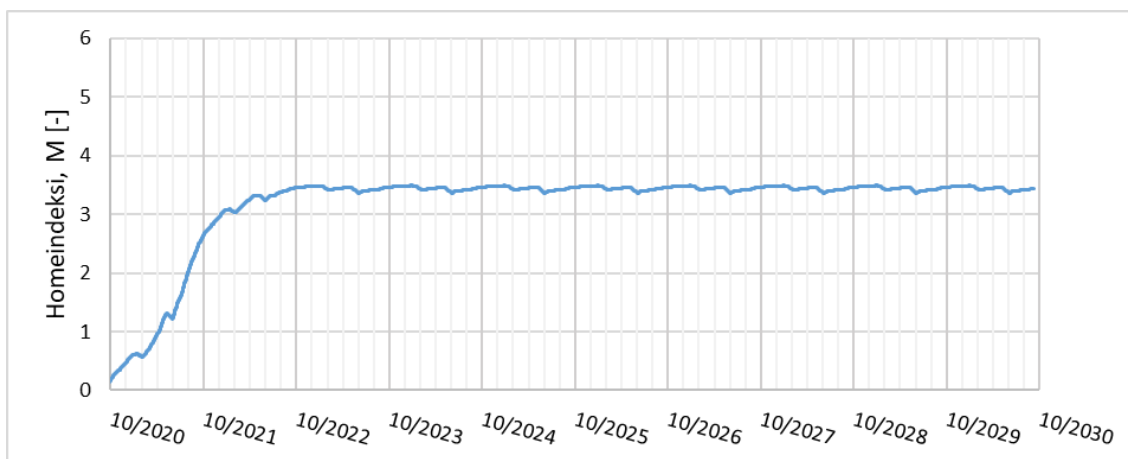


KUVIO 88. Kuorimuurauksen sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Vuoden tarkastelujaksolla suhteellinen kosteus on molemmissa ilmastoissa hyvin lähellä toisiaan. Tulevaisuudessa kosteus on ajoittain hieman alempana verrattuna nykytilanteeseen, johtuen todennäköisesti lämpötilan noususta. Lämpötilan osalta nähdään selvä kohoaminen, etenkin talvikaudella.



KUVIO 89. Tiilimuurauksen sisäpinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.



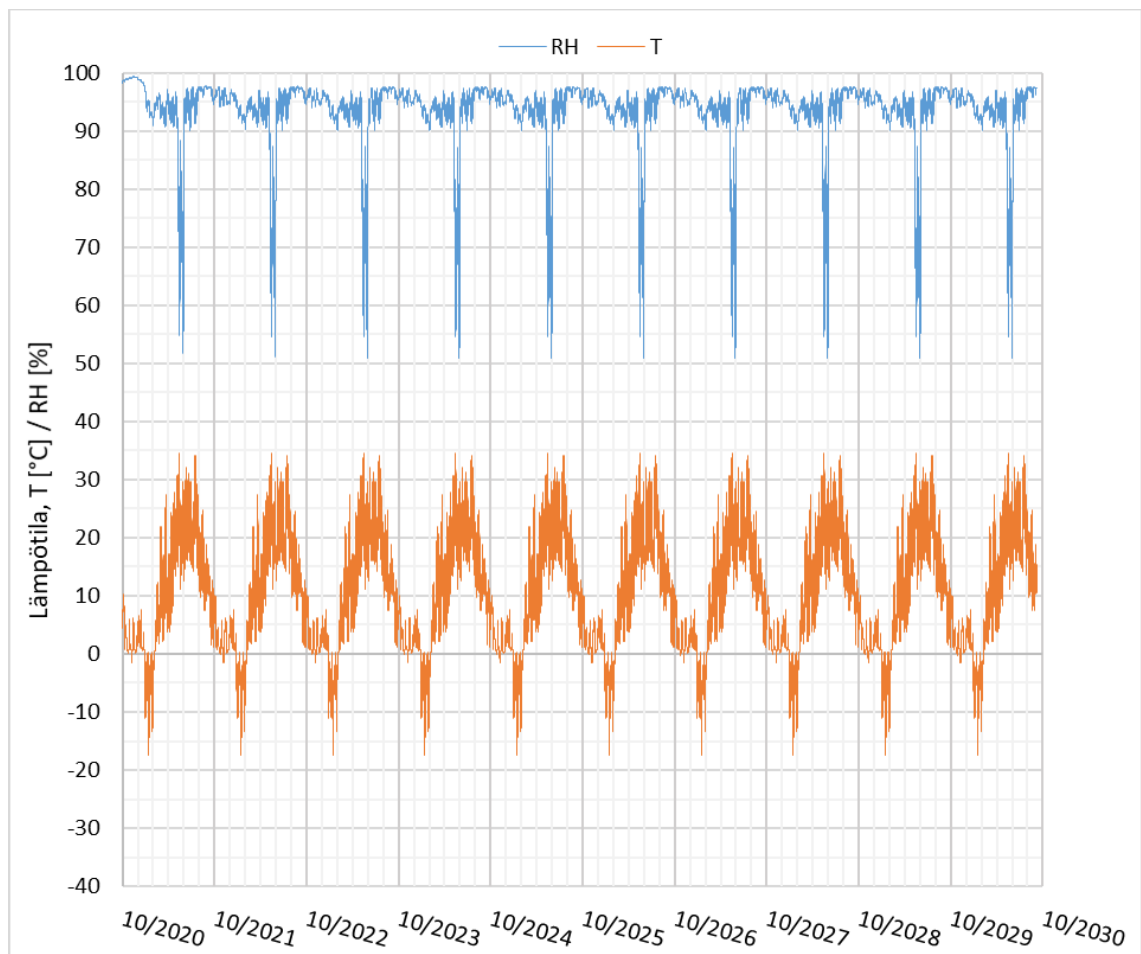
KUVIO 90. Tiilimuurauksen sisäpinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,25 kohtalainen taantuma.

Homeriskitarkasteluista nähdään, että tiilimuurauksen sisäpinnassa olosuhteet ovat suotuisat homeen kasvulle molemmissa ilmastoissa. Homeindeksin maksimiarvo on noin 3,5 kummallakin ilmastolla. Tulevaisuuden olosuhteissa maksimiarvo saavutetaan noin vuotta aiemmin kuin nykyisin. Mahdollinen homeen kasvu tuuletusraon pinoilla ei ole niin merkittävää sisäilman laadun kannalta, kuin esimerkiksi homekasvustot lämmöneristeessä.

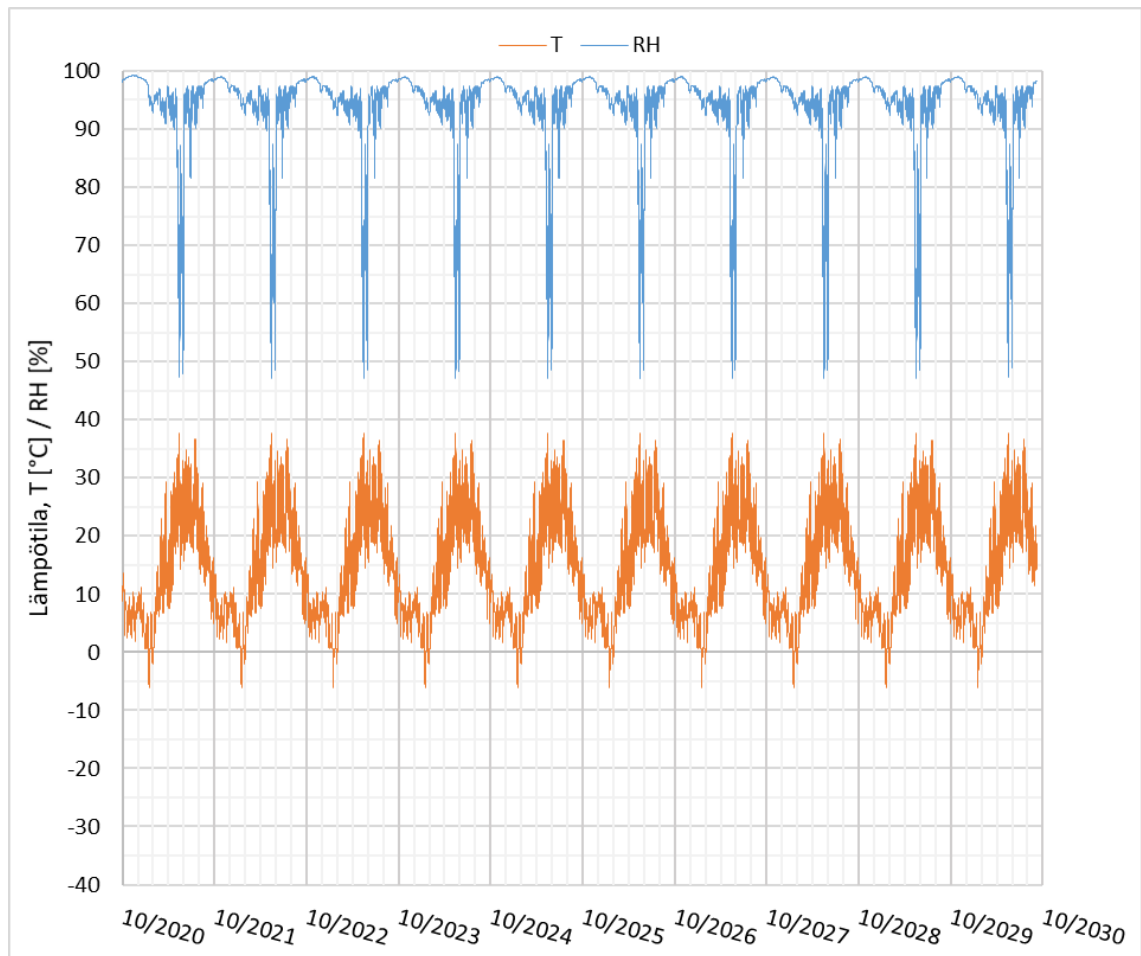
6.5.3 Tarkastelupiste 2 tuulensuojaeristeen ulkopinta

Tuulensuojaeristeen ulkopinnassa olevalla tarkastelupisteellä tutkittiin mahdollista kosteuden tiivistymistä ja homeen kasvua tuuletusraon sisäpinnassa.

Kuvaajissa lämpötila ja suhteellinen kosteus tuulensuojamineraalivillan ulkopinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

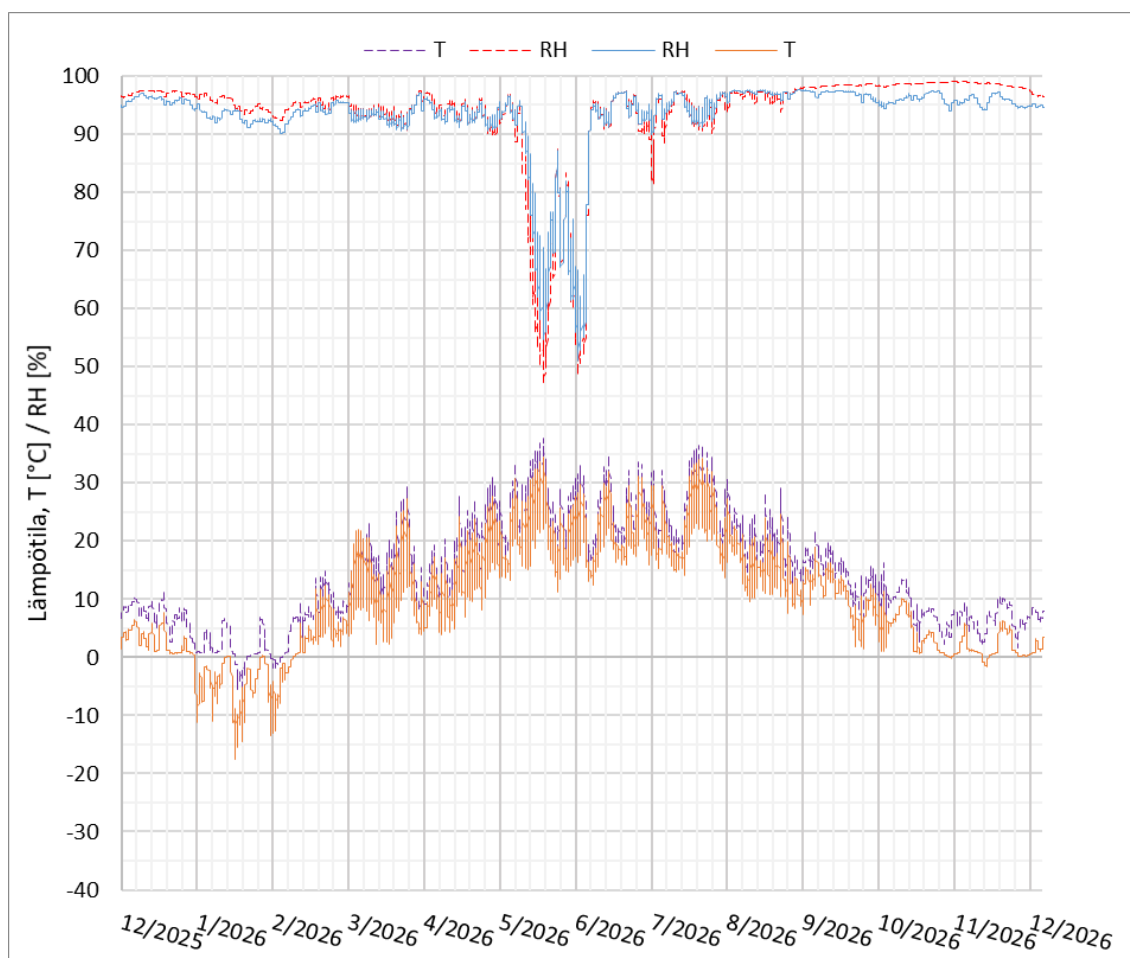


KUVIO 91. Tuulensuojaeristeen ulkopinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ilmastossa.



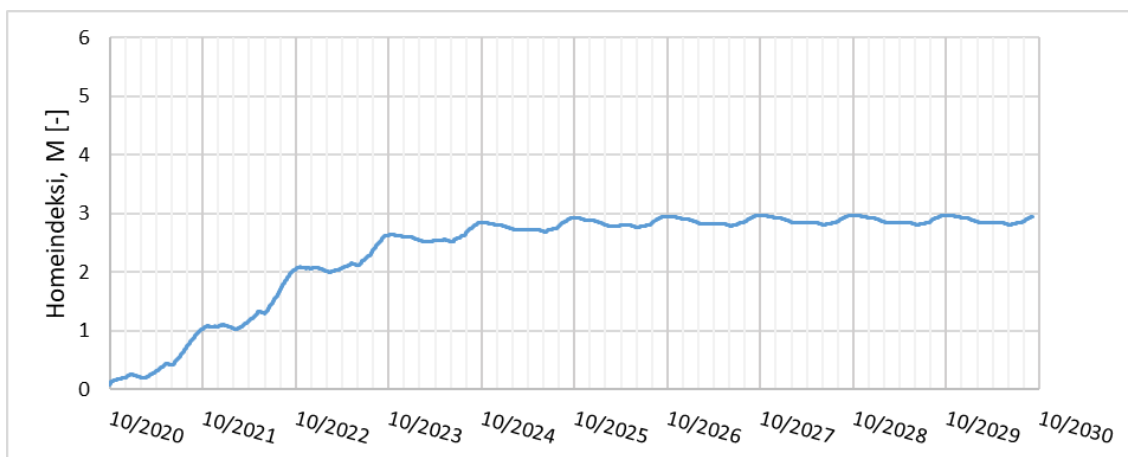
KUVIO 92. Tuulensuojaeristeen ulkopinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Suhteellinen kosteus on korkealla molemmissa tutkituissa ilmastoissa tuulensuojalevyn ulkopinnalla. Tiivistymisriskiä rakenteessa ei ole, mutta suhteellinen kosteus 90 % saavutetaan 92 - 93 % laskentapisteissä molemmissa tutkituissa olosuhteissa.

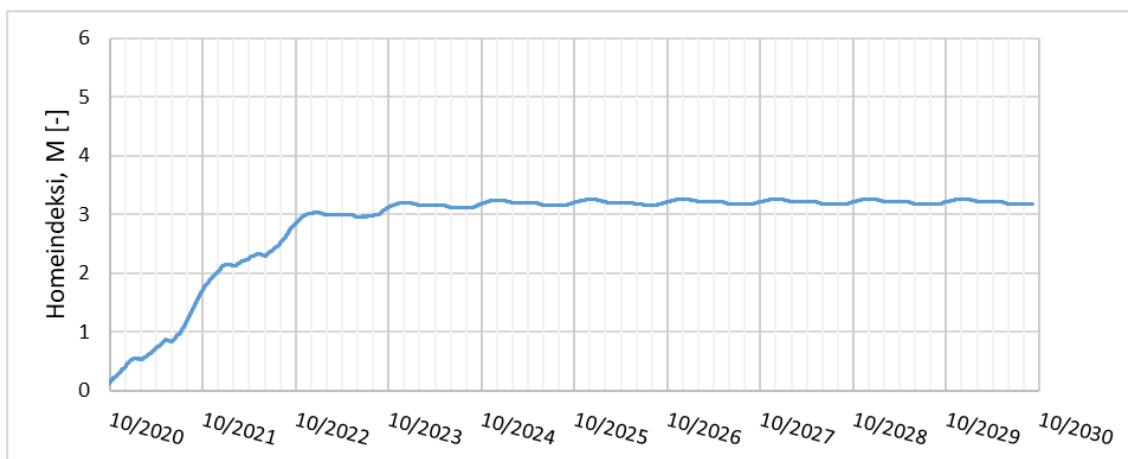


KUVIO 93. Tuulensuojaeristeen ulkopinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Tuulensuojaeristeen ulkopinnassa suhteellinen kosteus on vuoden 2100 ilmastossa talvikaudella korkeammalla kuin vuoden 2007 ilmastossa, kesäkaudella taas ajoittain matalammalla. Lämpötilan osalta nähdään selvä nousu tulevaisuuden ilmastossa. Olosuhteiden suotuisuutta homeen kasvuille tarkastellaan home-riskimallilla.



KUVIO 94. Tuulensuojavillan ulkopinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



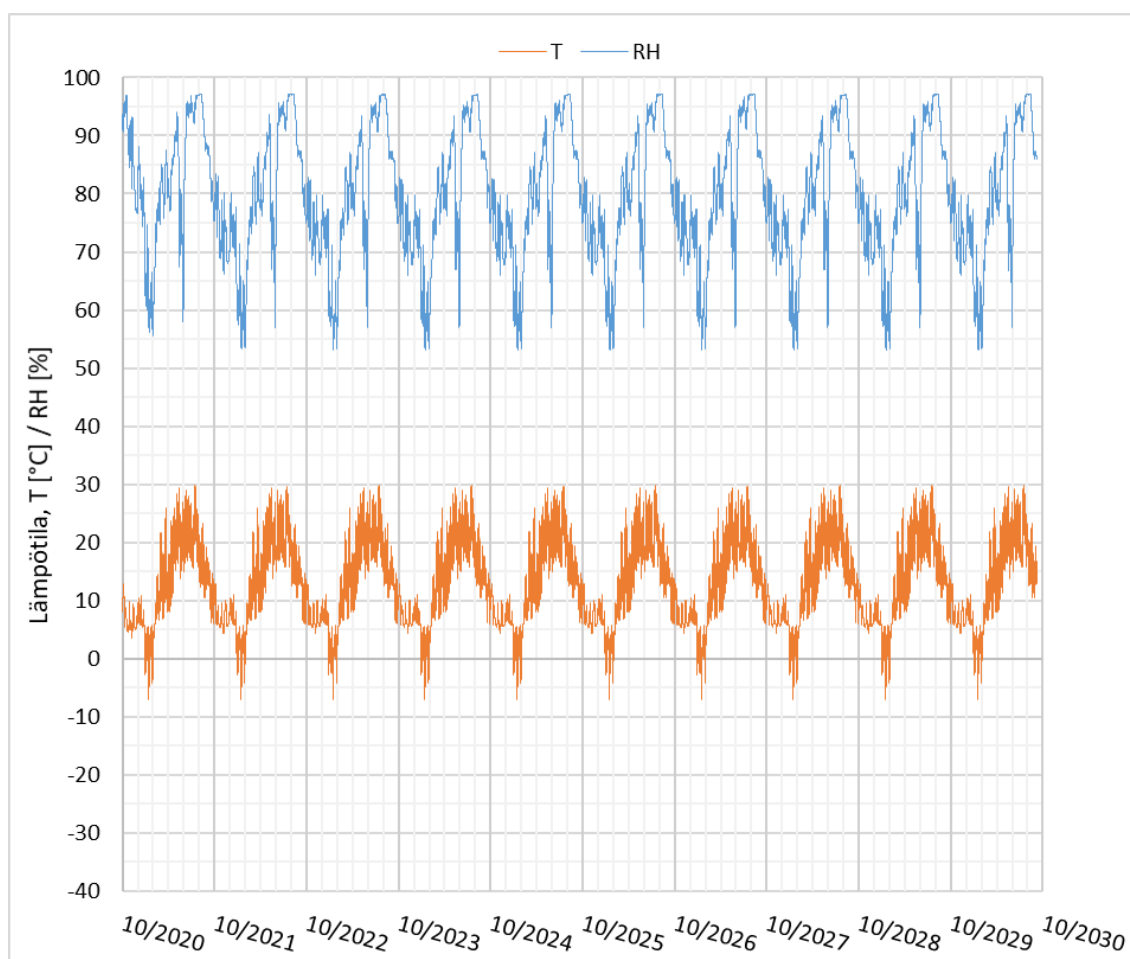
KUVIO 94. Tuulensuojavillan ulkopinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Homemallin avulla analysoituna molemmissa ilmastoissa homeen kasvu on mahdollista tuulensuojavillan ulkopinnassa. Vuoden 2007 ilmastossa maksimiarvo 2,97 saavutetaan noin 5 vuoden kuluessa. Vuoden 2100 ilmastossa maksimiarvo on 3,25 ja näkyvää homeen kasvua indikoiva arvo 3 saavutetaan jo kahden vuoden jälkeen, maksimiarvo noin kolmessa vuodessa. Tuuletusraon sisäpinta on ulkoilmaa vasten oleva rakenne, jossa mahdollista homeen kasvua voidaan pitää luonnollisena. (RIL 250-2020, 234).

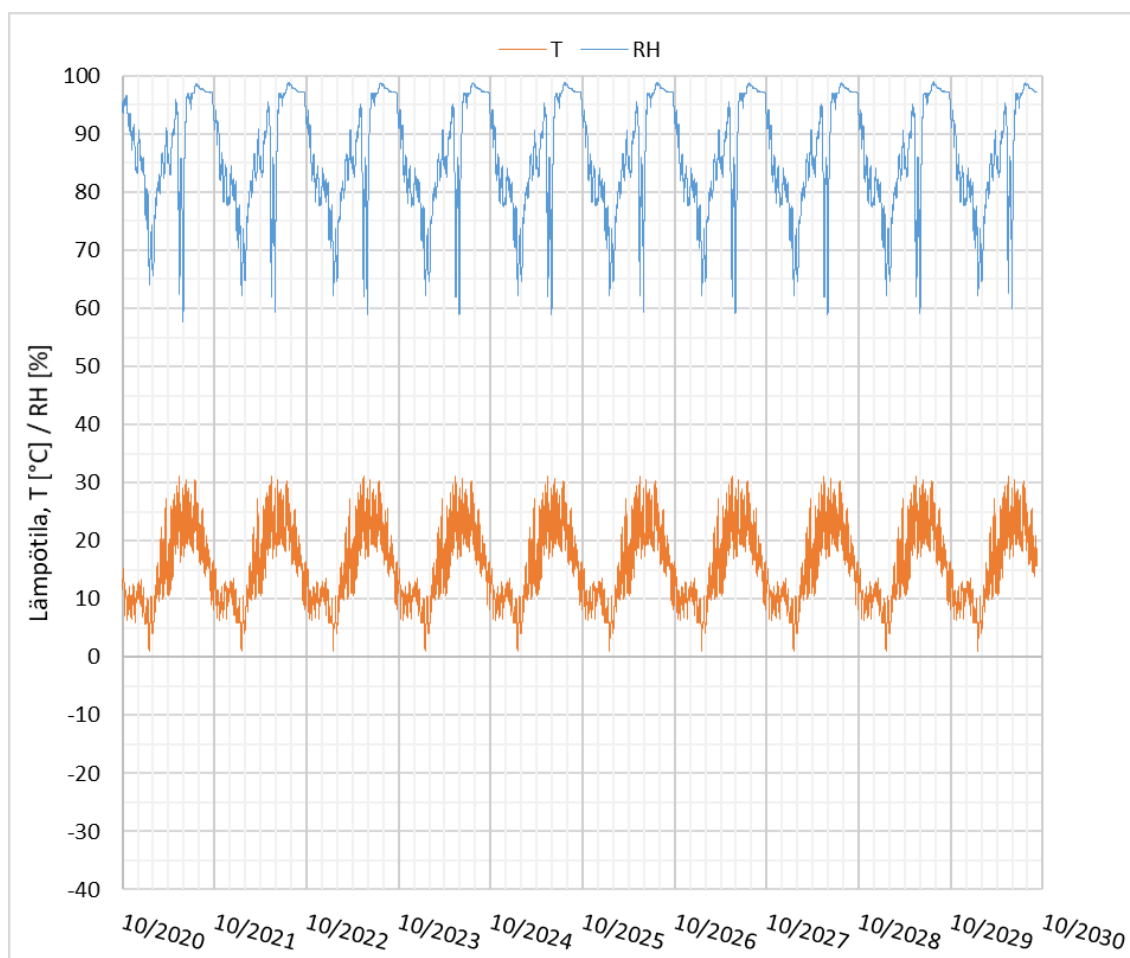
6.5.4 Tarkastelupiste 3 tuulensuojaeristeen sisäpinta

Kuorimuuratun rakenteen tuulensuojaeristeen sisäpinnassa, lämmöneristeen rajapinnassa olevalla tarkastelupisteellä tutkittiin mahdollista kosteuden tiivistymistä, lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ja homeen kasvun mahdollisuutta.

Alla lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2007 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

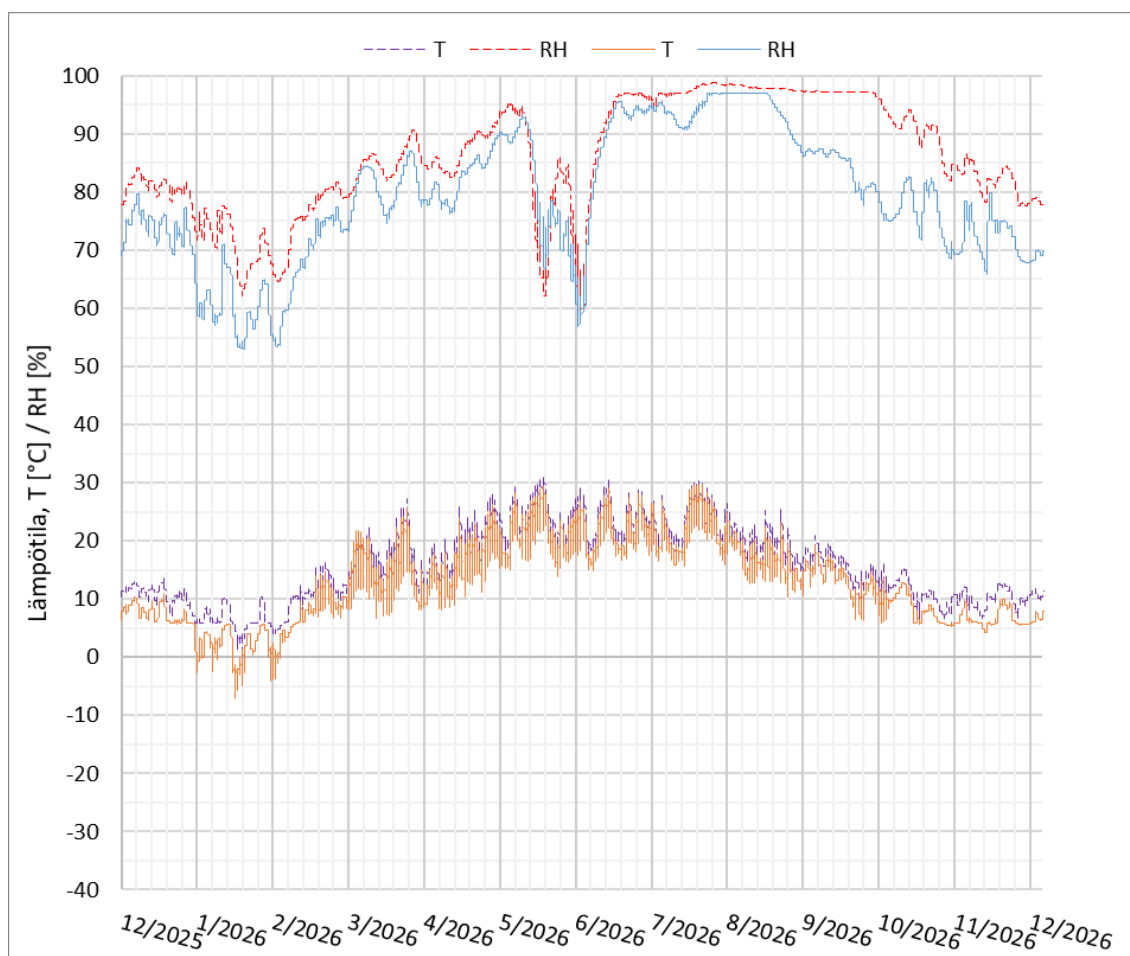


KUVIO 95. Tuulensuojaeristeen sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2007 ilmastossa.



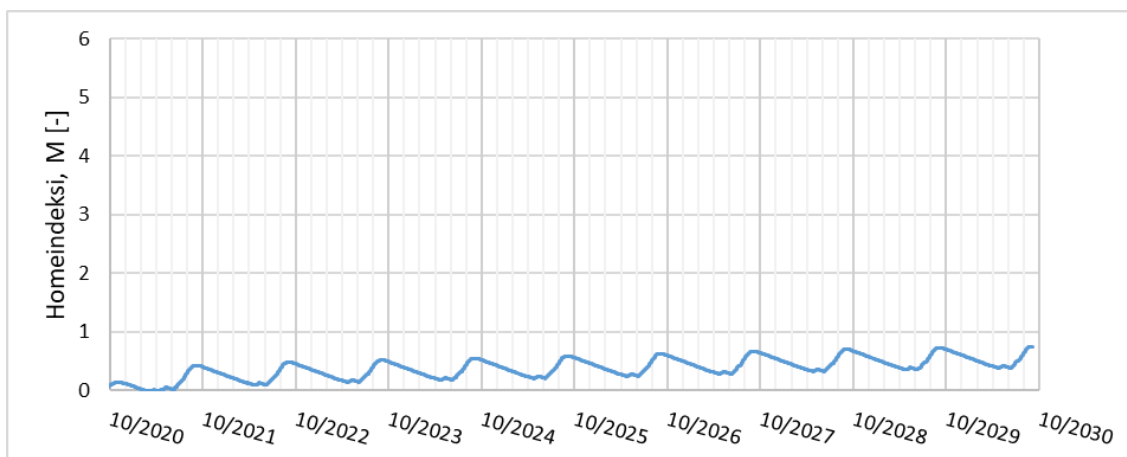
KUVIO 96. Tuulensuojaeristeen sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden 2100 ilmastossa.

Kuvaajista nähdään, että tuulensuojaeristeen ja lämmöneristeen rajapinnassa suhteellinen kosteus on korkealla molemmissa ilmastoissa. Laskennallisen tarkastelun perusteella kosteuspitoisuus on merkittävästi suurempi tulevaisuuden ilmastossa. Suhteellinen kosteus 90 % saavutetaan vuoden 2007 ilmastossa 23 % laskentapisteistä, vuoden 2100 ilmastossa taas 42 % laskentapisteistä.

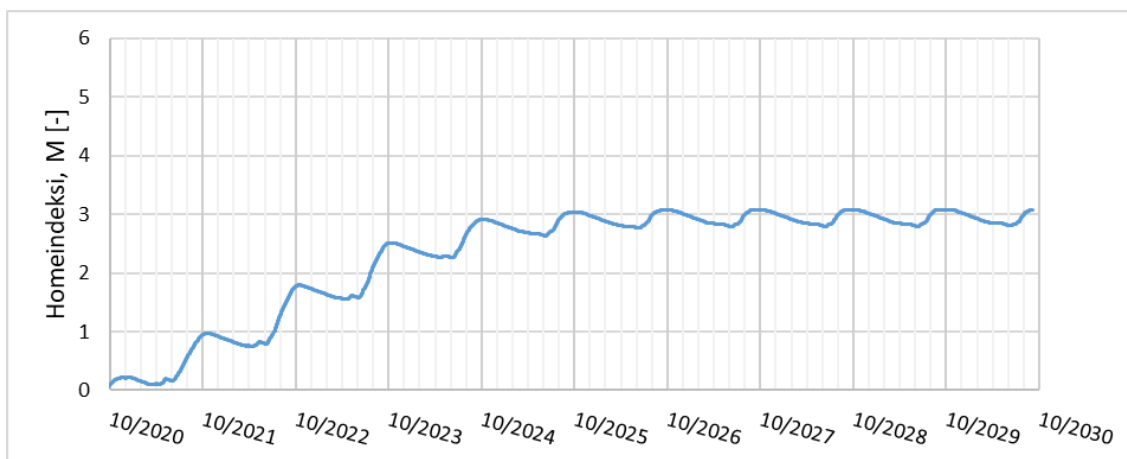


KUVIO 97. Tuulensuojaeristeen sisäpinnan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Vuoden tarkastelujakson kuvaajasta nähdään tulevaisuuden ilmastossa suhteellisen kosteuden olevan huomattavasti korkeammalla etenkin loppukesästä ja syyskaudella. Talvikaudella ja keväällä on myös nähtävissä selkeä nousu suhteellisessa kosteudessa. Loppukesän korkeampi kosteus johtuu tiilimuurauksessa olevasta runsaasta kosteudesta ja ulkoseinärakenteen lämpenemisestä mikä lisää haihdutusta ja vesihöyryn osapainetta aiheuttaen diffuusiovirran kohti rakennuksen sisäpuolta. Lämpötilat ovat tulevaisuudessa etenkin talvikaudella nykyistä korkeampia myös tuulensuojavillan sisäpinnassa. Homeen kasvua analysoidaan homemallin avulla alla.



KUVIO 98. Tuulensuojavillan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



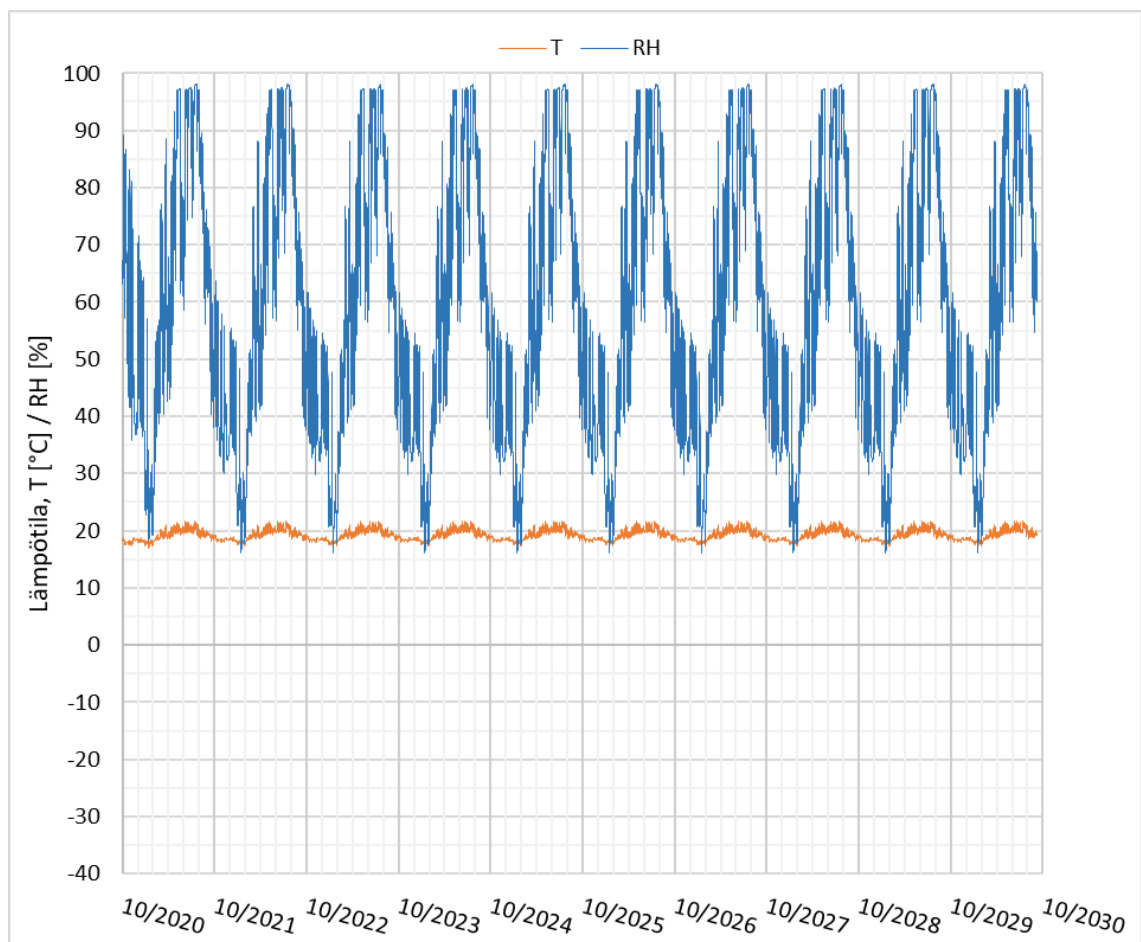
KUVIO 99. Tuulensuojavillan sisäpinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Vuoden 2007 ilmastossa homeindeksi kasvaa hitaasti ja saavuttaa kymmenessä vuodessa maksimiarvon 0,662. Indeksien kasvu ei ehdi tasaantumaan tarkastelujakson aikana. Vuoden 2100 ilmastossa homeindeksi kasvaa nopeammin ja saavuttaa maksimiarvon 3,072 viiden vuoden kuluttua, jolloin tuulensuojaeristeen sisäpinnassa voi esiintyä silmin nähtävää homeen kasvua. Eristekerroksessa sallittuna homeindeksinä pidetään arvoa <1 .

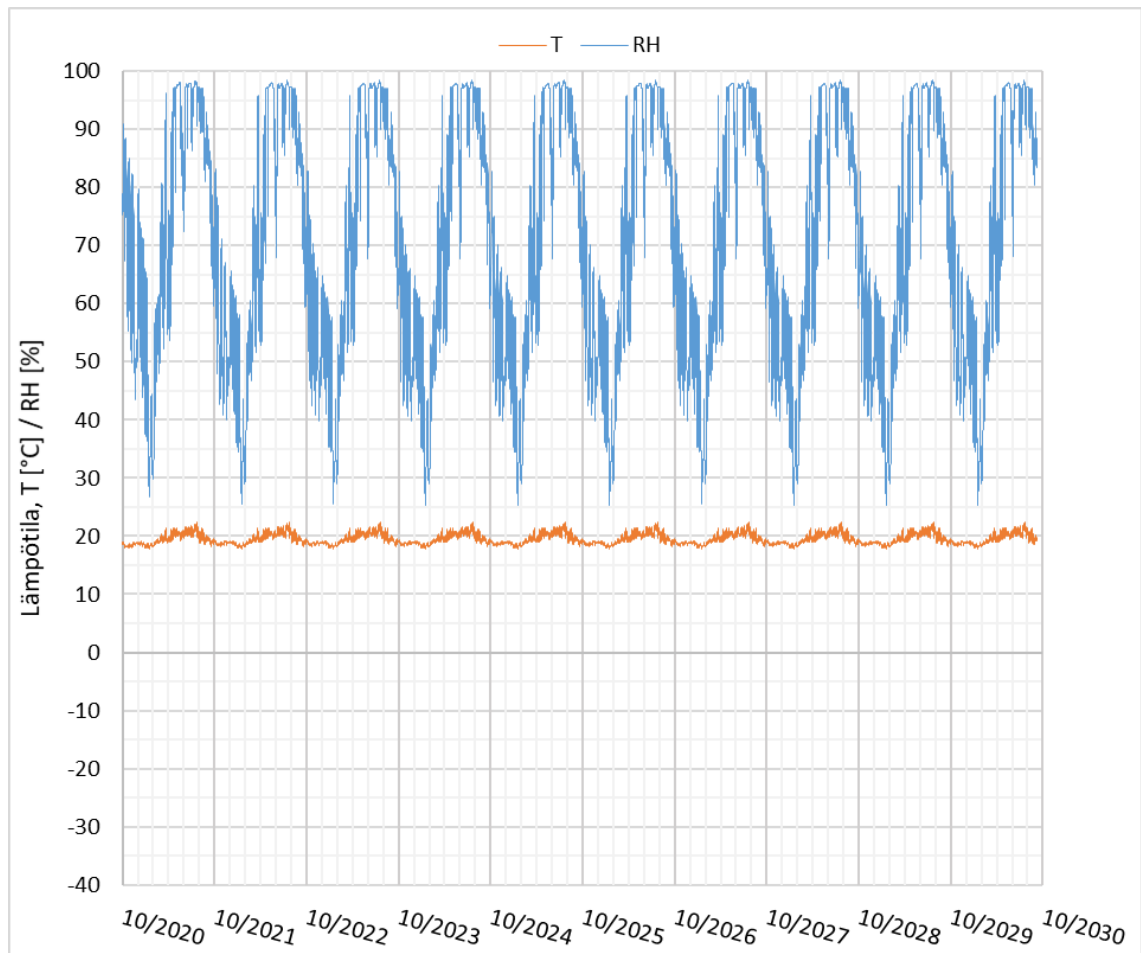
6.5.5 Tarkastelupiste 4 mineraalivillan sisäpinta

Mineraalivillan sisäpinnassa, villan ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa tutkittiin olosuhteita homeen kasvun kannalta.

Alla lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan sisäpinnassa 10 vuoden tarkastelujaksolla vuosien 2004 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

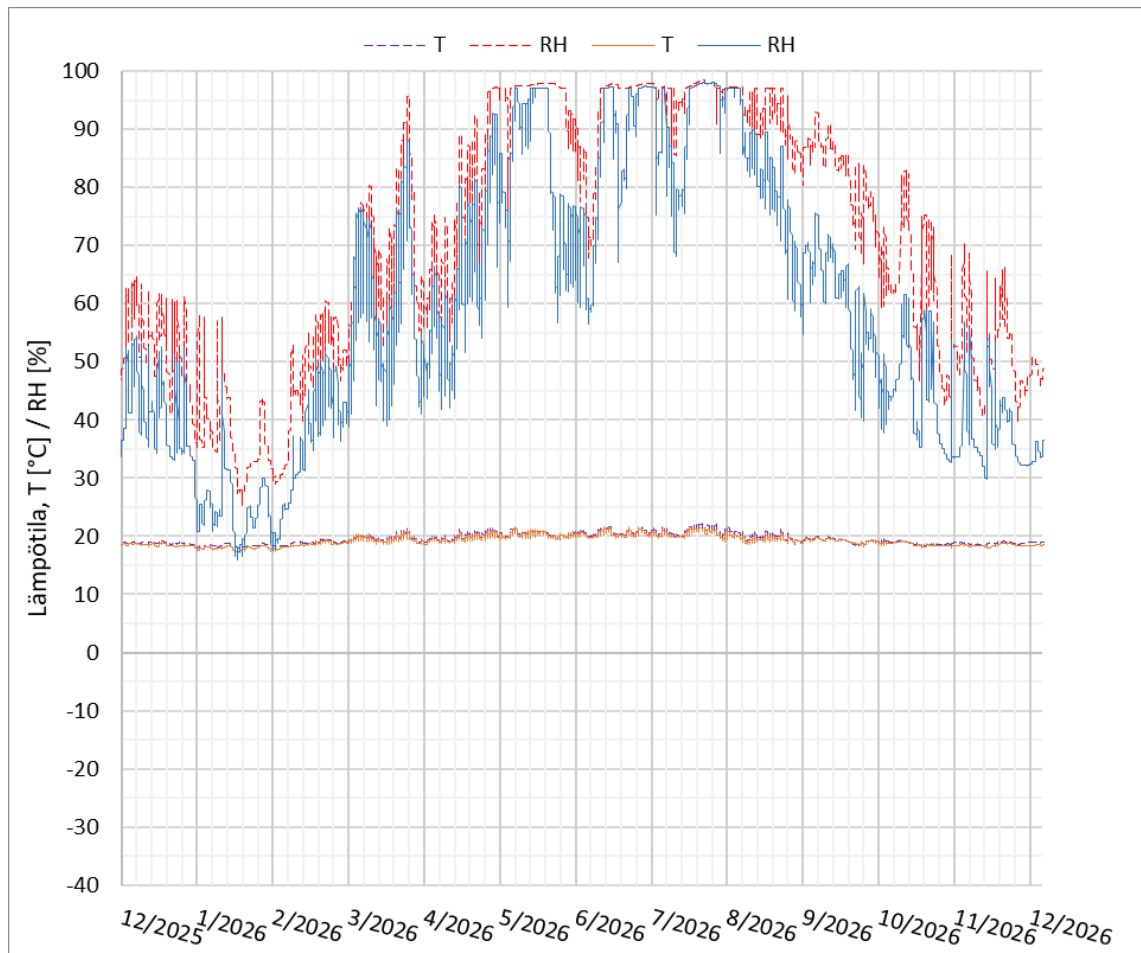


KUVIO 100. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ja betonin rajapinnassa vuoden 2007 ilmastossa.



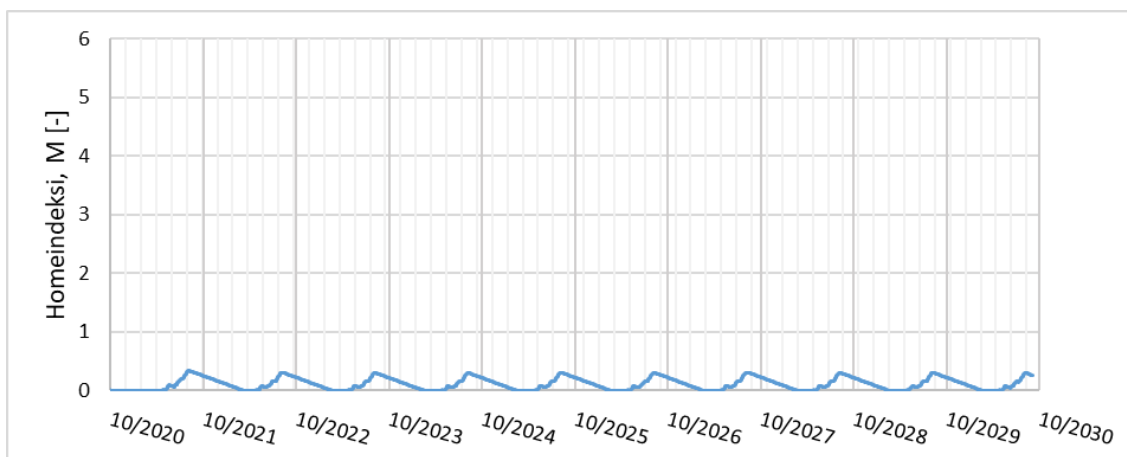
KUVIO 101. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mineraalivillan ja betonin rajapinnassa vuoden 2100 ilmastossa.

Lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa suhteellinen kosteus käy ajoittain korkealla molemmissa ilmastoissa. Tulevaisuuden ilmastossa laskennallisen tarkastelun perusteella suhteellinen kosteus 90 % ylitetään 28 % laskentapisteistä, kun vastaava luku nykyilmastossa on 15 %. Suhteellinen kosteus pysyy korkealla merkittävästi pidempään tulevaisuuden ilmastossa.

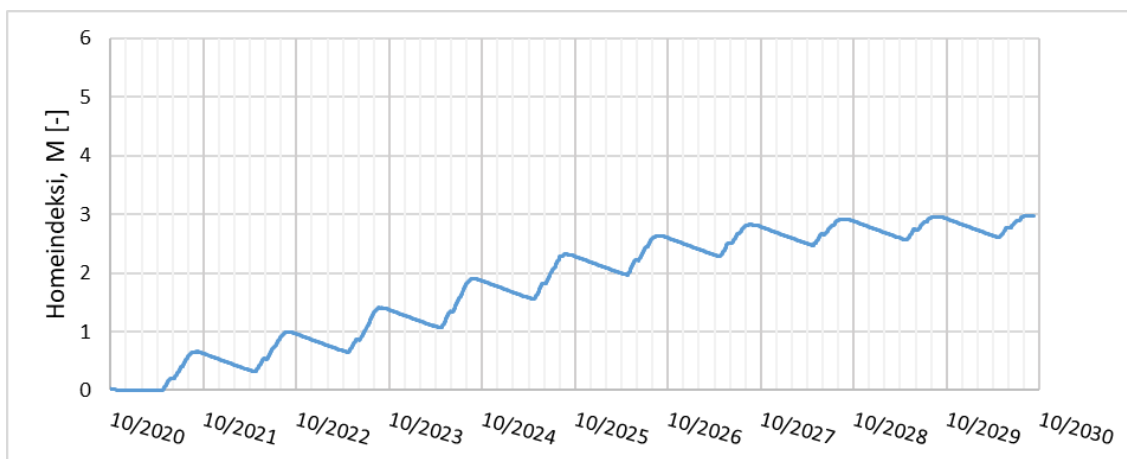


KUVIO 102. Lämpötila ja suhteellinen kosteus lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa vuosien 2007 (yhtenäiset viivat) ja 2100 (katkoviivat) ilmastoissa yhden vuoden ajalta tarkastelujaksolla.

Yhden vuoden kuvaajasta nähdään myös selvästi suhteellisen kosteuden nousu tulevaisuudessa. Loppukesästä keväälle saakka suhteellinen kosteus on selvästi korkeammalla vuoden 2100 ilmastossa. Tiilimuurauksen suuri kosteuspitoisuus ja diffuusiovirta kohti rakennuksen sisäpuolta aiheuttaa kosteuden nousun.



KUVIO 103 Lämmöneristeen sisäpinnan homeindeksi vuoden 2007 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.



KUVIO 104 Lämmöneristeen sisäpinnan homeindeksi vuoden 2100 ilmastossa, HHL 3, taantumakerroin 0,1 vähäinen taantuma.

Homeindeksin osalta nähdään merkittävä kohoaminen ilmastonmuutoksen myötä. Vuoden 2007 ilmastossa homeindeksi jää alhaiselle tasolle, maksimin ollessa 0,33. Tulevaisuuden ilmastossa homeindeksi saavuttaa maksimilukeman 2,90 noin 7 - 8 vuoden kuluessa laskennan alusta. Tulevaisuuden ilmastossa on mahdollista, että lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa esiintyy silmin nähtävää homekasvua ja selvästi mikroskoopilla nähtäviä kasvustoja. Eristekerroksessa sallittuna homeindeksinä pidetään arvoa <1 .

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Eristerapatut julkisivujärjestelmät

Tutkimuksen perusteella ohutrappaus-eristejärjestelmällä toteutetun ulkoseinärakenteen rakennusfysikaalisessa toiminnassa on puutteita jo nykyisessä ilmastossa ja tulevaisuuden olosuhteissa tämä korostuu. Nykyolosuhteissa rappauspinnoille voi vuosien saatossa ilmaantua mikroskoopilla havaittavia homekasvustoja, tulevaisuudessa silmin nähtäviä kasvustoja voi ilmestyä julkisivupinnoille jo kolmessa vuodessa. Julkisivuilla voi esiintyä myös leväkasvustoja ja erilaisia mikrobeja. Ohutrappauksen ja villan rajapinnassa olosuhteet ovat otolliset homeen kasvulle ja näkyvää kasvustoa voi homeindeksin perusteella ilmaantua nykyilmastossa noin 3 - 4 vuoden kuluessa ja tulevaisuudessa jo kahdessa vuodessa.

Myös paksurappaus-eristejärjestelmän rakennusfysikaalinen toiminta on puutteellista. Rappauspintaan ei nykyilmastossa pääse muodostumaan kasvustoja, mutta tulevaisuuden ilmastossa rasiustaso on suurempi ja noin viiden vuoden kuluttua laskennan alusta julkisivupinnoilla voi olla näkyviä homekasvustoja. Rakenteen herkin paikka homeen kasvun kannalta on lämmöneristeen ja rappauskerroksen rajapinta. Jo nykyilmastossa rajapinnassa voi olla näkyviä homekasvustoja kolmen vuoden kuluttua laskennan aloituksesta, tulevaisuudessa jo nopeammin kuin kahden vuoden kuluessa. Mineraalivillan ja sisäkuoren betonin rajapinnassa olosuhteet eivät mahdollista homeen kasvua kummassakaan tutkitussa rakenteessa.

Tutkitut rakenteet ovat ideaaleja rakenteita, joissa kaikki rakennekerrokset jatkuvat ilman saumoja tai rajapintoja. Todellisuudessa etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmässä rakenne on melko herkkä mekaanisille vaurioille ja rakennusvirheille, jolloin ohutrappauksessa on usein halkeamia tai muita vauriota, joiden kautta viistosade voi päästä rakenteen sisälle. Kastuneen rakenteen kuivuminen ulospäin tiiviin ohutrappauksen lävitse on hidasta. Vaurioituneessa rakenteessa voivat olosuhteet olla nyt tutkittua huomattavasti otollisemmat homeen

kasvulle. Paksurappaus-eristejärjestelmässä rappauksen helposti vettä imevä jalolaastipinnoite mahdollistaa kosteuden siirtymisen syvemmälle rakenteeseen, toisaalta taas kuivuminen on ohutrappaus-eristejärjestelmää nopeampaa laastin ja pinnoitteen suuremman vesihöyrynläpäisevyyden ansiosta.

Rakenteissa voi tutkimuksen perusteella esiintyä homekasvustoja rappauksen ja lämmöneristeen rajapinnassa molemmissa tutkituissa eristerappausjärjestelmissä. Mahdollista homeen kasvua eristekerroksessa ei nykyohjeistuksen mukaan tulisi sallia avuhuokoisessa lämmöneristeessä, vaan tavoitteena on homeindeksin taso $<1,0$. Rakenteissa eristekerroksen sisällä on myös puisia ikkunan apukarmeja ja muita rakenteita, jotka ovat homeen kasvulle huomattavasti mineraalivillaa herkempiä. Tutkituissa eristerappausjärjestelmissä taustarakenteena on betoninen sisäkuori, mikä on lähtökohtaisesti kohtalaisen tiivis rakenne. Ilmavuodot eristetilasta sisäilmaan voivat tapahtua lähinnä elementtisaumojen epätiivelyskohdista, sisäkuoren halkeamien kautta tai ikkunoiden ja ovien karmiväleistä. Mahdollisen homeenkasvun aiheuttaman haitan suuruus pitää arvioida tapauskohtaisesti.

Rakennusfysikaalisessa mallinnuksessa käytetyt olosuhteet ovat rankat, rakennus on korkea, ilmansuunta etelään, viistosaderasitus ankara, eikä julkisivulla ole suojanaan räystäitä. Tutkituissa rasiustasoissa eristerappausjärjestelmien toimivuus uudisrakennuksen ulkoseinärakenteena on heikko. Tutkimusten tulosten perusteella rakenteita ei voi suositella käytettäväksi näissä olosuhteissa.

Mikäli tutkittua ohutrappaus- tai paksurappaus-eristejärjestelmää käytetään tulevaisuudessa rakennuksen ulkoseinärakenteena, tulee sen toiminta tutkia rakennusfysikaalisen mallinnuksen avulla. Mallinnukset tulee tehdä rakennukseen kohdistuvien rakennuspaikan mukaisten rasiustasojen ja ilmasto-olosuhteiden mukaisesti käyttäen tulevaisuuden testi-ilmastoja. Mahdollisesti vähemmän rasiitetuilla alueilla, ja kohtalaisen matalassa, räystäillä suojatussa rakennuksessa rakenteen toiminta voi olla riittävän hyvällä tasolla. Huolellisesti suunniteltu ja toteutettu detaljiikka, niin ulkovaipparakenteissa kuin rakenneliitoksissa on kuitenkin edellytys rakenteen toimivuuden varmistamiseksi.

Pohdittavaksi tulee myös, voidaanko homeen kasvu eristeen ulkopinnassa sallia, mikäli varmistetaan sisäkuoren riittävä tiiveys. Toisaalta homeen kasvulle suotuisat olosuhteet eivät kuitenkaan automaattisesti tarkoita homeen kasvua. Uusimpien ohjeiden mukaan eristerappausjärjestelmää mineraalivillaeristeellä ei tulisi käyttää nykyisillä toteutustavoilla (RIL 250-2020, 137). Tässä tutkimuksessa saadut tulokset antavat saman suuntaisia johtopäätöksiä.

7.2 Tuulettuva levyrappaus ja levyverhous

Levyrapattu ja levyverhottu tuulettuva julkisivurakenne toimii tutkimuksen mukaan rakennusfysikaalisesti huomattavasti tuulettumattomia rakenteita varmemmin. Hyvin toimiva tuuletusrako pystyy kuivattamaan rakenteita tehokkaasti ja jopa avosaumainen levyverhottu rakenne, johon mallinnettiin osa viistosateen kosteusrasituksesta tuuletusraon ulkopintaan, toimii tutkimuksen perusteella varsin hyvin.

Homeen kasvulle suotuisat olosuhteet tarkastelluissa rakenteissa syntyivät ainoastaan levyrappausjärjestelmässä tuulensuojakipsilevyn sisäpintaan tulevaisuuden ilmastossa. Olosuhteet mahdollistavat mikroskoopilla havaittavan homeen kasvun jo ensimmäisen vuoden aikana tarkastelujaksolla. Nykyilmastossa tuulensuojakipsilevyn sisäpinnassa ei pitkällä aikavälillä ole merkittävää homeen kasvua. Tuulensuojalevyn materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi homeen kasvuherkyyteen ja oikealla materiaalivalinnalla homeen kasvu tulevaisuuden ilmastossa voidaan estää.

Rakenteet ovat tehdyissä mallinuksissa ideaaleja, joten mahdolliset vauriot, rasitusta pistemäisesti lisäävät heikosti suunnitellut detaljit tai rakennusvirheet eivät näy tuloksissa. Verhoilun epäjatkuvuus tai heikosti toteutetun detaljin vuoksi pistemäisesti keskittynyt kosteusrasitus voi aiheuttaa paikallisesti tutkitusta poikkeavia tuloksia.

Tuulettuvan levyverhouksen tai levyrappauksen toiminnan lähtökohtana on hyvin toimiva ilmanvaihto tuuletusraossa. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota tuuletuksen toimivuuteen julkisivujen aukotusten ympärillä, erilaisten katosten ja erkereiden kohdalla sekä kaikissa rajapinnoissa. Levyverhottuun julkisivurakenteeseen saadaan lisää varmuutta käyttämällä saumalistoja tai -profilleita, jolla varmistetaan rakenteen sadevedentiiveys. Tuulensuojarakenne kannattaa valita siten että se kestää mahdolliset vuotovedet, ei ole herkästi homehtuva ja on helpposti kuivuva. Mikäli julkisivu vaaditaan tehtäväksi rapattuna, on tuulettuva levyrappaus tulevaisuuden ilmastossa rakennusfysikaalisesti varmin vaihtoehto.

7.3 Kuorimuuraus

Tutkittu kuorimuurattu julkisivurakenne on rakennusfysikaaliselta toimivuudeltaan jo nykyilmastossa kyseenalainen. Runsaasti vettä imevä tiilimuuraus aiheuttaa rakenteen sisäosille suuren kosteusrasituksen etenkin loppukesästä ja syyskaudella. Tutkimuksen perusteella homeen kasvulle otollisia olosuhteita ei nykyilmastossa ilmene lämmöneristeen sisäosissa, kun materiaalina on mineraalivilla. Tuulensuojavillan sisäpinnassa sekä lämmöneristeen ja betonisisäkuoren rajapinnassa on kuitenkin jo nykyilmastossa homeen kasvulle suotuisat olosuhteet, mikäli rakenteessa oleva materiaali on tutkittua herkempää homeen kasvulle. Riski kohdistuu rakenteessa etenkin ikkunoiden puisiin karmirakenteisiin.

Tulevaisuuden ilmastossa rasitukset ovat huomattavasti suurempia ja rakenteen toimivuus heikkenee entisestään. Tuulensuojaeristeen ja lämmöneristeen rajapinnassa on tulevaisuuden ilmastossa homeen kasvulle otolliset olosuhteet ja mineraalivillassa voi olla silmin nähtävää kasvustoa jo neljässä vuodessa. Lämmöneristeen ja betonisen sisäkuoren rajapinnassa tulevaisuuden ilmastossa homeindeksi kasvaa tasaisesti koko tarkastelujakson ja hyväksyttävä taso <1 ylitetään jo vuodessa.

Tiilimuuratulla rakenteella kosteuden siirtyminen tiilestä, muurauksen saumoista ja halkeilusta tuuletusrakoon on hyvin runsasta. Tuuletusraossa ilmanvaihtuvuus on hidasta verrattuna levyverhottuun ja levyrapattuun julkisivuun ja tuuletuvuutta heikentää vielä usein tuuletusraossa olevat laastipurseet. Tutkimuksessa käytetty ilmanvaihtuvuuden arvo 25/h on melko optimistinen. Pienemällä ilmanvaihtuvuudella rakenteen kosteustekninen toiminta on tutkimuksen tuloksia heikompaa.

Rakenteen toimivuutta parantamaan on esitetty kirjallisuudessa kaksinkertaista tuuletusrakoa ja niin sanottua sadetakkipeltiä. Tiiliverhouksen taakse tehdään tuuletusrako, peltilevy ja levyn taakse toinen tuuletusrako, jonka sisäpuolella on toimiva tuulensuojarakenne. Rakenteella estetään kosteuden siirtyminen kuorimuurauksesta kohti rakenteen sisäosia. Toimivuuden edellytyksenä on hyvä ilmanvaihtuvuus molemmissa tuuletusraoissa. Ratkaisu on todennäköisesti kustannuksiltaan melko kallis, toisaalta sadetakkipelti toimii rakennusaikaisena sääsuojana.

Tutkimuksen perusteella kuorimuurin käyttö tulevaisuuden ilmastossa edellyttää huolellista suunnittelua ja ratkaisuja, joilla vähennetään tai estetään kosteuden siirtymistä rakenteen sisäosiin. Detaljiikka tulee suunnitella huolellisesti, jotta rakenteeseen ei synny keskitettyä kosteusrasitusta. Rakenne olisi myös syytä tarkastella rakennusfysikaalisen mallinnuksen avulla tulevaisuuden ilmastossa niissä paikallisissa olosuhteissa mitkä rakennuskohteeseen kohdistuvat.

8 POHDINTA

Tutkimuksen aikana saatiin muodostettua hyvä käsitys tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa toimivista ja toisaalta riskialttiista julkisivurakenteista. Tulosten perusteella ehdotettiin toimivia käytäntöjä suunnitteluvaiheeseen eri rakennerratkaisuille ja rajauksia rakenteiden käytettävyyteen. Tutkimuksen tuloksia käytetään A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n julkisivurakenteita koskevan sisäisen suunnitteluohjeen luomisessa. Tutkimuksessa saatiin tietoa, jonka perusteella eri rakenteiden rajoitteet voidaan tuoda rakennushankkeen tilaajan tietoon heti hankkeen alusta. Tutkimuksessa kohosi esille myös lisätutkimustarpeita; etenkin eristerapattujen julkisivujen eristeen ja rappauksen rajapinnassa olosuhteet ovat otollisia homeen kasvulle, mutta homeen esiintymisen laajuutta olemassa olevissa kohteissa tai tästä aiheutuvaa riskiä sisäilman laadulle ei ole kattavasti selvitetty.

Työn luotettavuuteen vaikuttavat ohjelmiston rajoitteet, materiaalitietojen oikeellisuus ja mallinnuksessa tehdyt valinnat, joilla on suora vaikutus laskentaan. Kaikki tehdyt valinnat on pyritty perustelemaan kirjallisuuslähteillä ja näin minimoimaan vaikutus luotettavuuteen. Mallinnukset on tehty valituilla ilmastoilla kohteeseen, jossa rakennuksen korkeudella ja räystäättömyydellä ohjelmistossa pyrittiin maksimoimaan julkisivurakenteen rasitustasot. Rakennusfysikaalisessa laskennassa ei käytetä kantavien rakenteiden suunnittelun kaltaisia varmuuskertoimia, jolloin varmuutta voidaan saada lähinnä rasituksien valinnalla. Tämä ei aina vastaa todellista tilannetta. Työn tulokset koskevat vain tutkittuja rakenteita tutkituissa olosuhteissa edellä esitetyillä rajauksilla. Todellisen kohteen suunnittelussa tehdään vastaava tarkastelu lähempänä todellista rasitusympäristöä.

Rakennusfysikaaliset testivuodet perustuvat ilmastonmuutosskenaarioon A2, jonka lähtökohtana on vuoden 2000 hallitusten välinen ilmastopaneeli. Ilmaston seurannan perusteella on todettu, että muutos on ollut vielä tätä skenaariota nopeampaa ja jo nyt ilmaston olosuhteet ovat lähellä vuoden 2050 ilmastollisten

testivuosien olosuhteita. Käytännön työssä rakenteiden toimintaa nykyilmastossa tarkastellessa käytetäänkin tästä syystä työnantajallani vuoden 2050 testivuosia. Tämän perusteella rakennusfysikaalisten testivuosien päivittäminen olisi ajankohtaista.

LÄHTEET

Annala, P. ym. 2016. Tuulettuvat julkisivut 2016, by 64. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Lahdensivu, J. Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2010.

Lahdensivu, J., Annala, P. & Pikkuvirta, J. 2016. Eriste- ja levyrappaus 2016, by 57. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Mundt-Petersen, Olof. 2015 Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety. Lund University. Report TVBH-1021. Doctoral Thesis.

Mäkitalo M. 2012. Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Olsson, L. 2017. Rain intrusion rates at façade details – a summary of results from laboratory studies. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway. Viitattu 30.10.2020. https://www.researchgate.net/publication/319128333_Rain_intrusion_rates_at_facade_details_-_a_summary_of_results_from_four_laboratory_studies

Pakkala, T. 2020. Assessment of the Climate Change Effects on Finnish Concrete Facades and Balconies. Tampere: PunaMusta Oy. Väitöskirja.

Pakkala, T. 2020. Suomen olemassa oleva rakennuskanta joutuu koville ilmastomuutoksen vaikutuksesta. *Betoni-lehti* 2/2020, 84-9.

RASMI, Rakennetun ympäristön säätiedot muuttuvassa ilmastossa. Hankkeen tuloseseminaari 5.11.2020. Ilmatieteen laitos.

RIL 250-2020 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset 2014. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry

RT 103170. 2020. Ilmastomuutos. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. RT-ohjekortti. Rakennustieto Oy. Viitattu 8.10.2020. <https://korttitot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103170> RT-kortisto

Ruosteenoja, K. ym. 2013. Rakennusfysiikan testivuosiensa sääaineistot havaitussa ja arvioidussa tulevaisuuden ilmastossa. REFI-B-hankkeen tuloksia. Raportteja 2013:1. Helsinki, Ilmatieteen laitos.

Ruosteenoja, K. ym. 2013. Maailmanlaajuisiin CMIP3-malleihin perustuvia arvioita Suomen tulevasta ilmastosta. Raportteja 2013:4. Helsinki, Ilmatieteen laitos.

Ruosteenoja, K. ym. 2016 Climate Projections for Finland Under the RCP Forcing Scenarios. *Geophysica*, Volume 51, Issue 1: 17–50. Luettu 14.10.2020 http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf

Ruosteenoja, K. ym. n.d. Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot. Alustavia CMIP5-tuloksia. Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. Ilmatieteenlaitos. Luettu 9.10.2020. https://www.ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106

Ruosteenoja, K. ym. n.d. Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot. Alustavia CMIP5-tuloksia. Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia arvioita tuulen keskimääräisen nopeuden muuttumisesta. Ilmatieteenlaitos. Luettu 14.10.2020. https://www.ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=057c1e9d-a666-4478-a7ab-248244345188&groupId=30106

Vinha, J. ym. 2013 Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.

Wufi software, Fraunhofer Institute for building physics n.d. Luettu 8.9.2020. <https://wufi.de/en/software/>

LIITTEET

Liite 1. Ohutrappaus-eristejärjestelmä Wufi laskenta-asetukset

1 (18)

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

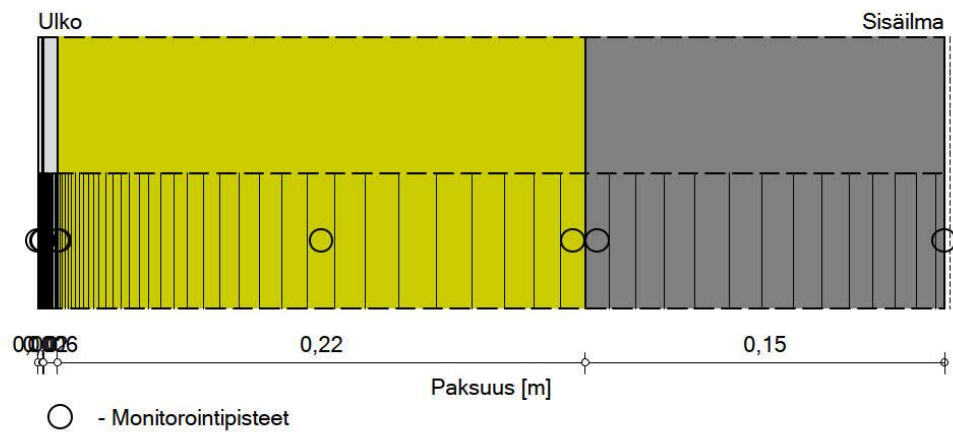
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Ohutrappaus-eristejärjestelmä, uudisrakentaminen
Päivämäärä 3.8.2020 8.20.27

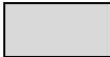



WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #1 uudisrakentaminen 2100 Vantaa



Materiaalit:

	- *Silikonihartsipinnoite	0,002 m
	- *Silikonihartsimaali 0.3mm	0,0 m
	- *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	0,006 m
	- *Mineraalivilla ohutrappaus (Rockwool facade batts)	0,22 m
	- *Betoni 2 (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

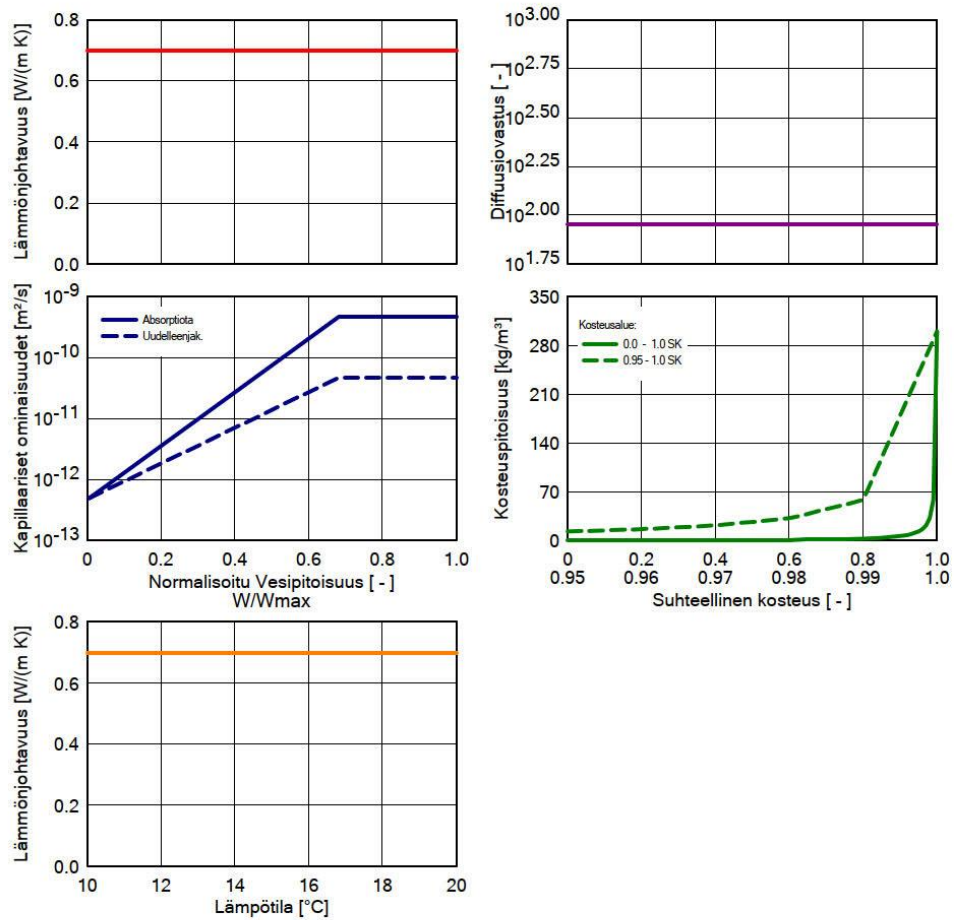
Kokonaispaksuus: 0,378 m

R-arvo: 5,72 (m² K)/WU-arvo: 0,169 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsipinnoite

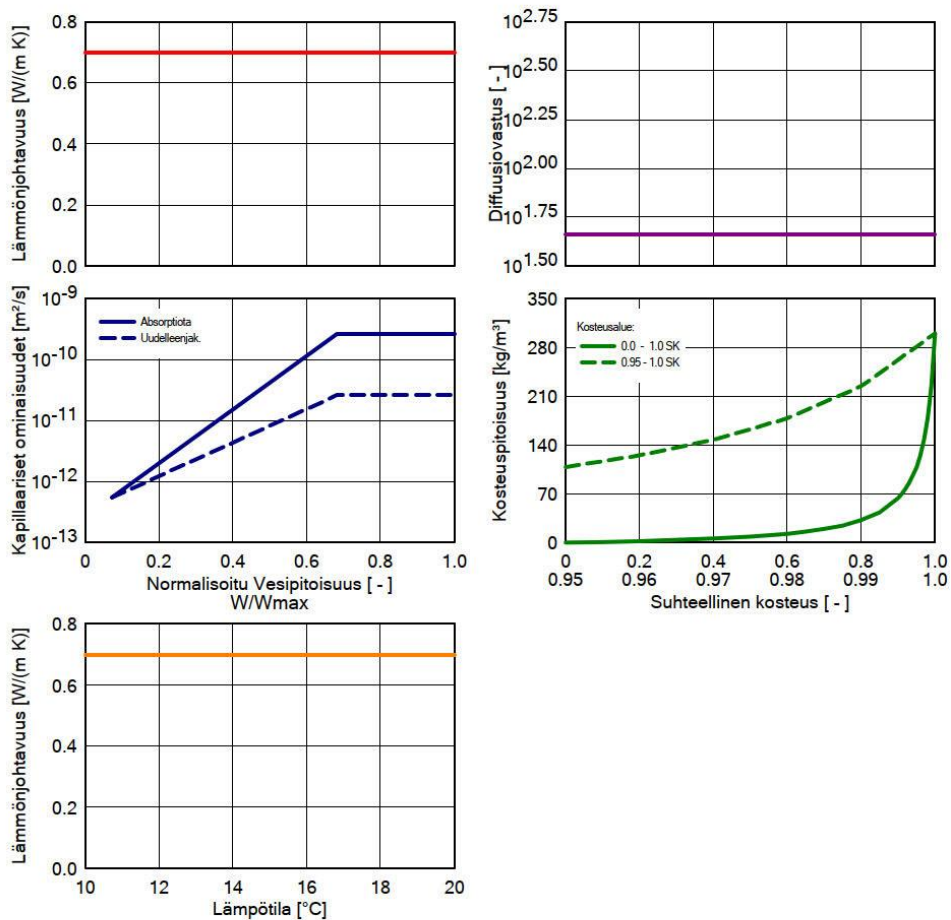
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	90
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	2,9
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,003333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsimaali 0.3mm

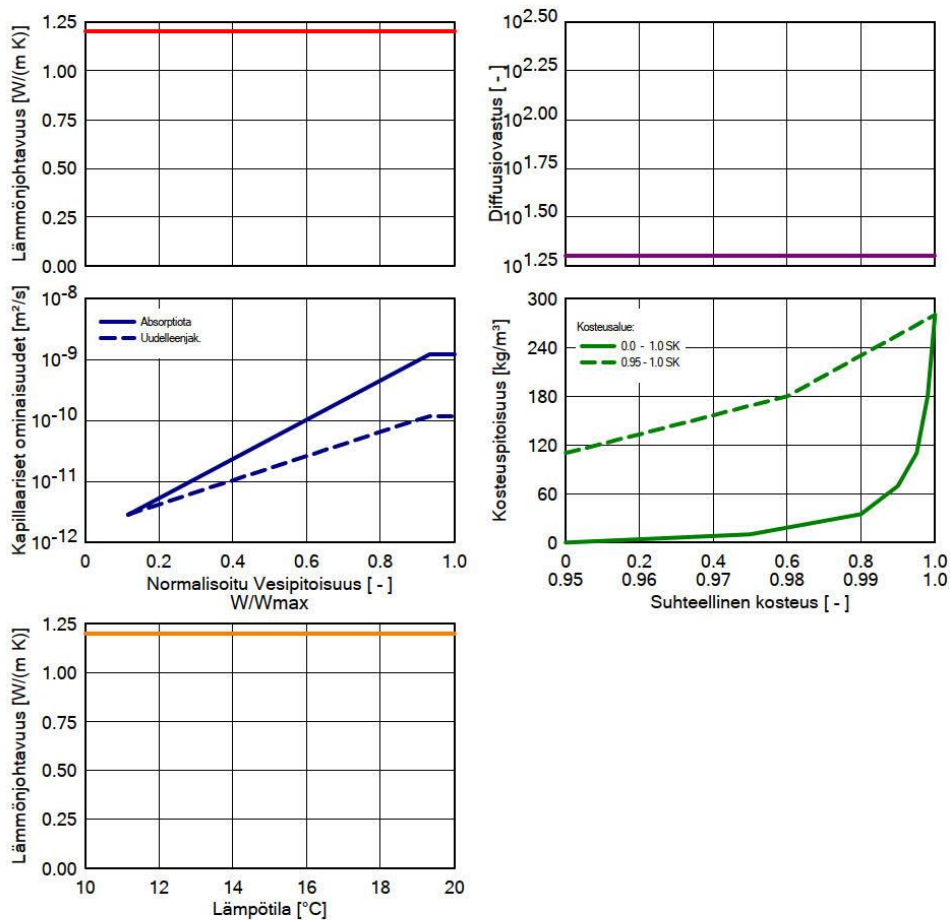
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	46
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	32
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,0025



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm

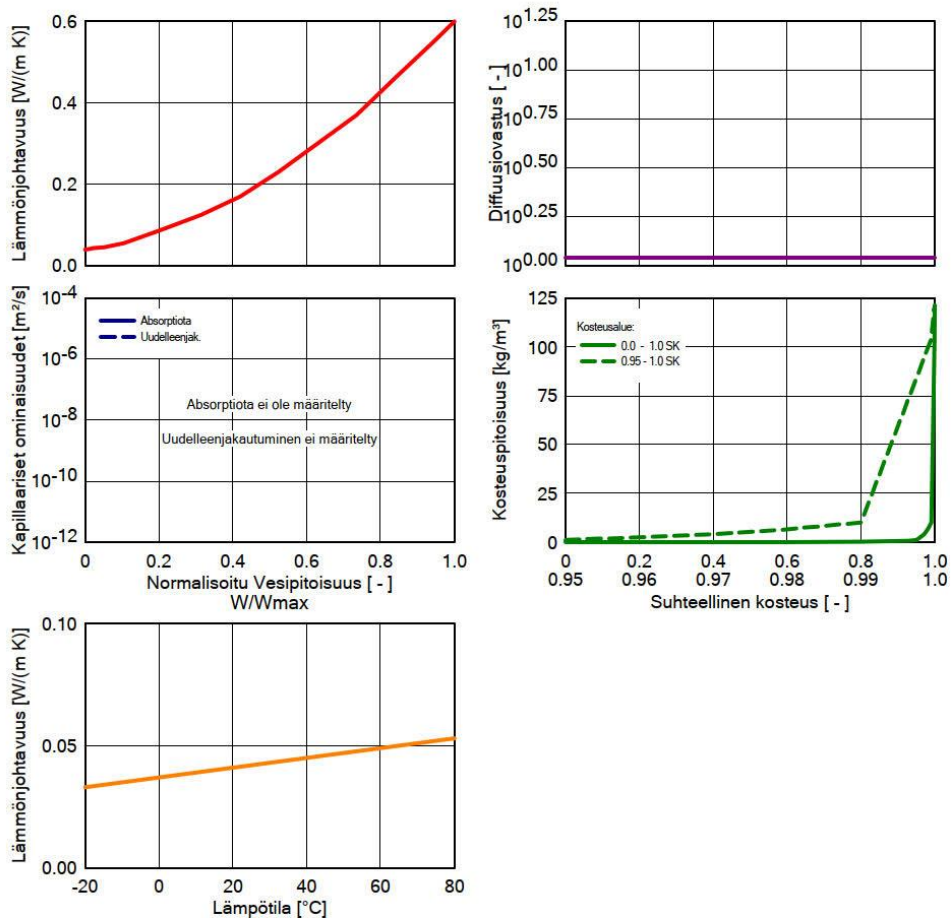
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.3
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.2
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	20
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	35,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	280,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,005



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Mineraalivilla ohutrappaus (Rockwool facade batts)

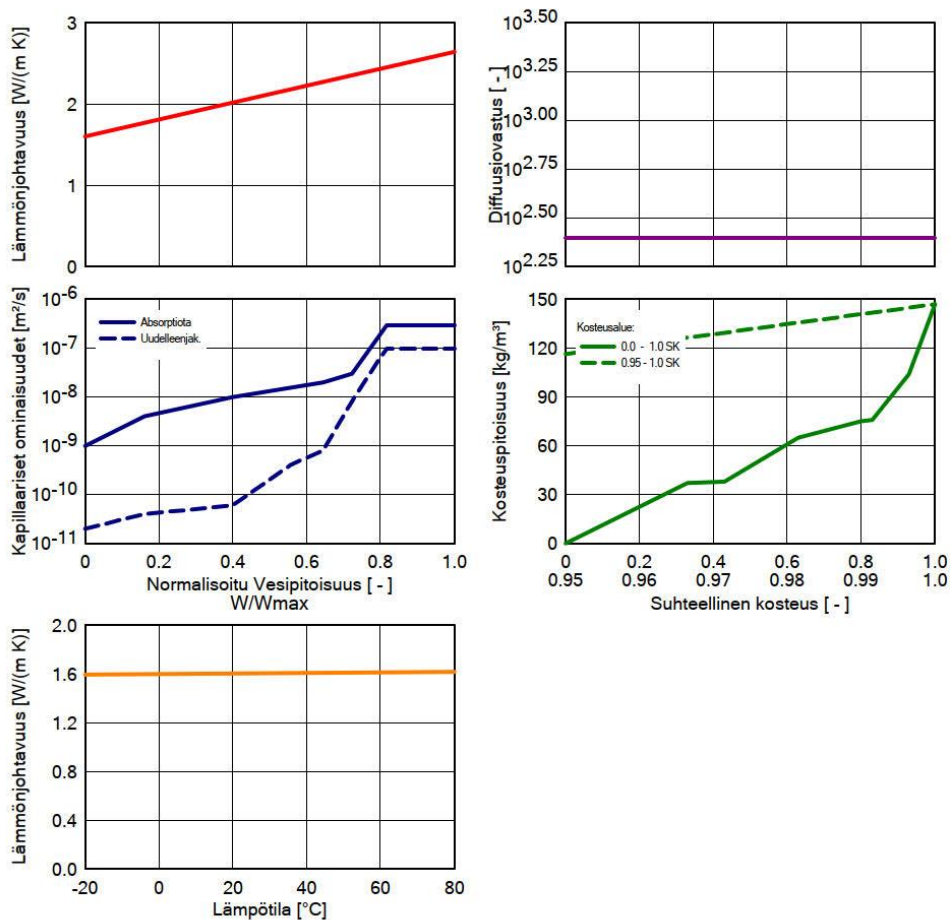
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	125
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.953
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1030
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.039
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.1
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Betoni 2 (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_A2-2100.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 21 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	0.4
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	13.11.2020 10.05.10
Laskennan kesto	4 min,23 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	196,27 -204,67
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	-1,22 -0,67
Tase 1	[kg/m ²]	-6,54
Tase 2	[kg/m ²]	-6,52

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	19,22	12,48	8,64	19,72

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Silikonihartsipinnoite	210,00	47,87	0,10	301,87
*Silikonihartsimaali 0.3mm	210,00	243,36	1,69	301,73
*Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	210,00	246,10	3,57	281,77
*Mineraalivilla ohutrappaus (Rockwool)	0,14	1,61	0,02	9,72
*Betoni 2 (C35/45)	116,29	69,87	56,55	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-10581,61
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-452,08
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-8,43
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	-1,71

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	0,0
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

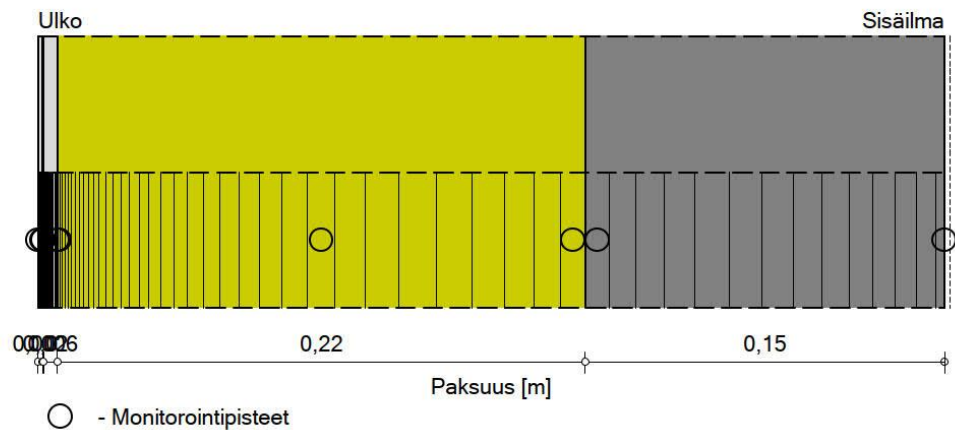
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Ohutrappaus-eristejärjestelmä, uudisrakentaminen
Päivämäärä 3.8.2020 8.20.27

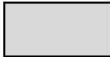




WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #2 uudisrakentaminen nykyilmasto Vantaa



Materiaalit:

	- *Silikonihartsipinnoite	0,002 m
	- *Silikonihartsimaali 0.3mm	0,0 m
	- *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	0,006 m
	- *Mineraalivilla ohutrappaus (Rockwool facade batts)	0,22 m
	- *Betoni 2 (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

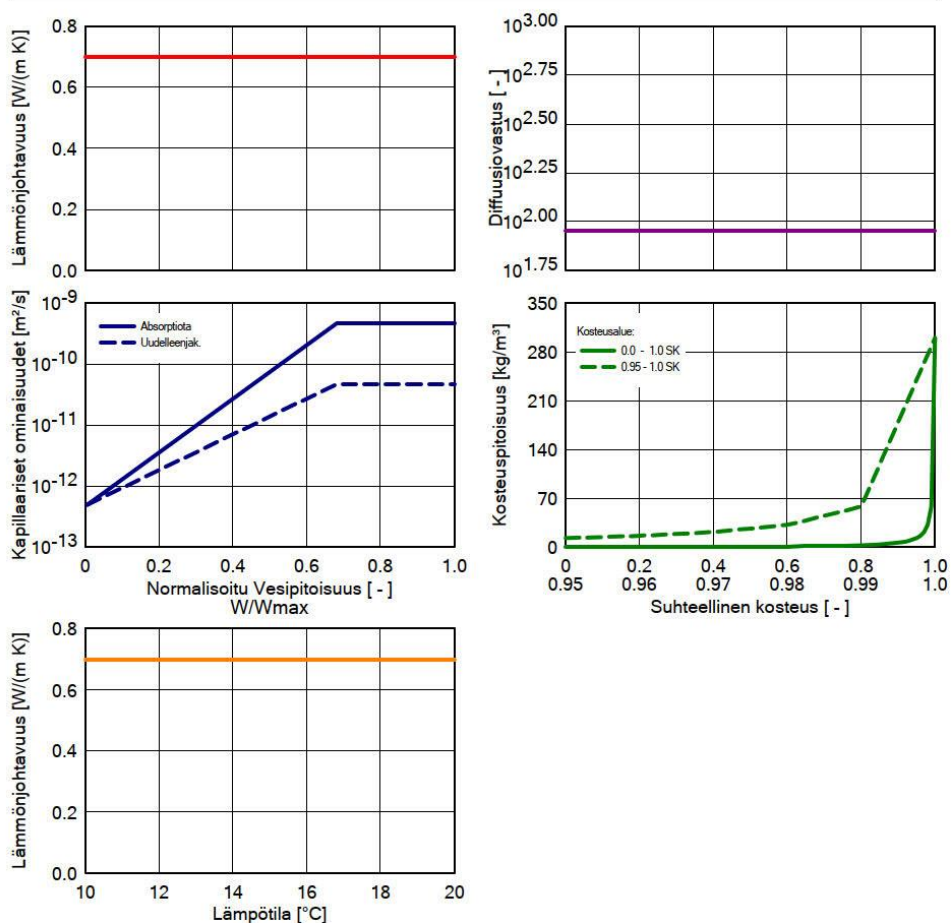
Kokonaispaksuus: 0,378 m

R-arvo: 5,72 (m² K)/WU-arvo: 0,169 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsipinnoite

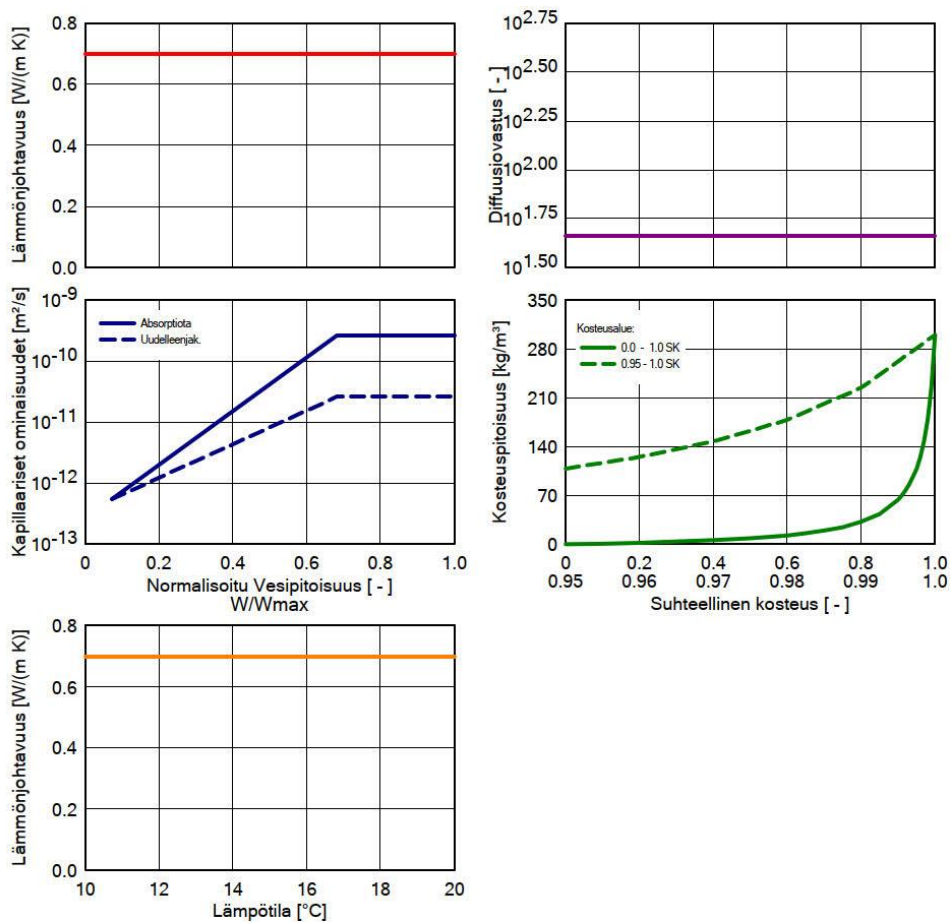
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	90
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	2,9
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,003333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsimaali 0.3mm

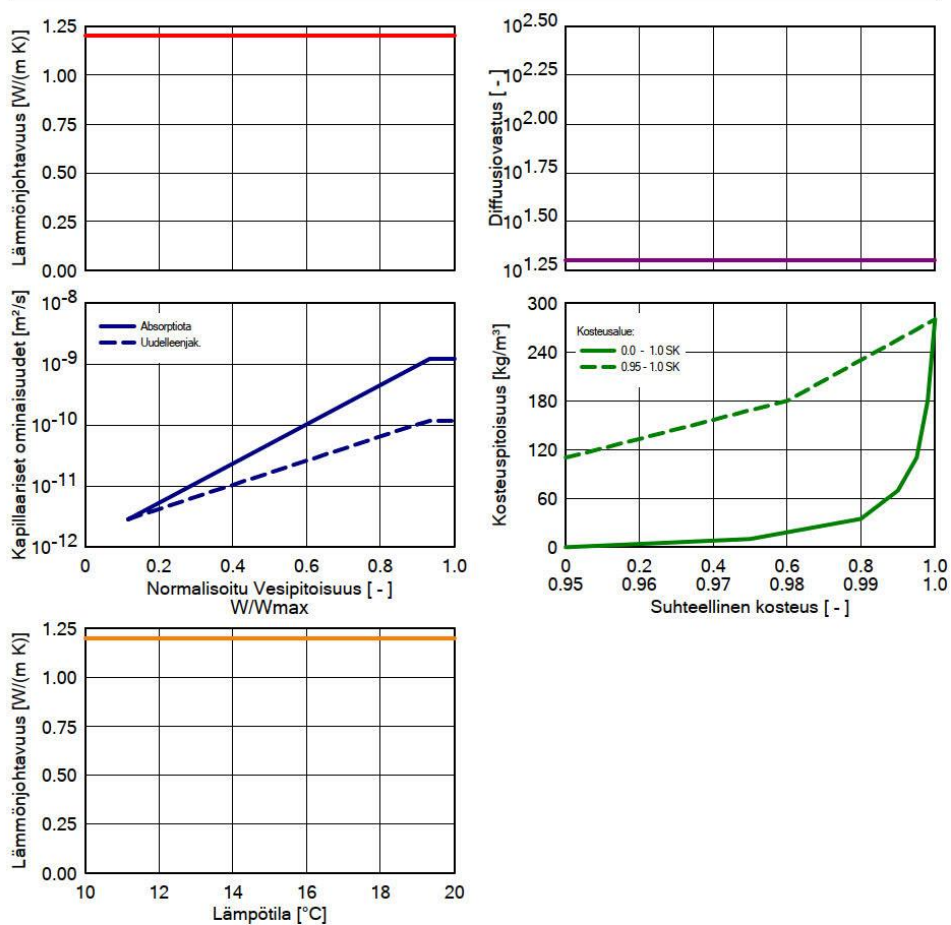
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	46
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	32
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,0025



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm

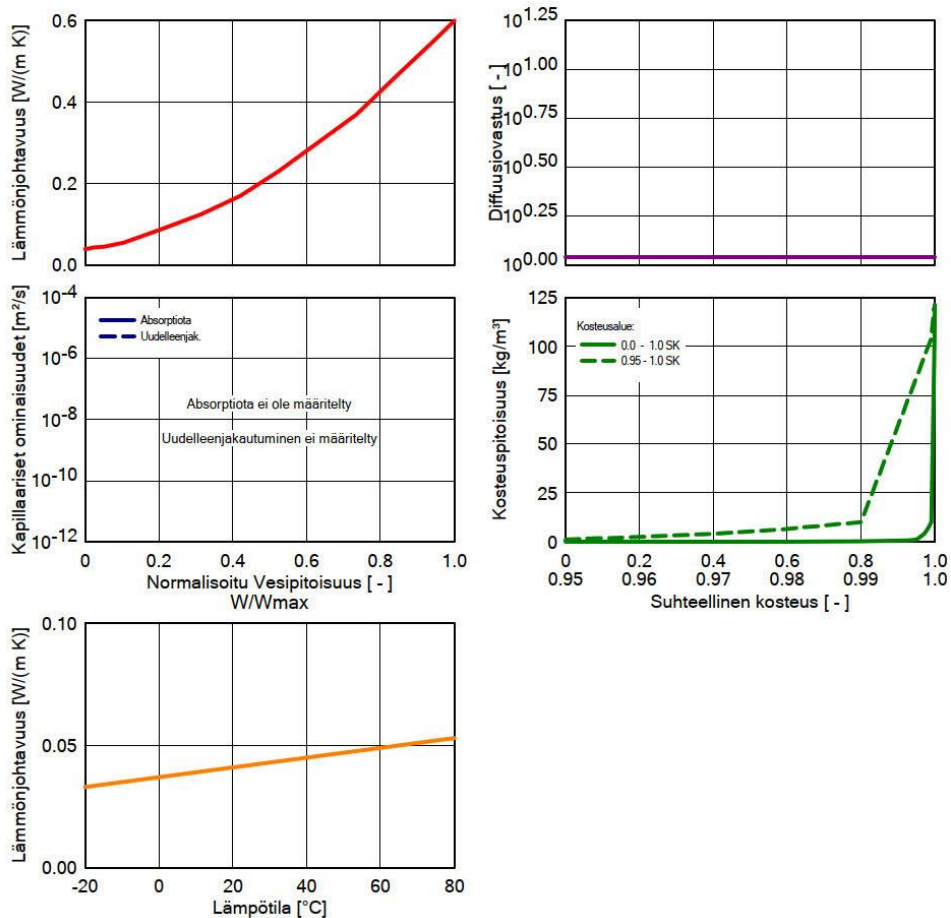
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.3
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.2
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	20
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	35,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	280,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,005



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Mineraalivilla ohutrappaus (Rockwool facade batts)

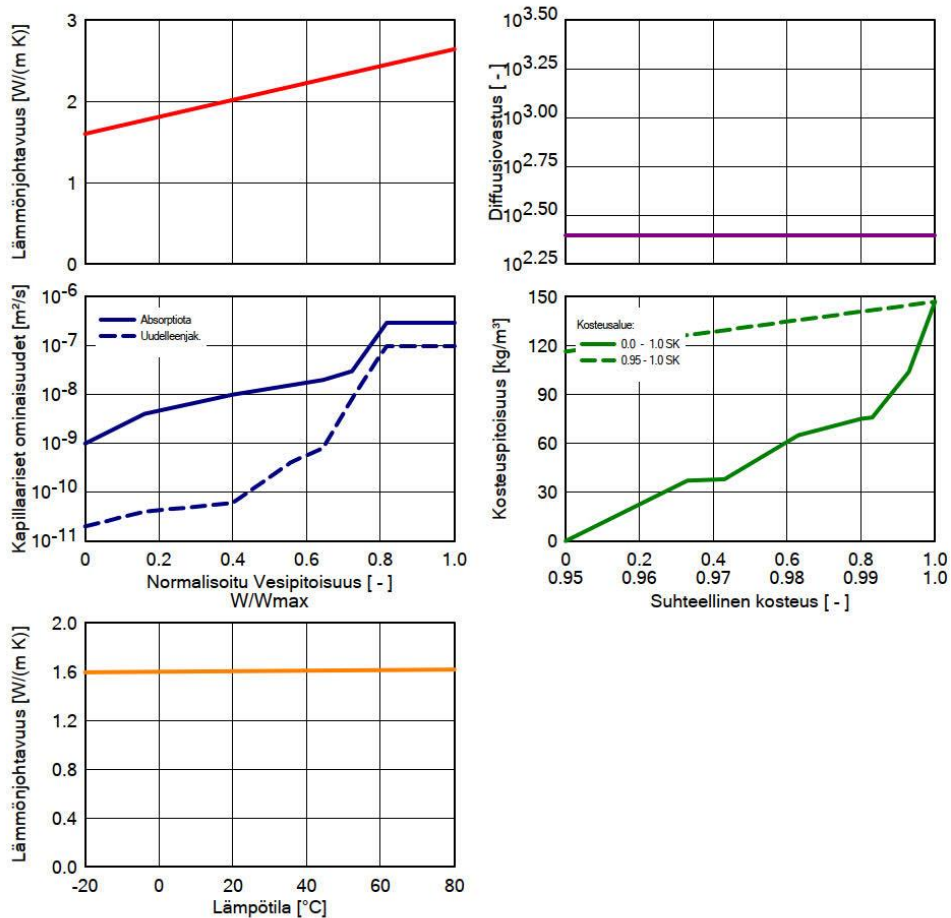
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	125
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.953
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1030
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.039
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.1
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Betoni 2 (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusrippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_nyky.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 21 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	0.4
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	13.11.2020 10.09.33
Laskennan kesto	4 min,52 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	179,54 -190,44
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	-2,54 -0,41
Tase 1	[kg/m ²]	-7,95
Tase 2	[kg/m ²]	-7,95

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	19,22	11,05	7,34	19,63

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Silikonihartsipinnoite	210,00	73,71	0,11	303,06
*Silikonihartsimaali 0.3mm	210,00	251,46	1,88	302,46
*Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	210,00	253,47	3,92	282,27
*Mineraalivilla ohutrappaus (Rockwool)	0,14	1,26	0,01	12,73
*Betoni 2 (C35/45)	116,29	60,19	46,86	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-11543,31
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-689,63
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-10,92
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	-2,76

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	0,0
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0

Liite 2. Paksurappaus-eristejärjestelmä Wufi laskenta-asetukset

1 (18)

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen

Projektin numero

Asiakas

Yhteyshenkilö

Paikka/P.nro.

Katuosoite

Puhelin

Fax

s-posti

Vastuuhenkilö Arttu Lehtonen

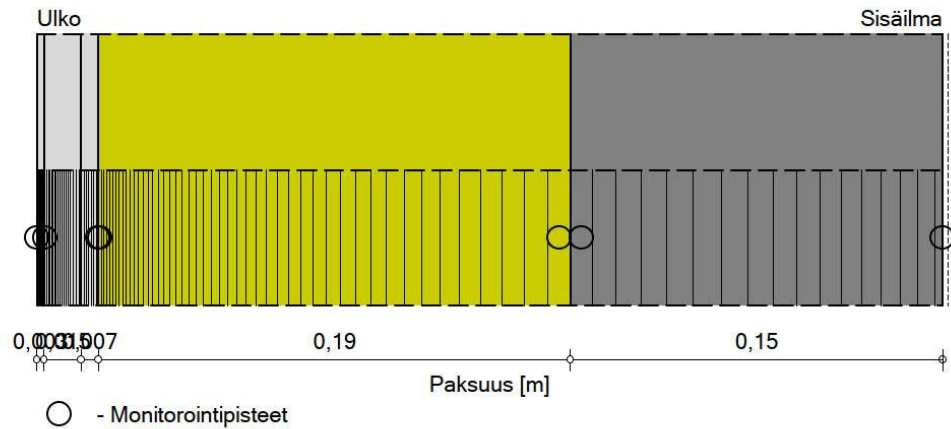
Huomioita Paksurappaus-eristejärjestelmä, uudisrakentaminen

Päivämäärä 13.8.2020 8.20.27

WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #1 Paksurappaus Vantaa 2100



Materiaalit:

	- *7 Jalolaasti KS 50/50/600	0,003 m
	- *7 Täyttölaasti KS 35/65/500	0,015 m
	- *7 Pohjalaasti KS 20/80/500	0,007 m
	- *Mineraalivilla paksurappaus (Rockwool facade 1)	0,19 m
	- *Betoni (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

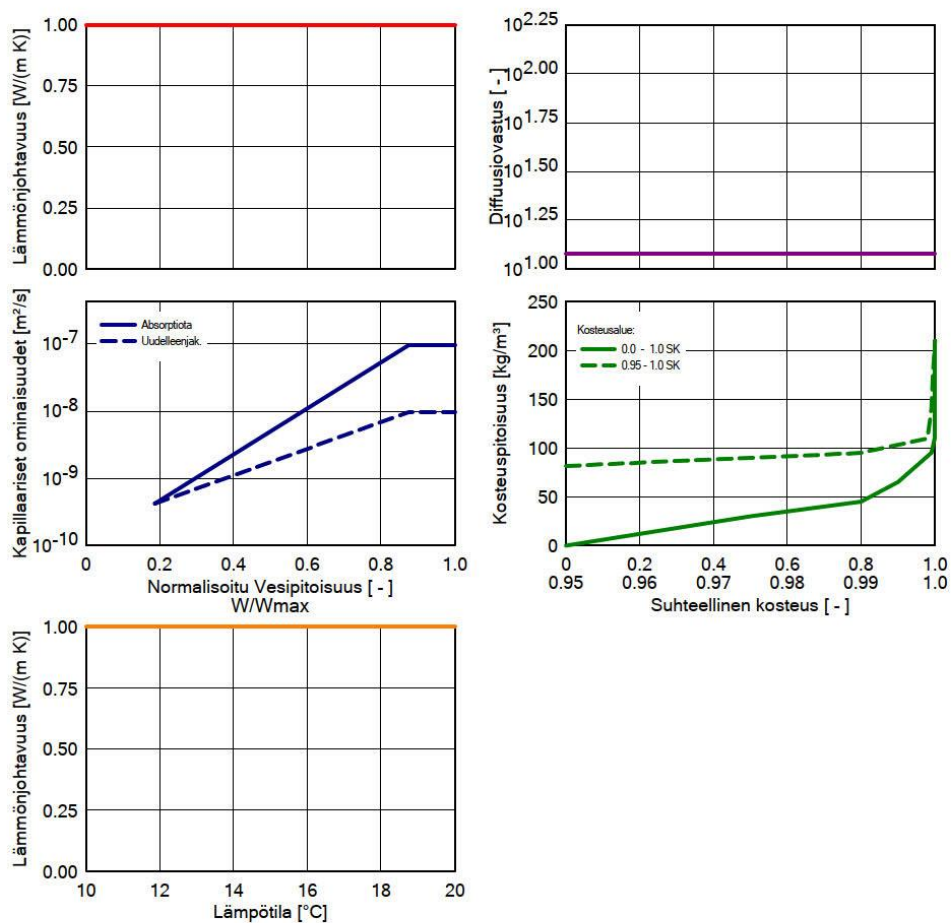
Kokonaispaksuus: 0,365 m

R-arvo: 5,67 (m² K)/WU-arvo: 0,171 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *7 Jalolaasti KS 50/50/600

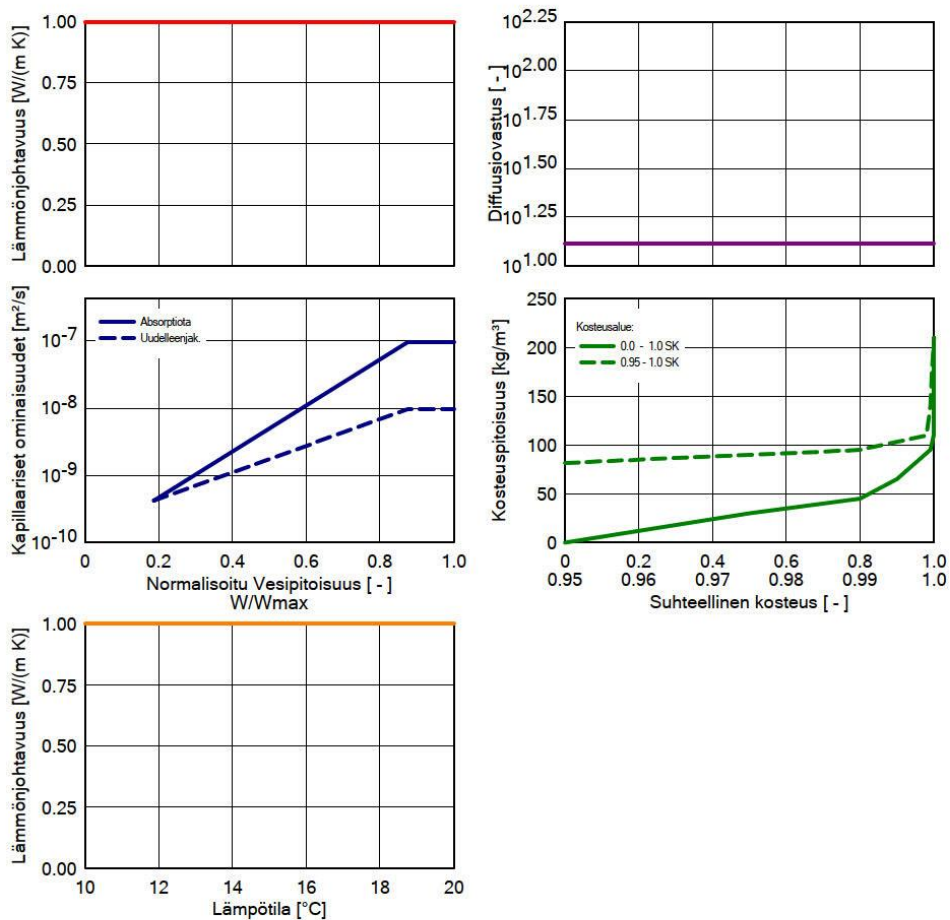
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1600
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.24
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	12
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	45,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	210,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,033333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *7 Täyttölaasti KS 35/65/500

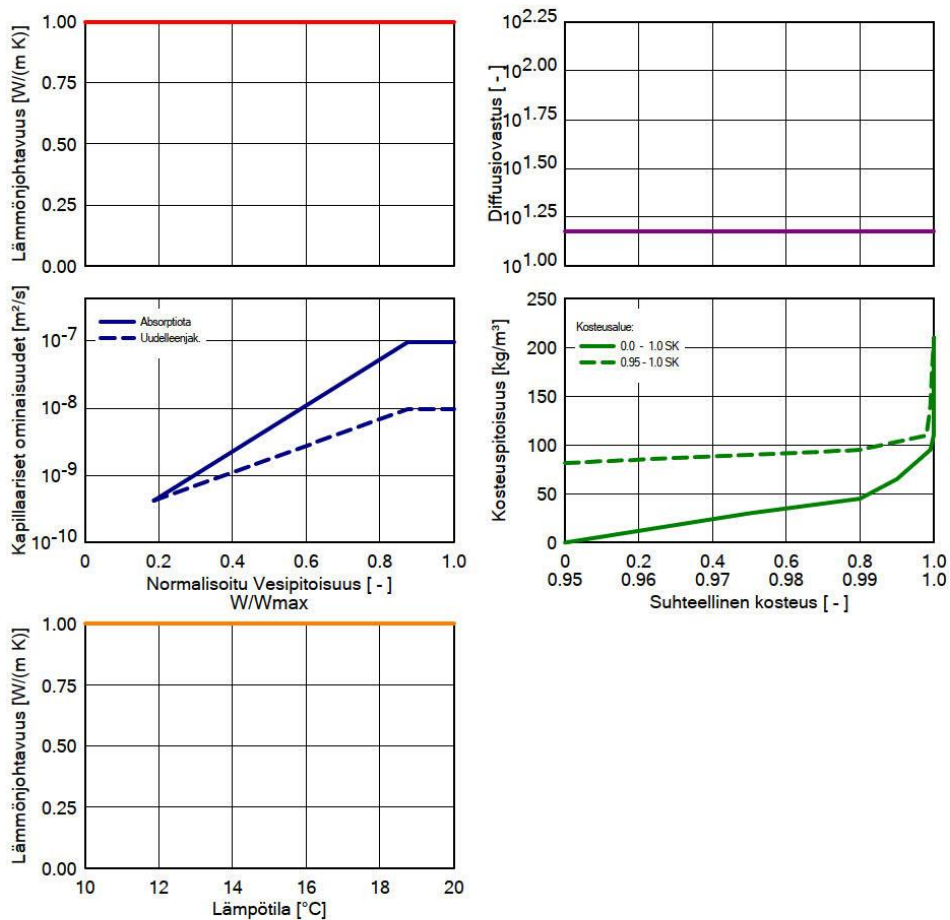
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1800
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.24
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	13
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	45,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	210,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,033333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *7 Pohjalaasti KS 20/80/500

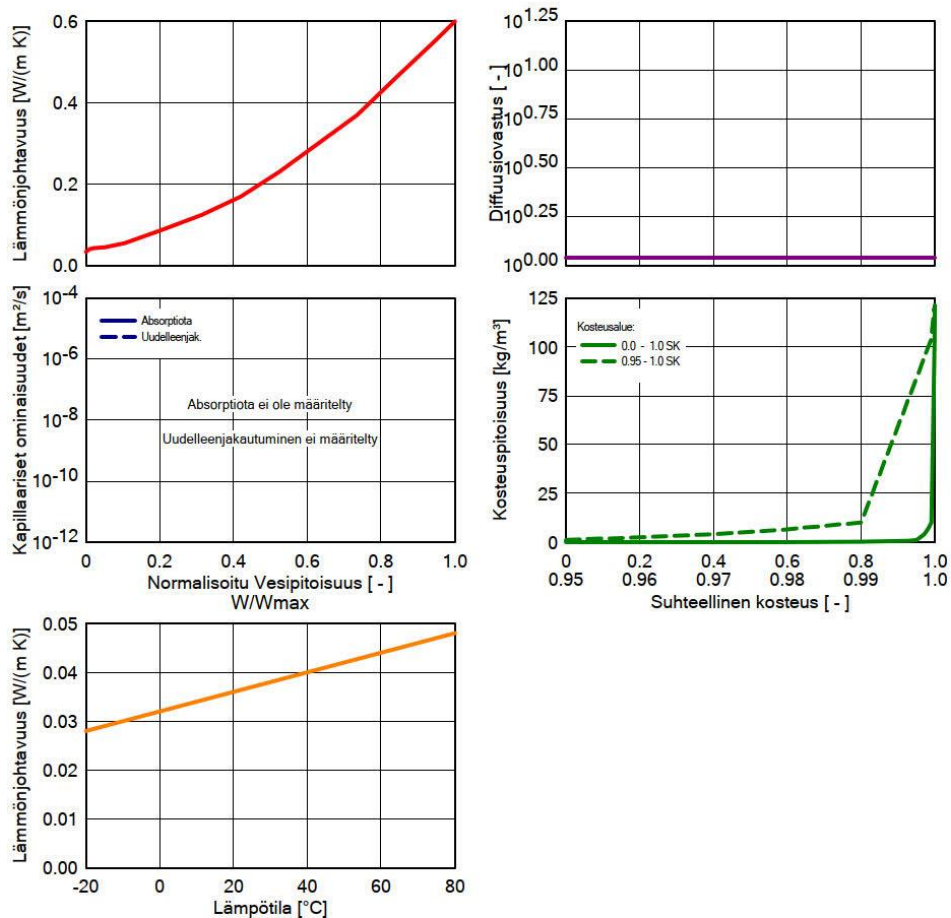
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1800
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.24
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	15
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	45,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	210,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,033333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Mineraalivilla paksurappaus (Rockwool facade 1)

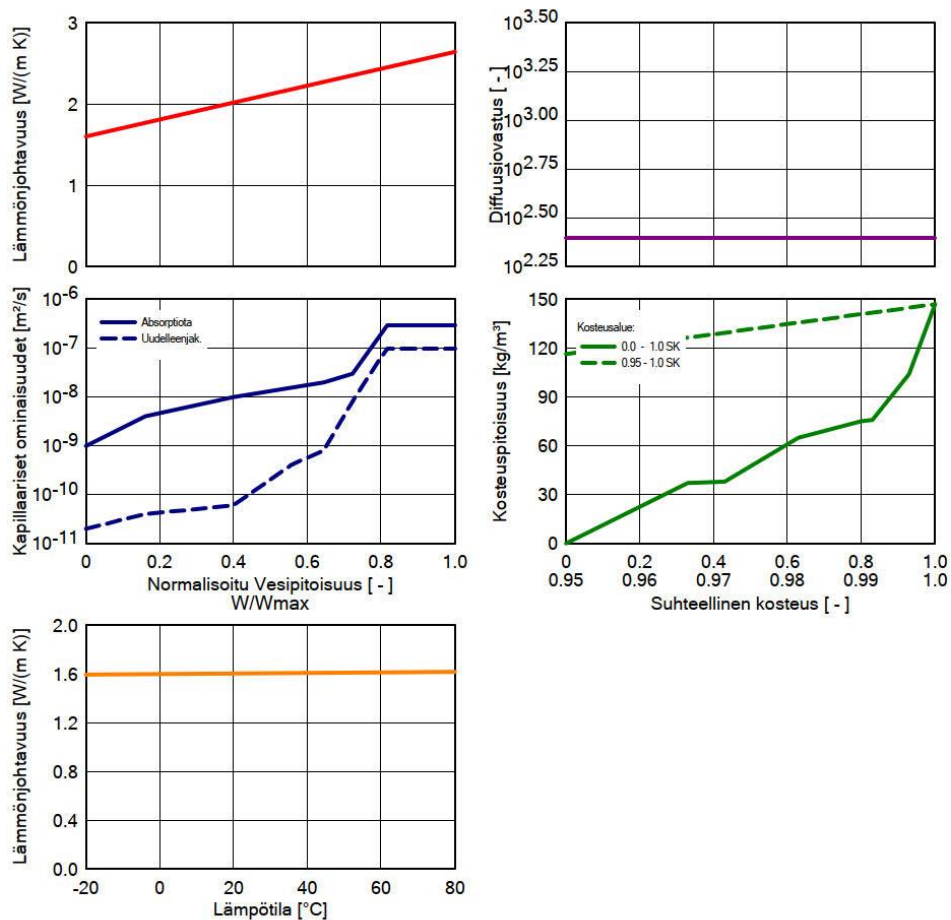
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	125
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.953
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1030
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.034
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	1.1
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Betoni (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_A2-2100.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 21 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	0.4
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.11.2020 10.45.22
Laskennan kesto	5 min,48 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	385,48 -394,23
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	0,86 -0,45
Tase 1	[kg/m ²]	-8,4
Tase 2	[kg/m ²]	-9,15

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	22,05	13,47	9,01	22,91

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*7 Jalolaasti KS 50/50/600	192,00	64,47	8,33	211,33
*7 Täyttölaasti KS 35/65/500	192,00	81,72	16,56	210,57
*7 Pohjalaasti KS 20/80/500	160,00	96,12	20,33	210,42
*Mineraalivilla paksurappaus (Rockwool)	0,14	2,60	0,02	6,07
*Betoni (C35/45)	116,29	72,56	55,31	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-8696,96
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-478,11
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-8,89
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	0,58

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	0,0
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

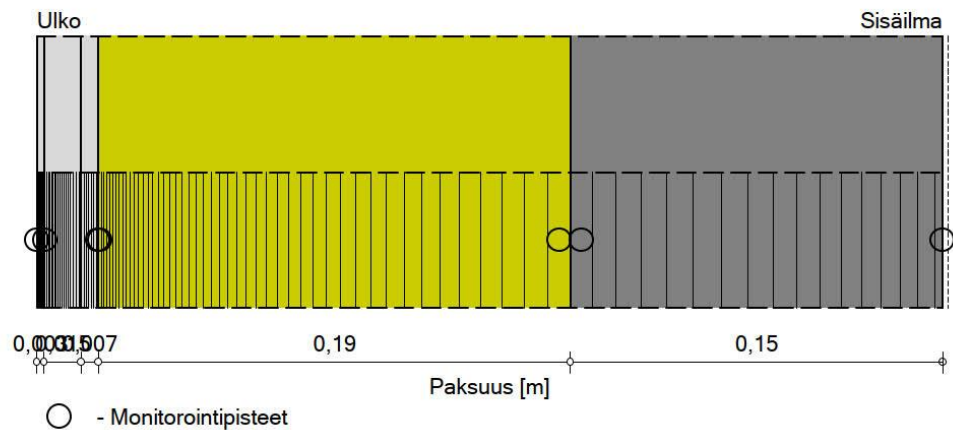
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Paksurappaus-eristejärjestelmä, uudisrakentaminen
Päivämäärä 13.8.2020 8.20.27

WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #2 Paksurappaus Vantaa nykyilmasto



Materiaalit:

	- *7 Jalolaasti KS 50/50/600	0,003 m
	- *7 Täyttölaasti KS 35/65/500	0,015 m
	- *7 Pohjalaasti KS 20/80/500	0,007 m
	- *Mineraalivilla paksurappaus (Rockwool facade 1)	0,19 m
	- *Betoni (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

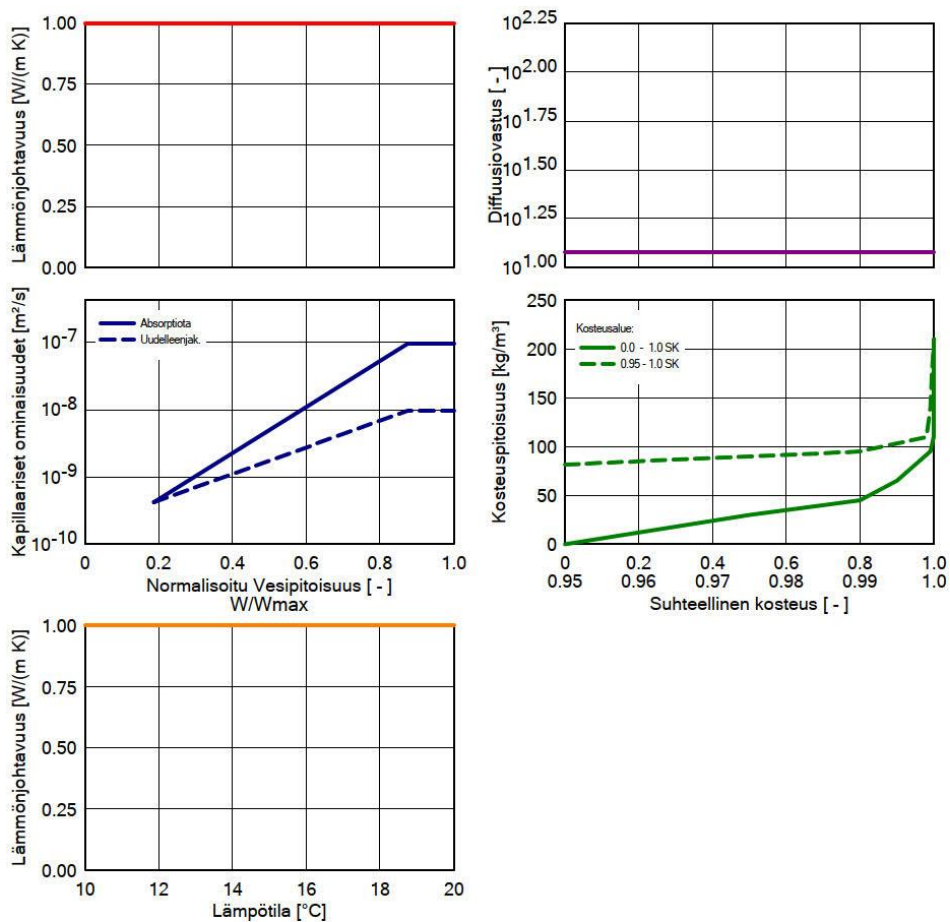
Kokonaispaksuus: 0,365 m

R-arvo: 5,67 (m² K)/WU-arvo: 0,171 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *7 Jalolaasti KS 50/50/600

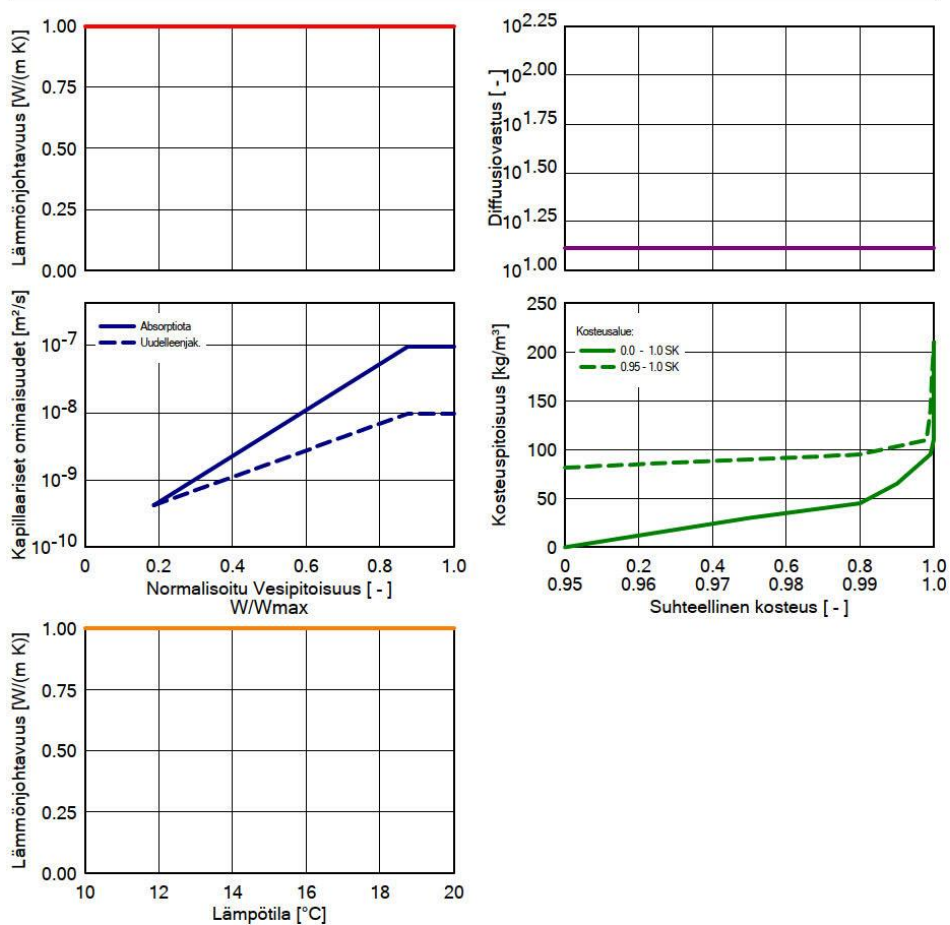
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1600
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.24
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	12
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	45,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	210,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,033333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *7 Täyttölaasti KS 35/65/500

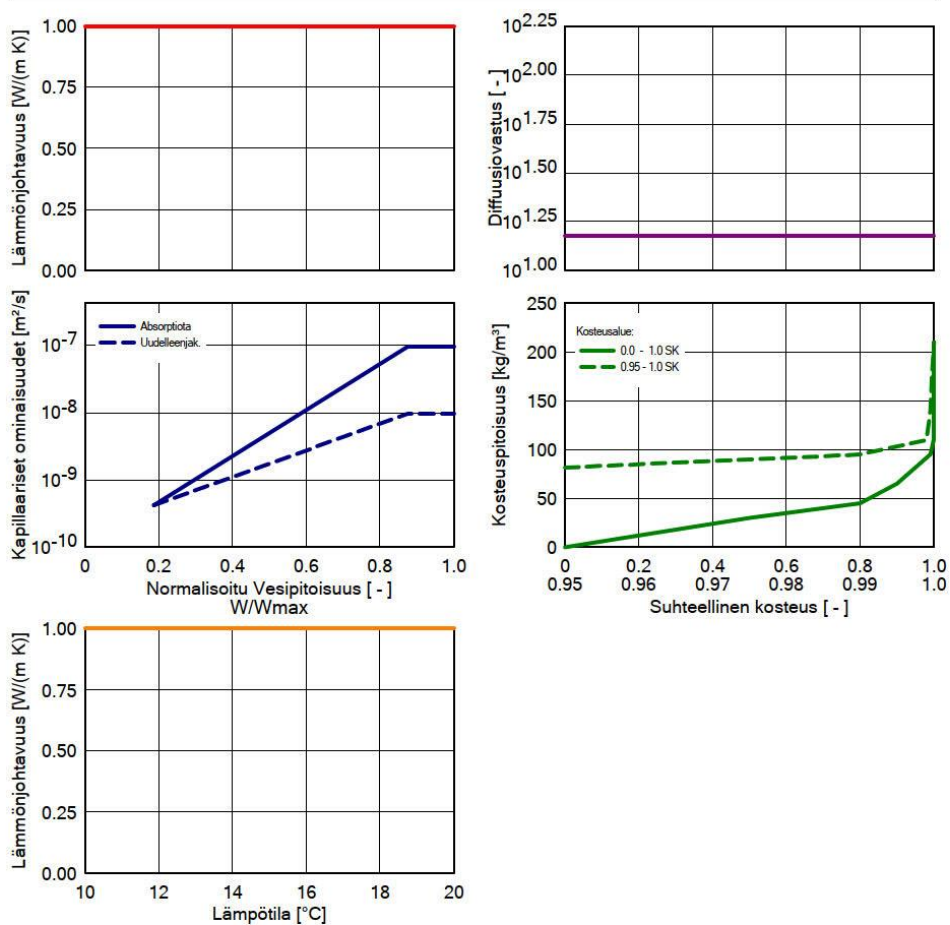
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1800
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.24
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	13
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	45,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	210,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,033333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *7 Pohjalaasti KS 20/80/500

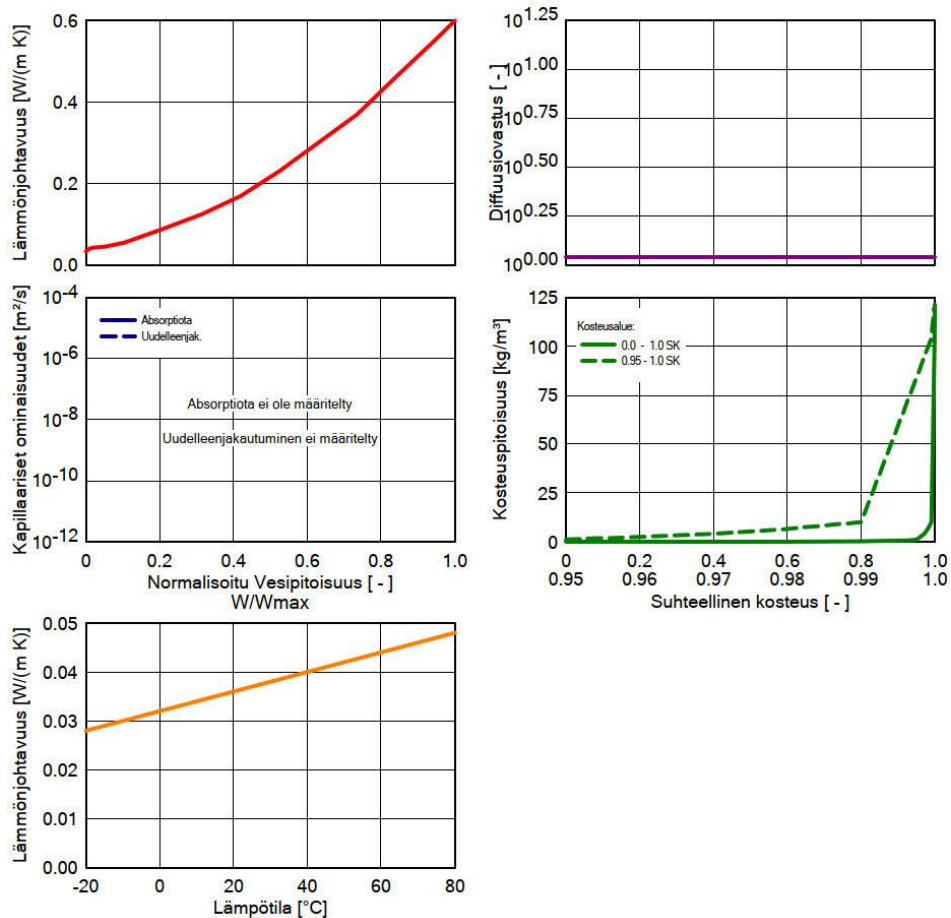
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1800
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.24
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	15
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	45,0
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	210,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,033333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Mineraalivilla paksurappaus (Rockwool facade 1)

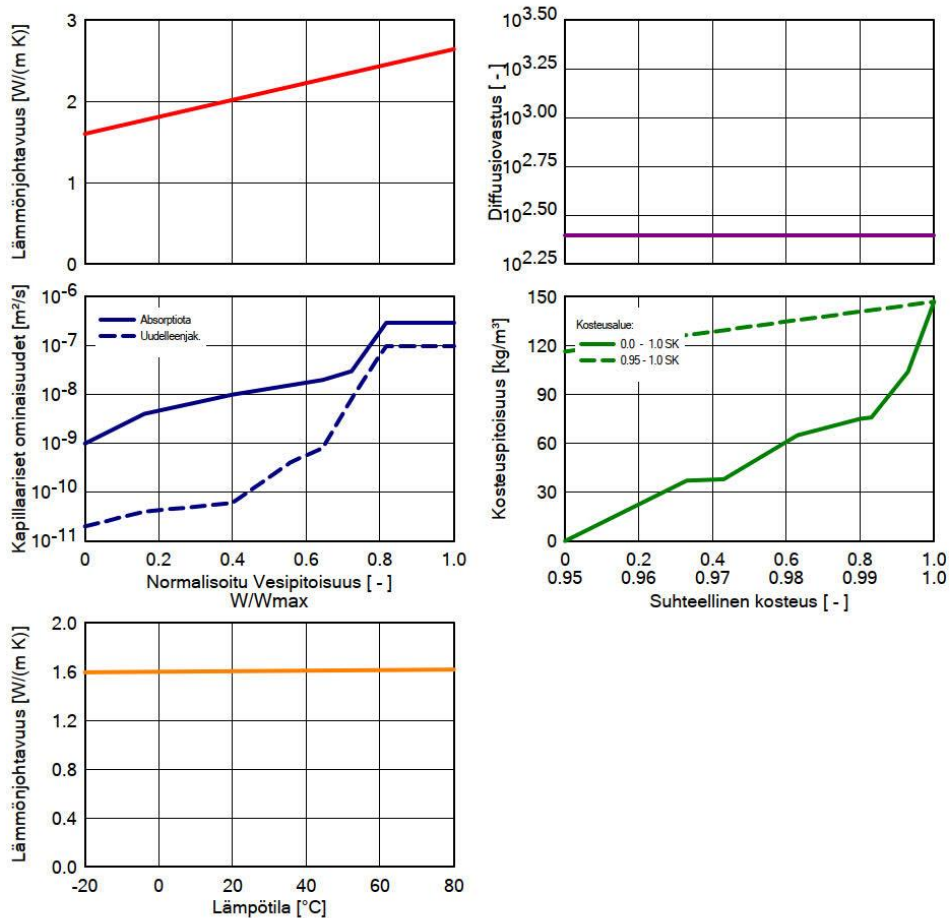
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	125
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.953
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1030
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.034
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.1
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Betoni (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusrippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_nyky.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 21 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	0.4
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.11.2020 10.51.10
Laskennan kesto	7 min,23 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergoitvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	358,49 -372,74
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	-1,74 -0,4
Tase 1	[kg/m ²]	-10,0
Tase 2	[kg/m ²]	-12,11

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	22,05	11,86	7,61	22,87

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*7 Jalolaasti KS 50/50/600	192,00	66,59	8,80	212,39
*7 Täyttölaasti KS 35/65/500	192,00	86,16	17,51	210,77
*7 Pohjalaasti KS 20/80/500	160,00	100,74	21,03	210,53
*Mineraalivilla paksurappaus (Rockwool)	0,14	1,84	0,02	6,25
*Betoni (C35/45)	116,29	62,07	46,30	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-9723,22
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-714,97
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-14,81
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	-1,9

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	0,0
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,0

Liite 3. Levyrappausjärjestelmä Wufi laskenta-asetukset

1 (32)

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

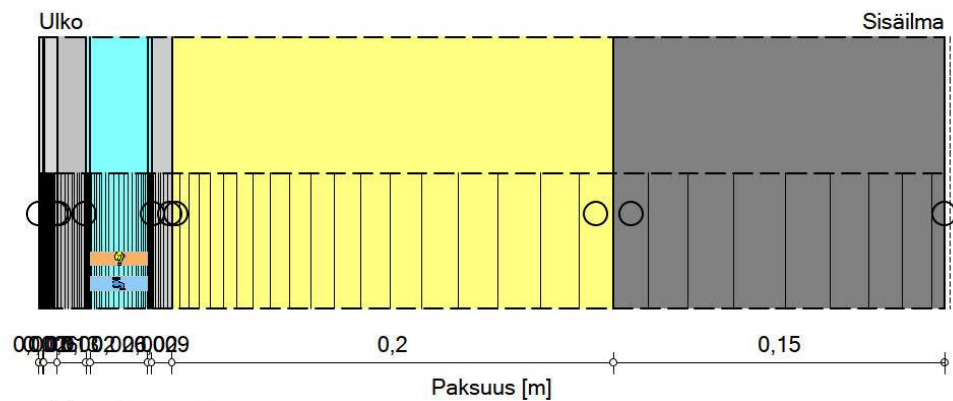
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Uudisrakennus, levyrappaus
Päivämäärä 10.9.2020

WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #1 Jokioinen 2100



○ - Monitorointipisteet

☀/💧 - Lämmön/Kosteuden lähteen/nielun sijainti

Materiaalit:

	- *Silikonihartsipinnoite	0,002 m
	- *Silikonihartsimaali 0.3mm	0,0 m
	- *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	0,006 m
	- *Kuitusementtilevy, rappauslevy	0,013 m
	- *Ilmakerros 2 mm	0,002 m
	- *Ilmakerros; without additional moisture capacity - 26 mm	0,026 m
	- *Ilmakerros 2 mm	0,002 m
	- *Tuulensuojakipsilevy 9 mm	0,009 m
	- *Lämmöneriste Isover ol-e-35	0,2 m
	- *Betonisisäkuori (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

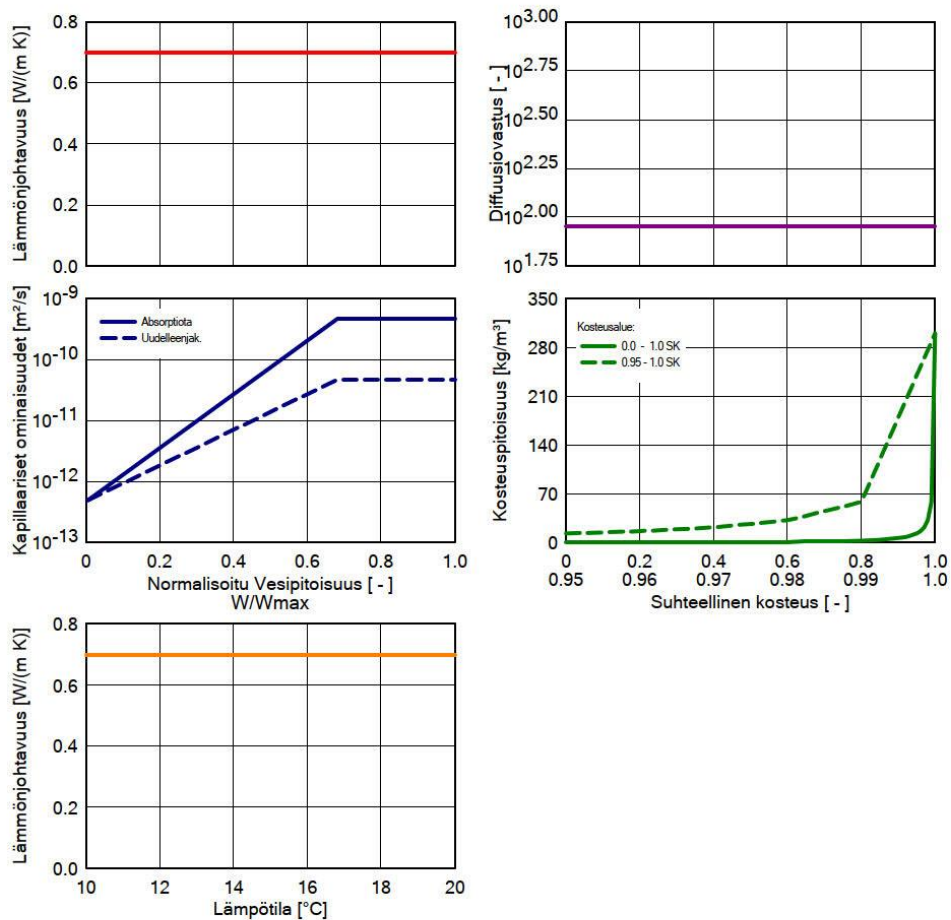
Kokonaispaksuus: 0,41 m

R-arvo: 6,08 (m² K)/WU-arvo: 0,16 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsipinnoite

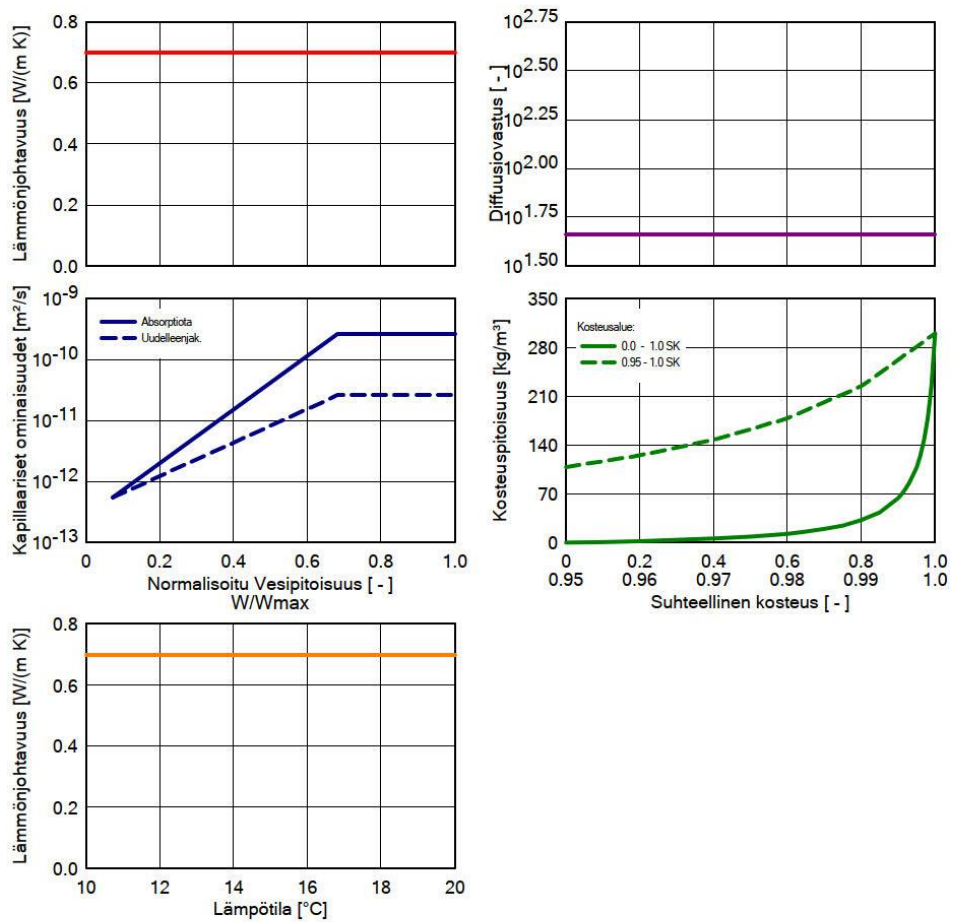
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	90
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	2,9
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,003333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsimaali 0.3mm

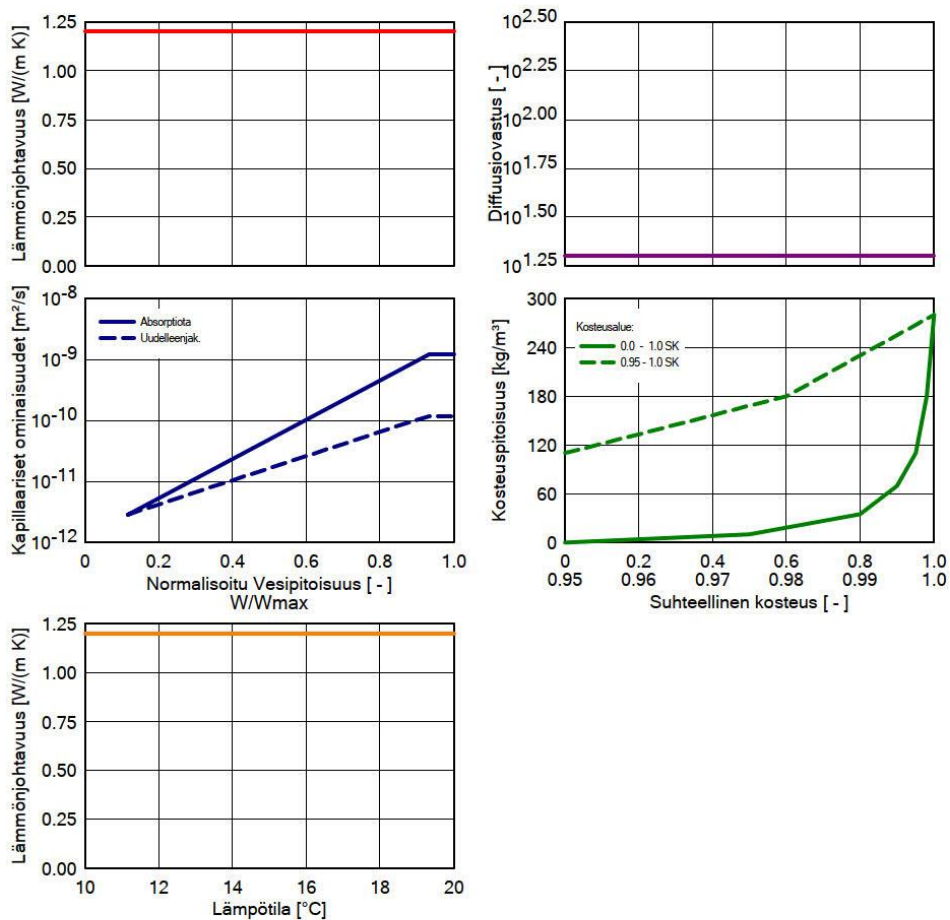
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	46
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	32
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,0025



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm

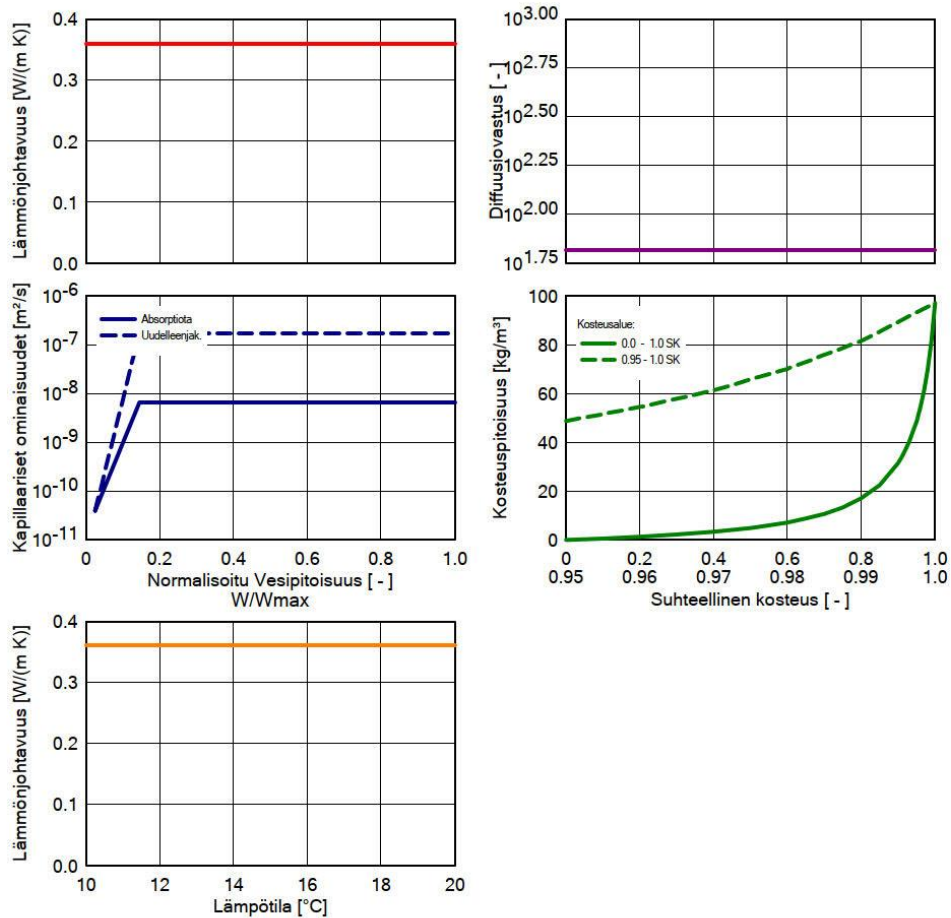
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.3
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.2
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	20
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	35
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	280
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0.005



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Kuitusementtilevy, rappauslevy

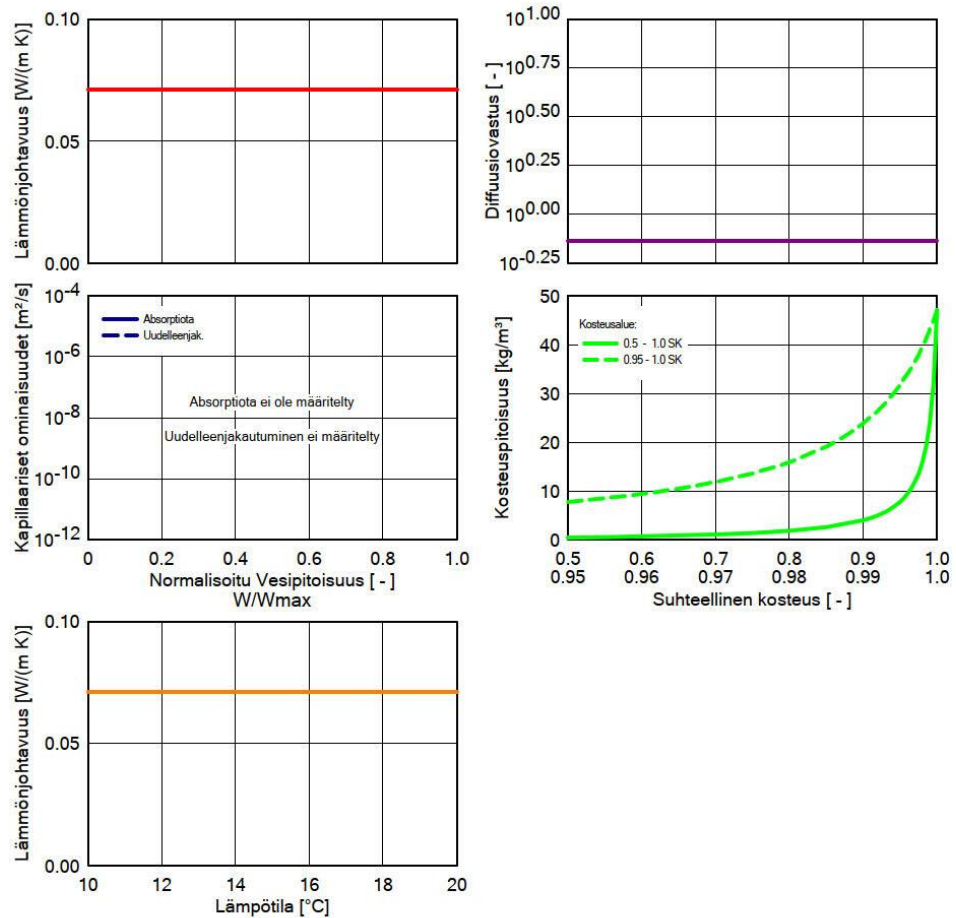
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1150
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.67
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.36
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	66



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ilmakerros 2 mm

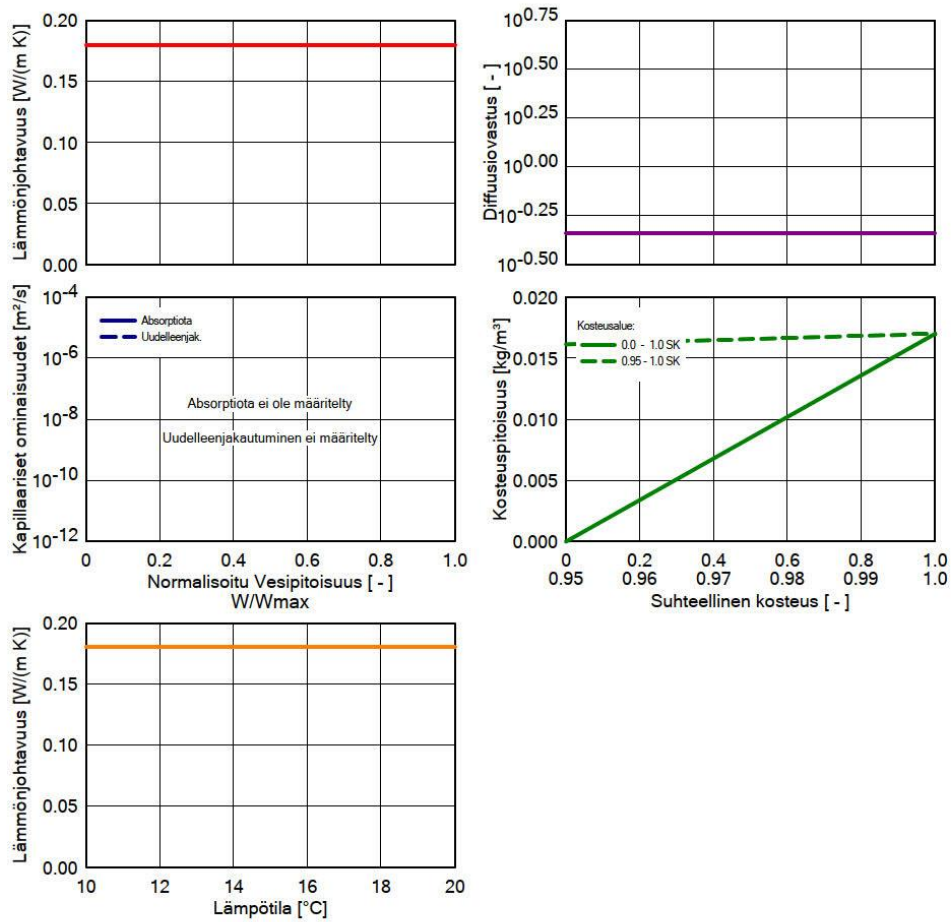
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.071
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.73



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ilmakerros; without additional moisture capacity - 26 mm

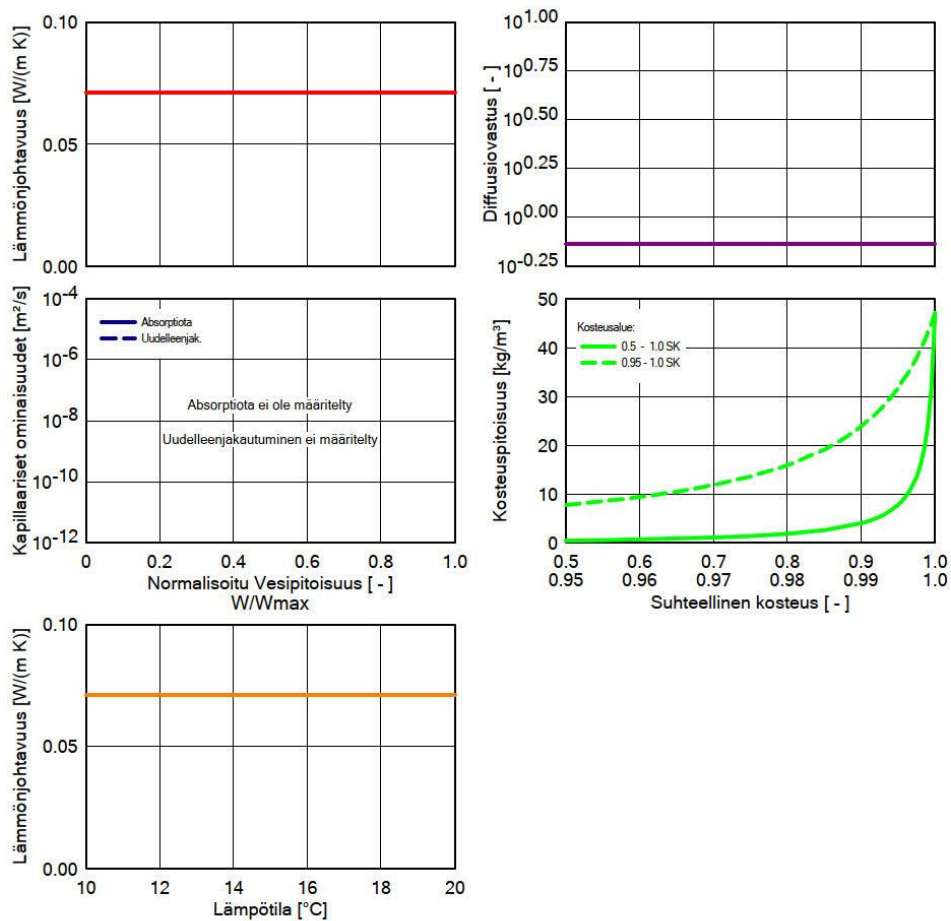
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.18
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.46



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ilmakerros 2 mm

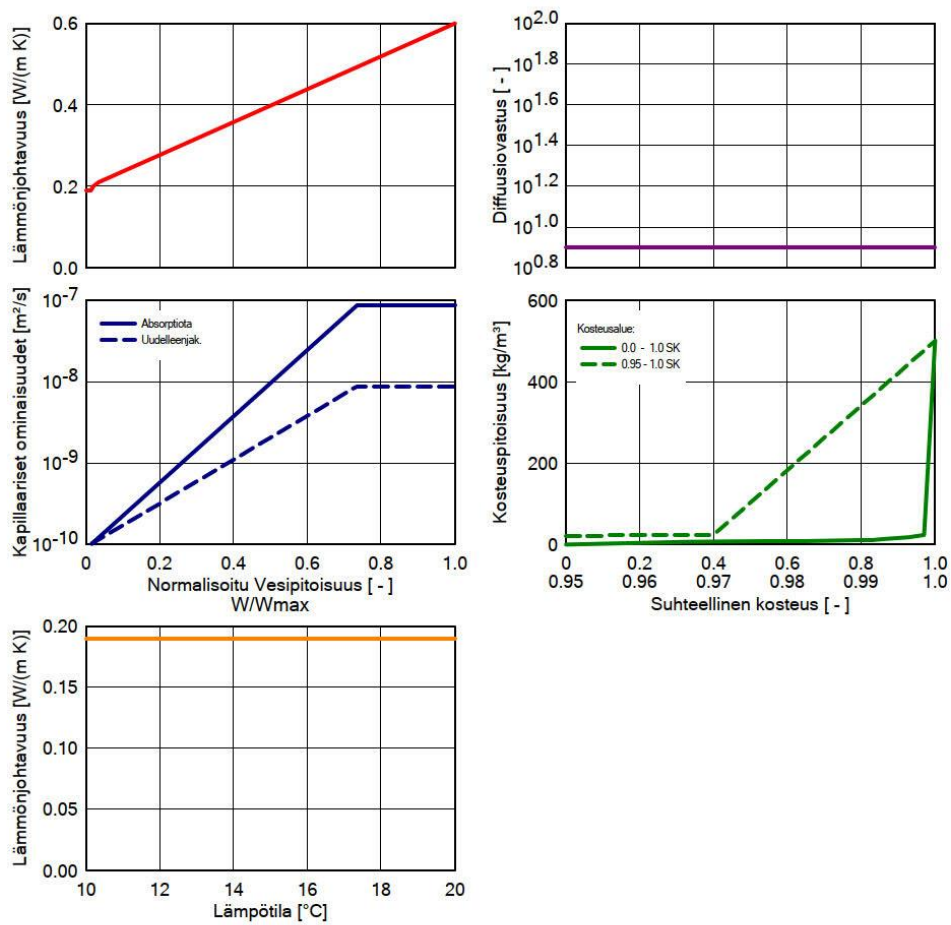
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.071
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.73



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Tuulensuojakipsilevy 9 mm

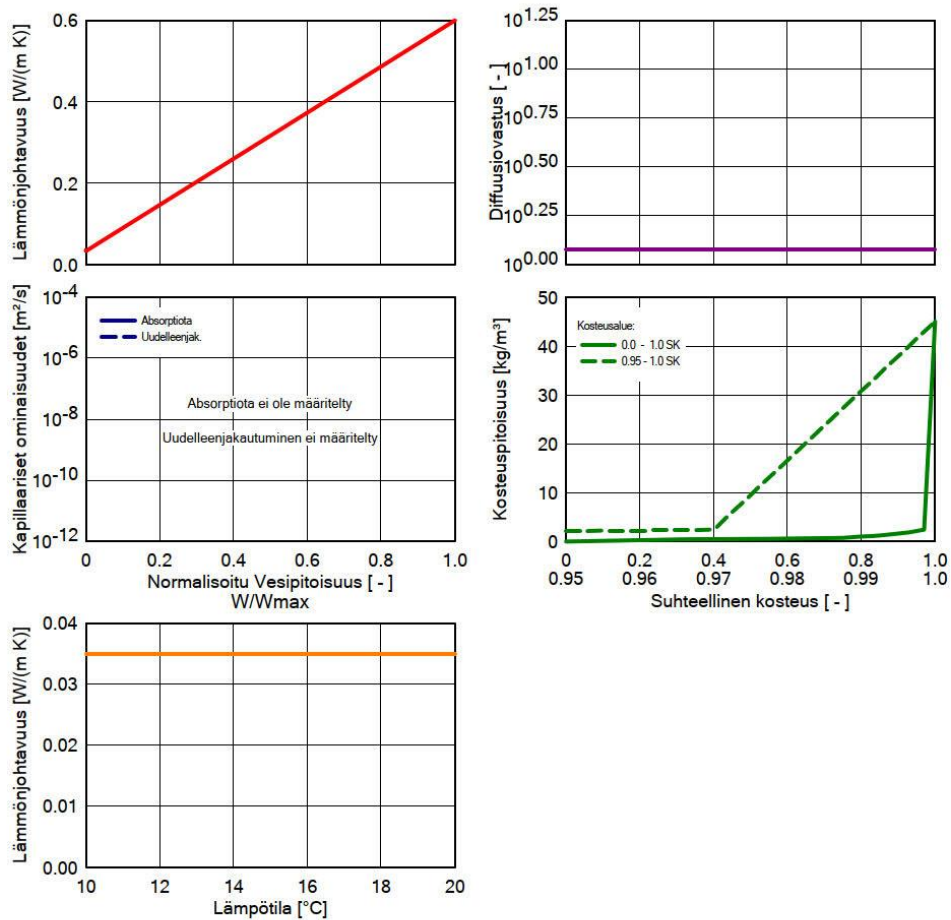
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	774
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.68
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1100
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.19
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	7.9



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Lämmöneriste Isover ol-e-35

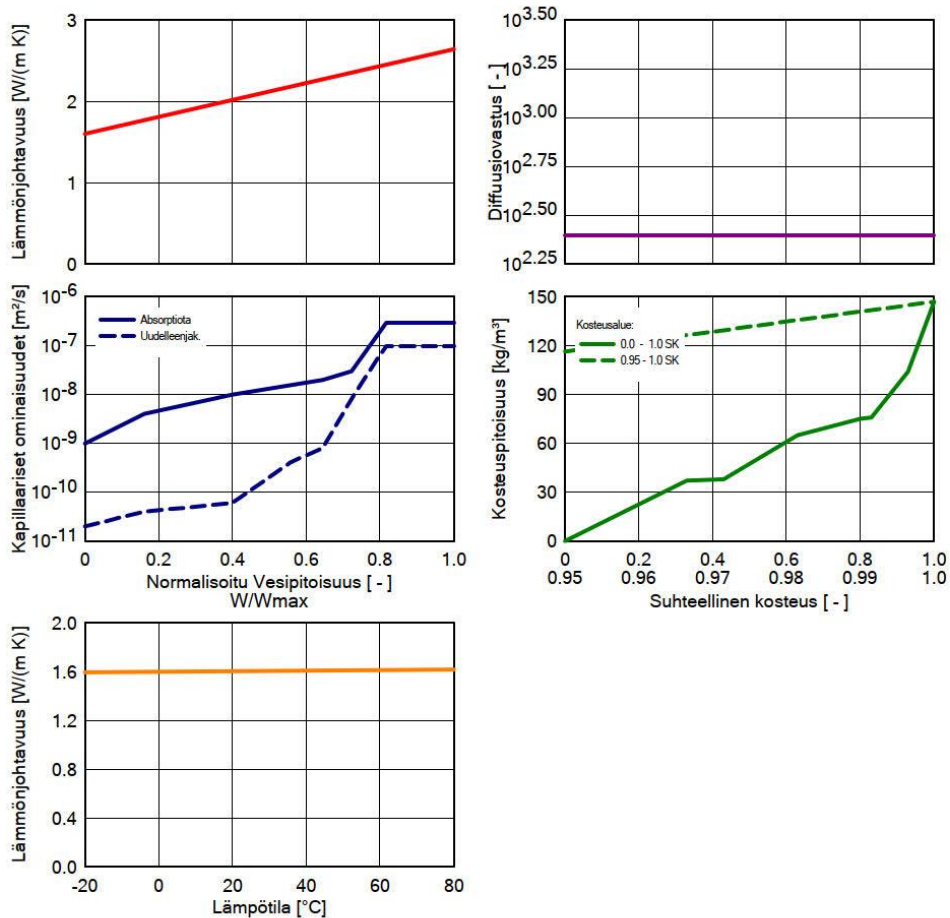
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	22
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.98
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.035
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.2



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Betonisäkuori (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusrippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Jokioinen_2004_A2-2100.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Pohj. / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 20 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	0.4
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Lähteet, nielut

*Ilmakerros; without additional moisture capacity - 26 mm

Nimi	Tyyppi		
Tuuletusraon ilmanvaihtuv	<i>Ilmanvaihtolähde</i>		
	Koko kerros		
	sekoitetun ilman lähde vasen puoli		
	Ilmanvaihtomäärä	[1/h]	100

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.11.2020 10.46.08
Laskennan kesto	4 min,3 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergoitvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	140,11 -106,87
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	-2,98 -0,2
Tase 1	[kg/m ²]	-7,95
Tase 2	[kg/m ²]	-8,01

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	19,71	11,47	8,68	19,71

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Silikonihartsipinnoite	210,00	12,01	0,27	282,42
*Silikonihartsimaali 0.3mm	210,00	108,09	4,38	278,80
*Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	210,00	101,79	7,11	235,07
*Kuitusementtilevy, rappauslevy	17,00	35,02	2,87	79,43
*Ilmakerros 2 mm	1,88	4,74	0,12	20,62
*Ilmakerros; without additional moisture	0,01	0,02	0,00	0,02
*Ilmakerros 2 mm	1,88	4,22	0,15	12,23
*Tuulensuojakipsilevy 9 mm	10,80	15,79	4,95	36,68
*Lämmöneriste Isover ol-e-35	0,98	0,89	0,45	1,79
*Betonisisäkuori (C35/45)	116,29	66,71	56,20	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-4978,46
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-512,26
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	33,18
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	-2,91

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-303,12
Tuuletusraon ilmanvaihtuvuus (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-303,12
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-44,415

WUFI Pro 6.3

Hygroterminen lähde (Jatka)

Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,166
Tuuletusraon ilmanvaihtuvuus (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-44,415

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

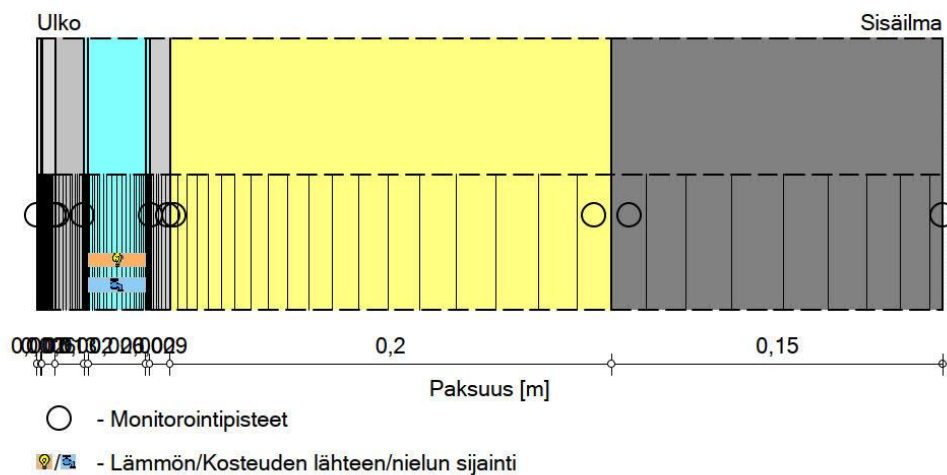
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Uudisrakennus, levyrappaus
Päivämäärä 10.9.2020

WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #2 Jokioinen nykyilmasto



Materiaalit:

	- *Silikonihartsipinnoite	0,002 m
	- *Silikonihartsimaali 0.3mm	0,0 m
	- *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	0,006 m
	- *Kuitusementtilevy, rappauslevy	0,013 m
	- *Ilmakerros 2 mm	0,002 m
	- *Ilmakerros; without additional moisture capacity - 26 mm	0,026 m
	- *Ilmakerros 2 mm	0,002 m
	- *Tuulensuojakipsilevy 9 mm	0,009 m
	- *Lämmöneriste Isover ol-e-35	0,2 m
	- *Betonisisäkuori (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

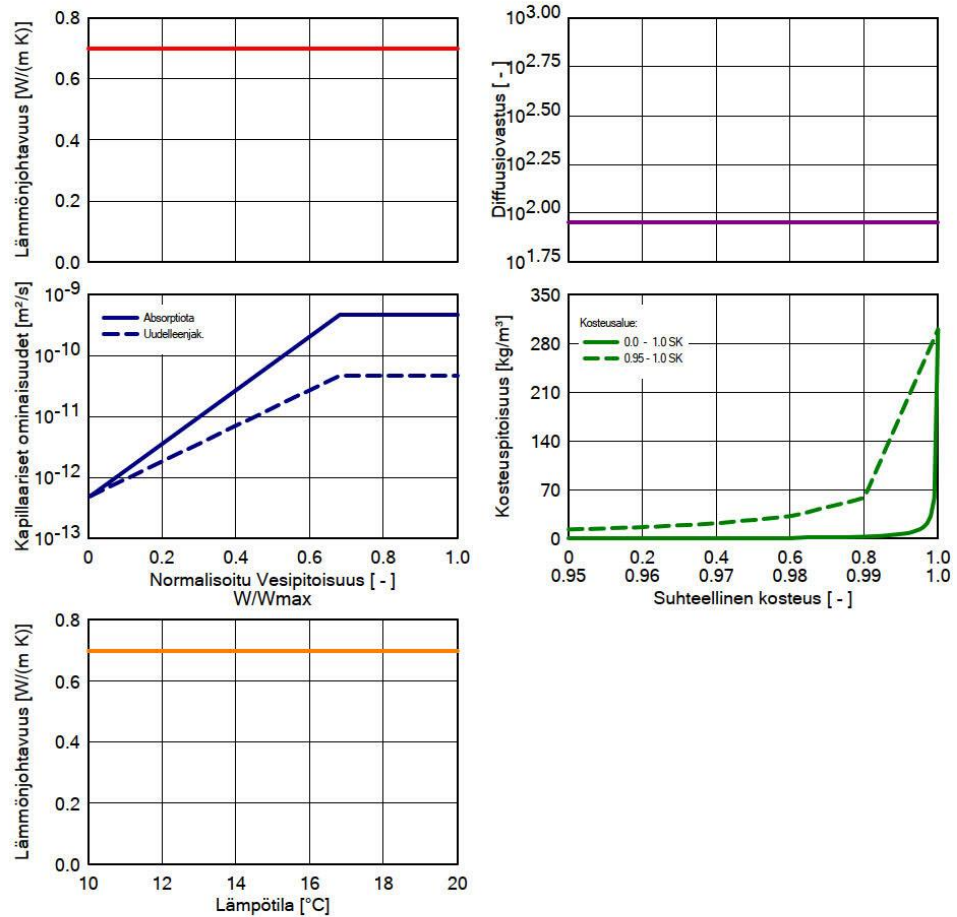
Kokonaispaksuus: 0,41 m

R-arvo: 6,08 (m² K)/WU-arvo: 0,16 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsipinnoite

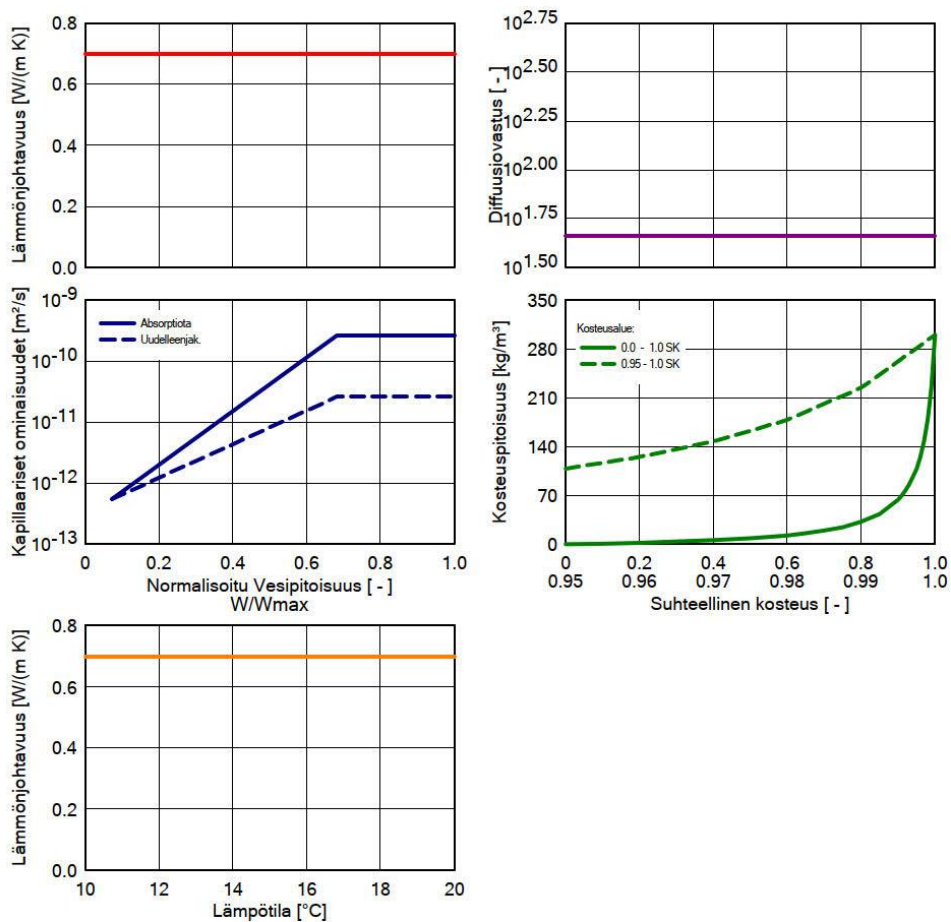
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	90
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	2,9
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,003333



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Silikonihartsimaali 0.3mm

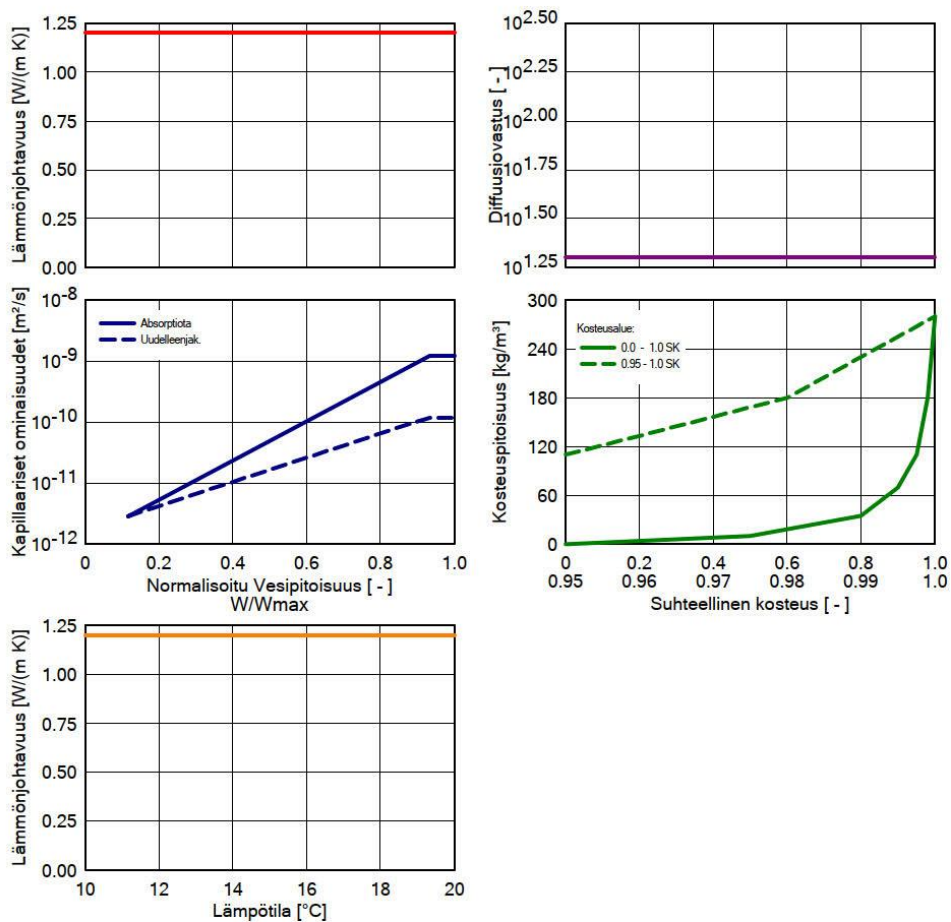
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.44
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.7
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	46
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	32
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	300,0
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0,0025



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ohutrappauslaasti S #0-1 mm

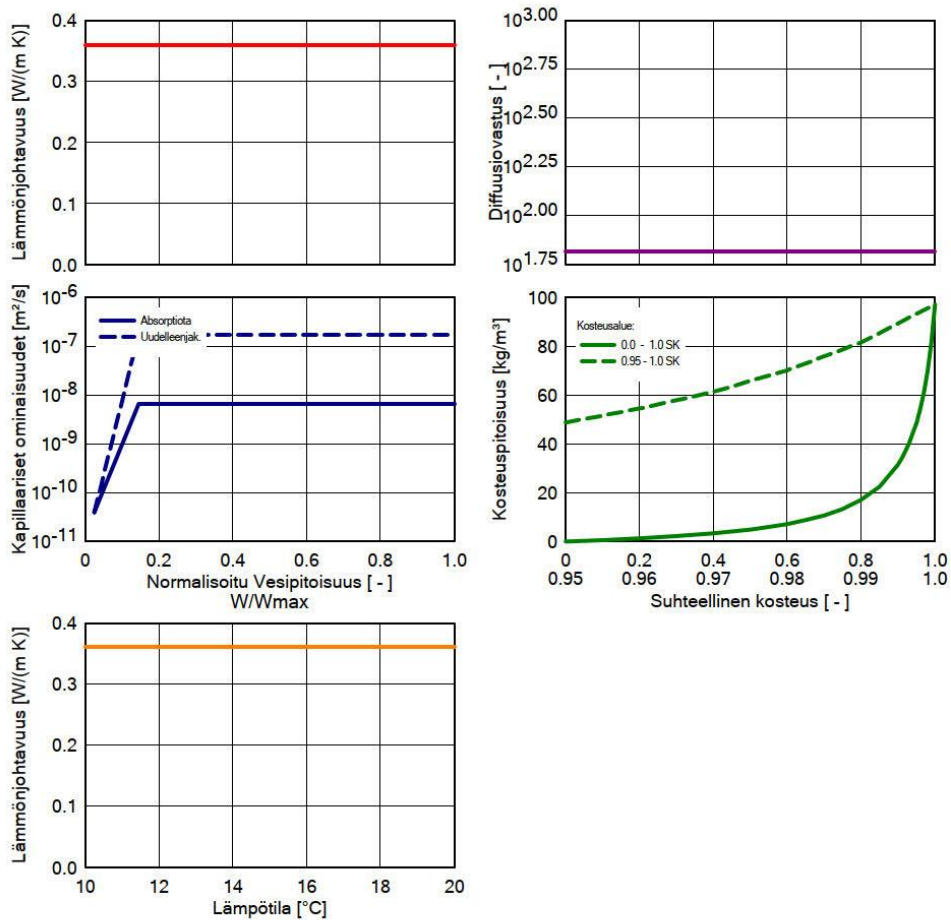
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2000
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.3
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.2
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	20
Kosteuspitoisuus, 80%-rh	[kg/m ³]	35
Vapaa vesikyllästys	[kg/m ³]	280
Veden absorptiokerroin	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0.005



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Kuitusementtilevy, rappauslevy

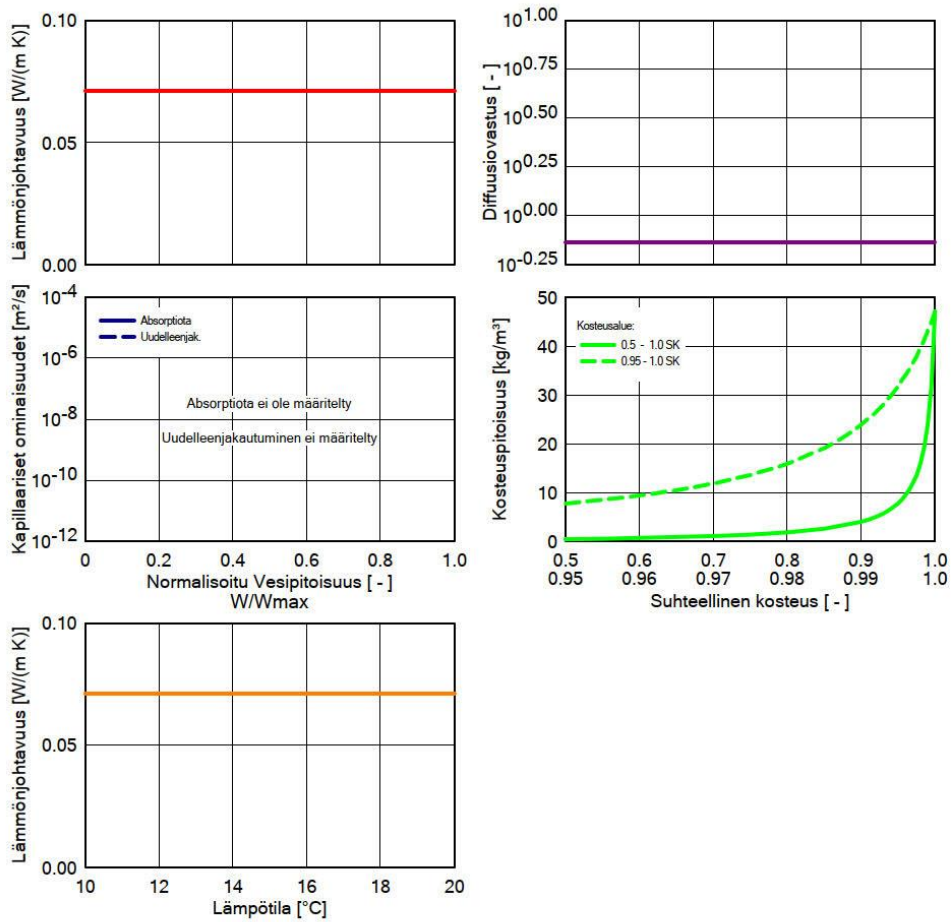
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1150
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.67
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.36
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	66



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ilmakerros 2 mm

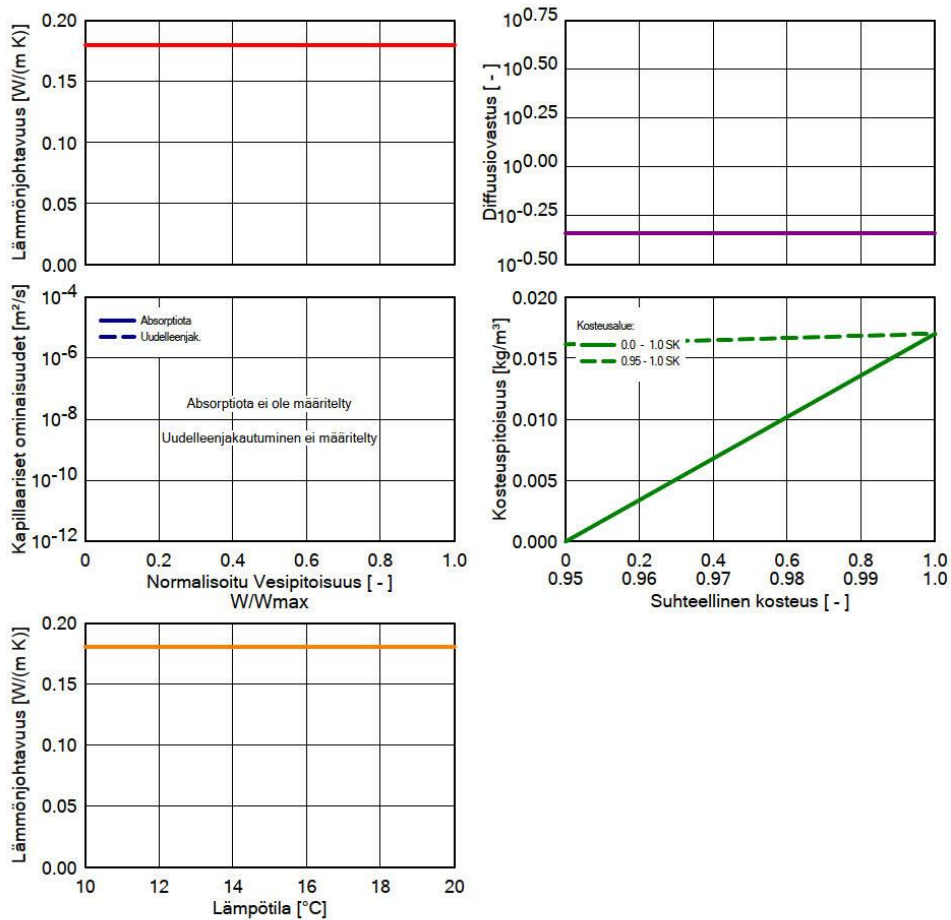
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.071
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.73



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ilmakerros; without additional moisture capacity - 26 mm

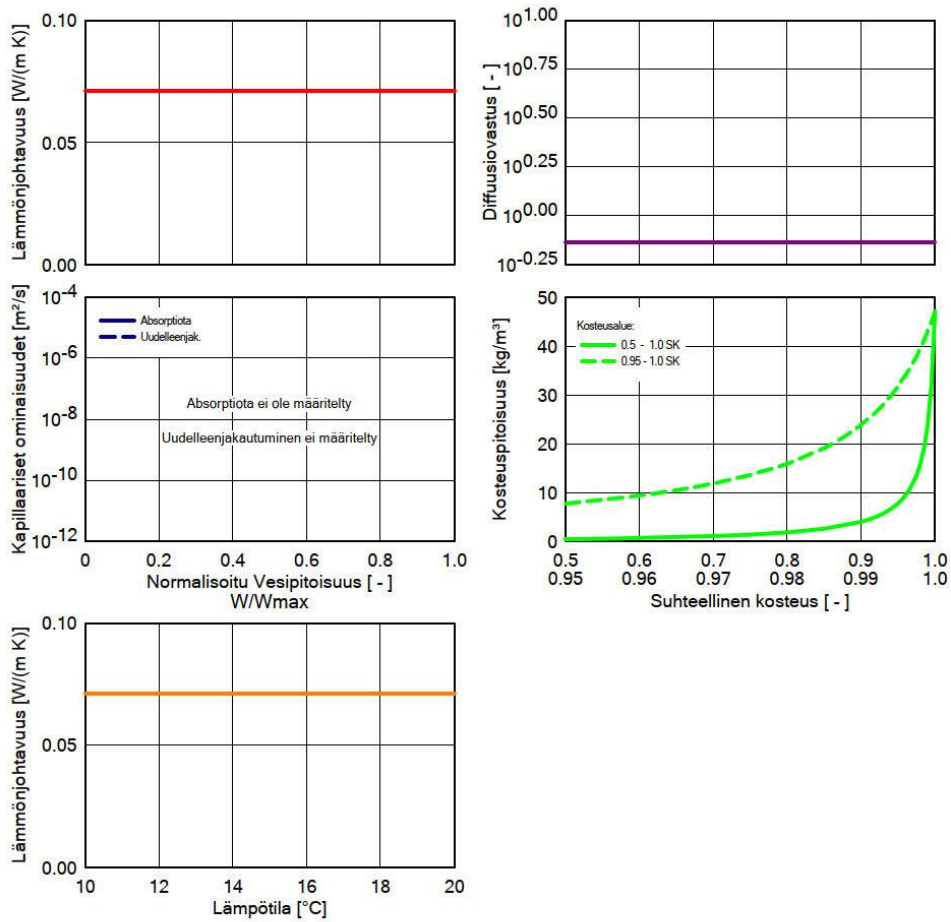
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.18
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.46



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Ilmakerros 2 mm

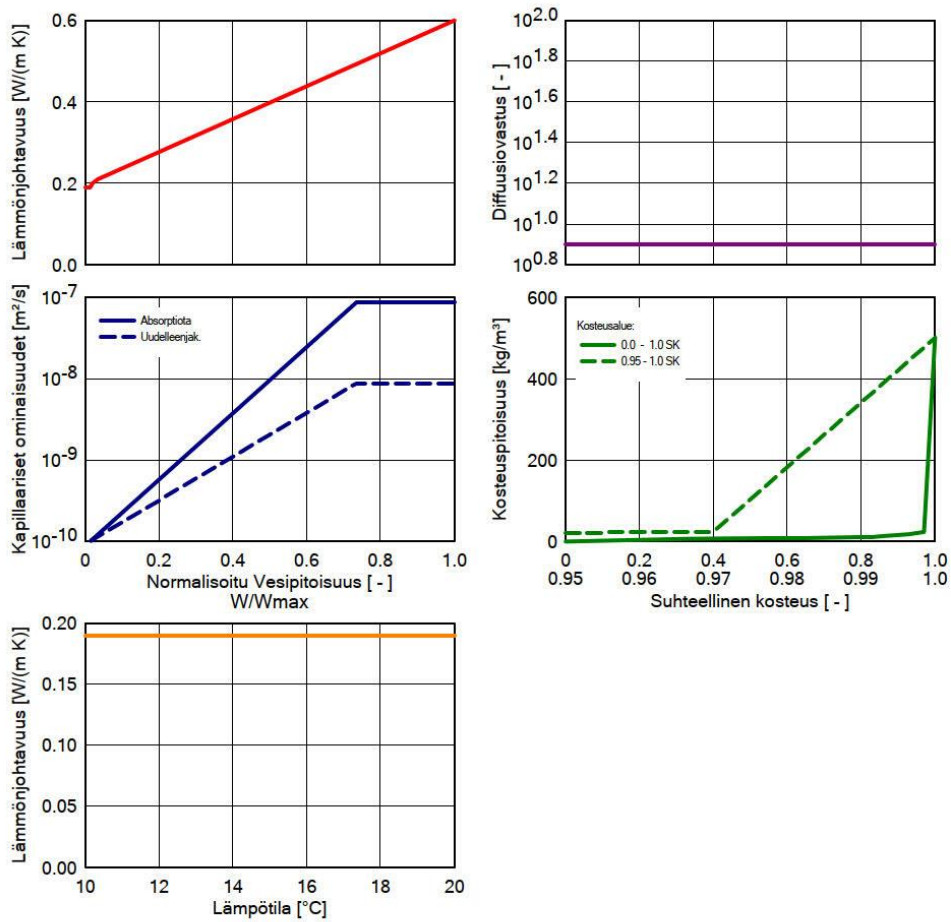
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.071
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.73



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Tuulensuojakipsilevy 9 mm

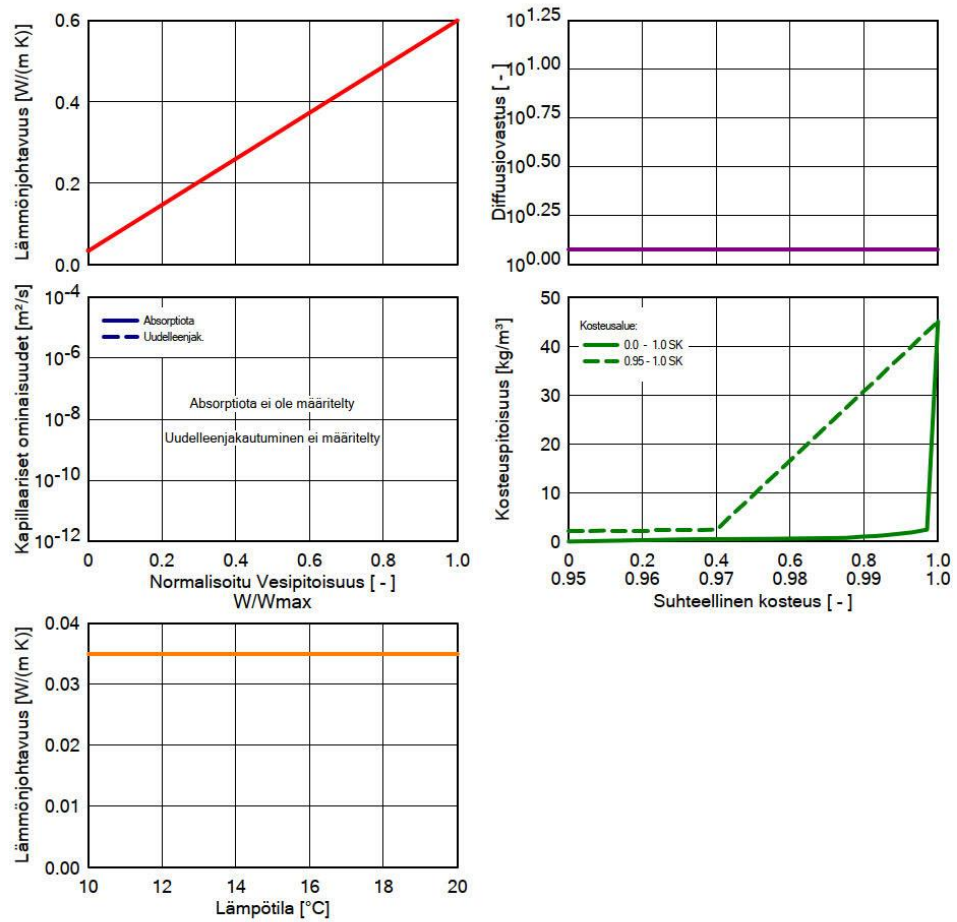
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	774
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.68
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1100
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.19
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	7.9



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Lämmöneriste Isover ol-e-35

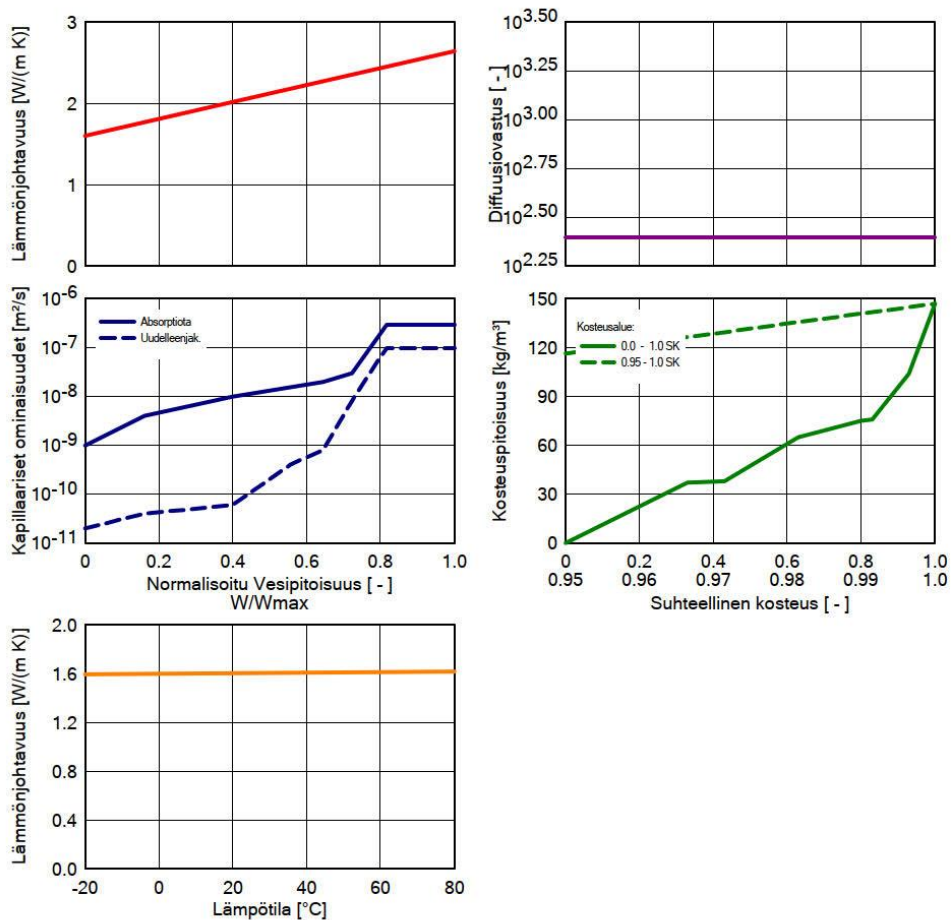
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	22
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.98
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.035
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.2



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Betonisäkuori (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Jokioinen_2004_nyky.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Pohj. / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 20 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	0.4
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Pintarappaus, normaalin va	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Lähteet, nielut

*Ilmakerros; without additional moisture capacity - 26 mm

Nimi	Tyyppi		
Tuuletusraon ilmanvaihtuv	<i>Ilmanvaihtolähde</i>		
	Koko kerros		
	sekoitetun ilman lähde vasen puoli		
	Ilmanvaihtomäärä	[1/h]	100

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	6.11.2020 10.50.12
Laskennan kesto	4 min, 15 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	116,41 -92,28
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	-2,72 0,05
Tase 1	[kg/m ²]	-9,4
Tase 2	[kg/m ²]	-9,43

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	19,71	9,99	7,46	19,71

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Silikonihartsipinnoite	210,00	12,95	0,29	280,29
*Silikonihartsimaali 0.3mm	210,00	120,32	4,43	275,86
*Ohutrappauslaasti S #0-1 mm	210,00	110,71	7,19	227,78
*Kuitusementtilevy, rappauslevy	17,00	35,44	2,91	72,26
*Ilmakerros 2 mm	1,88	4,72	0,13	16,35
*Ilmakerros; without additional moisture	0,01	0,02	0,00	0,02
*Ilmakerros 2 mm	1,88	3,95	0,15	11,03
*Tuulensuojakipsilevy 9 mm	10,80	15,40	5,19	38,92
*Lämmöneriste Isover ol-e-35	0,98	0,75	0,40	1,82
*Betonisisäkuori (C35/45)	116,29	56,66	48,03	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-5313,0
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-744,05
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	24,07
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	-2,38

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-350,23
Tuuletusraon ilmanvaihtuvuus (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-350,23
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-36,223

WUFI Pro 6.3

Hygroterminen lähde (Jatka)

Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	-0,124
Tuuletusraon ilmanvaihtuvuus (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-36,223

Liite 4. Levyverhous Wufi laskenta-asetukset

1 (26)

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

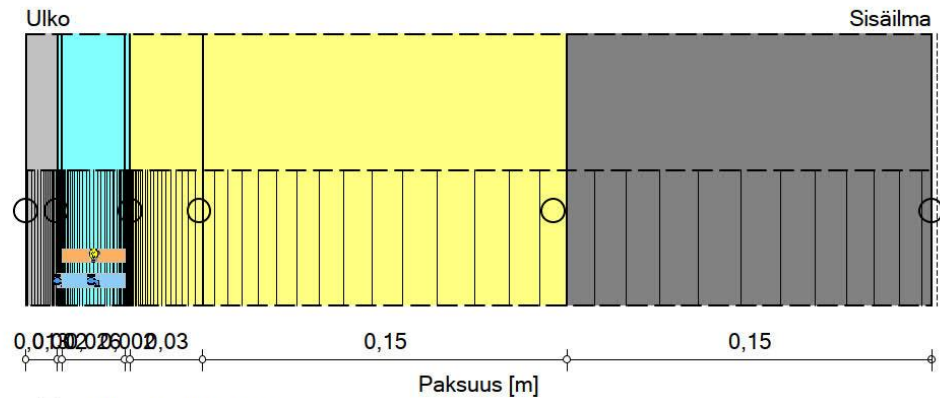
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Levyverhous, uudisrakennus
Päivämäärä 11.9.2020 8.20.27








WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #1 Levyverhous Vantaa 2100



Materiaalit:

	- *Kuitusementtilevy	0,013 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- Ilmakerros 25 mm; without additional moisture capacity	0,026 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- *Isover rkl tuulensuojaeriste	0,03 m
	- *Isover KL-32	0,15 m
	- *4 Betoni 2 (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

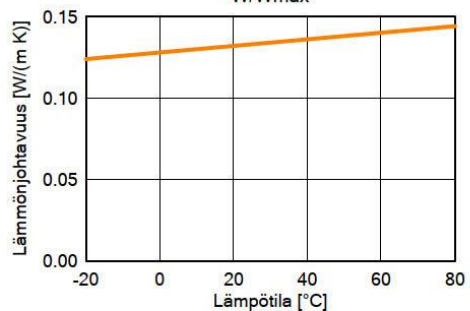
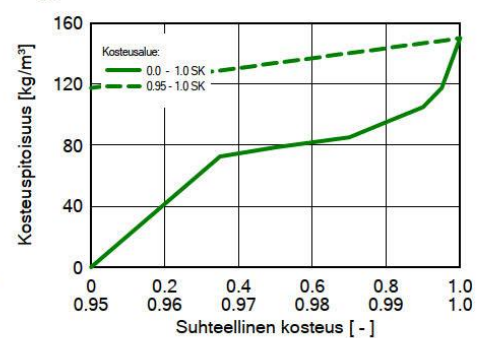
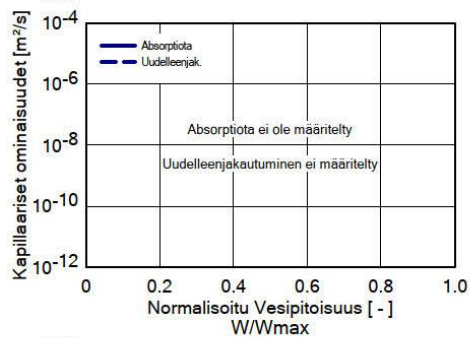
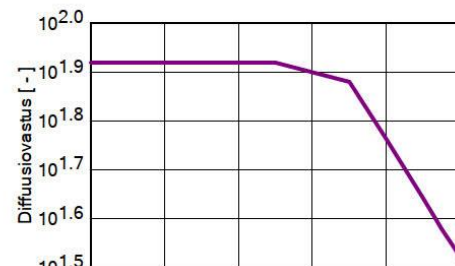
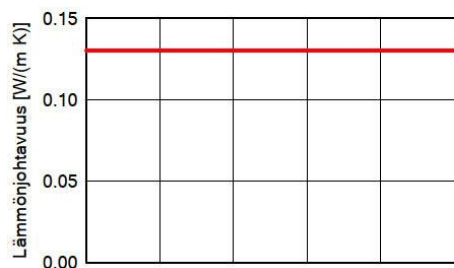
Kokonaispaksuus: 0,373 m

R-arvo: 6,03 (m² K)/WU-arvo: 0,161 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Kuitusementtilevy

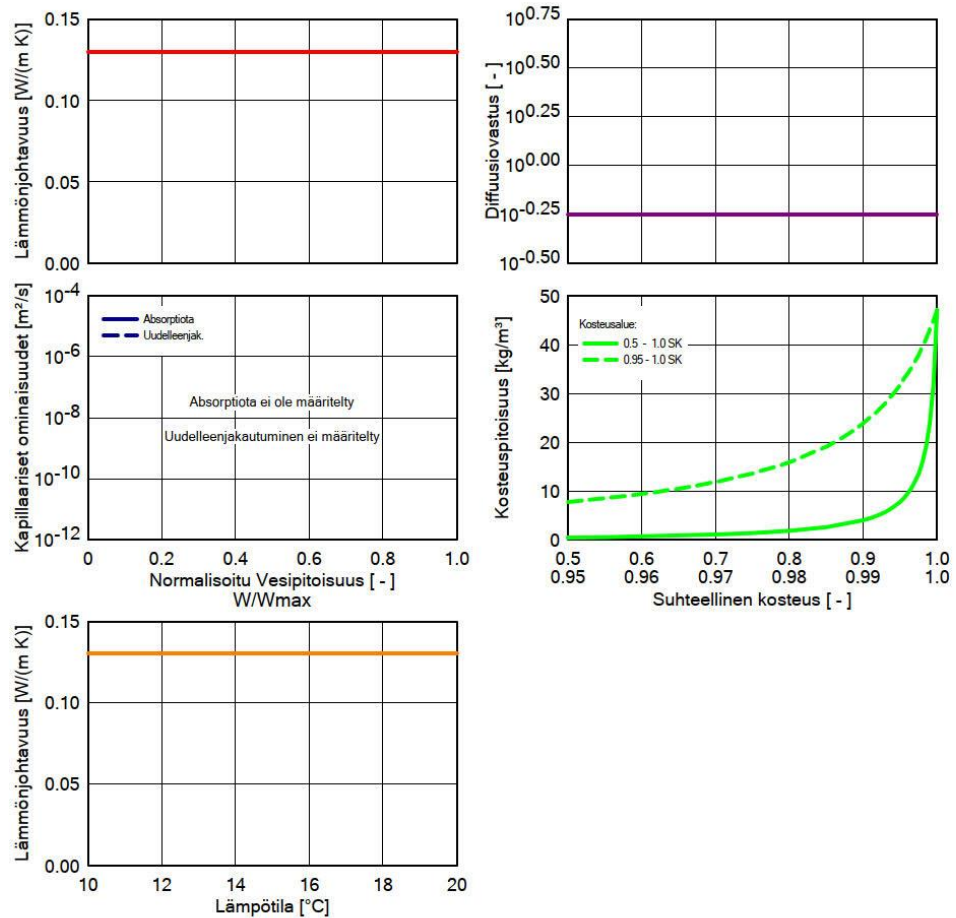
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1610
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.16
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	83.3
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

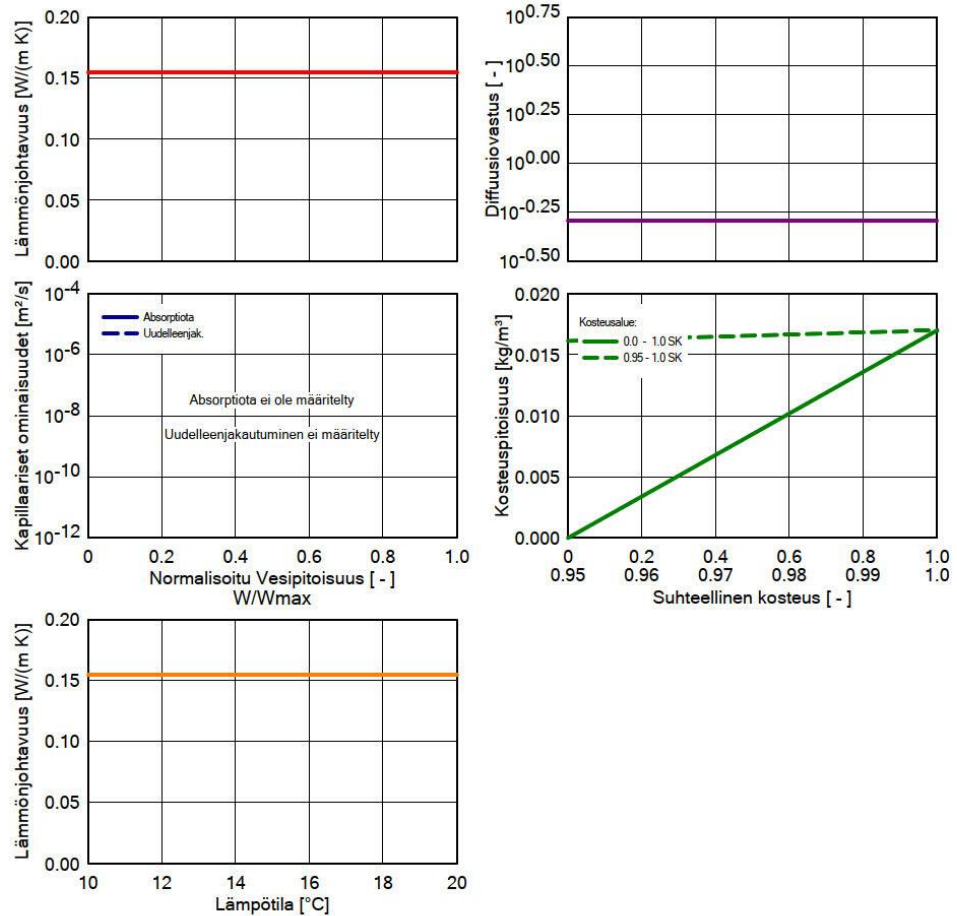
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 25 mm; without additional moisture capacity

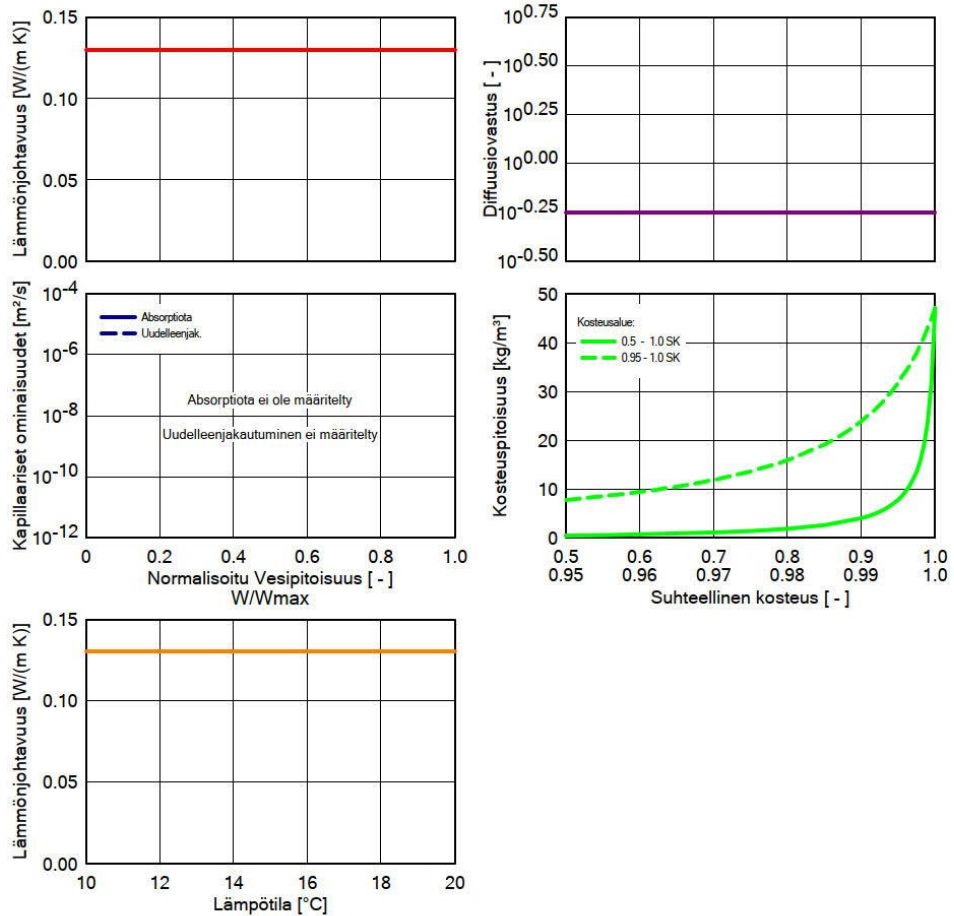
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.155
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.51



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

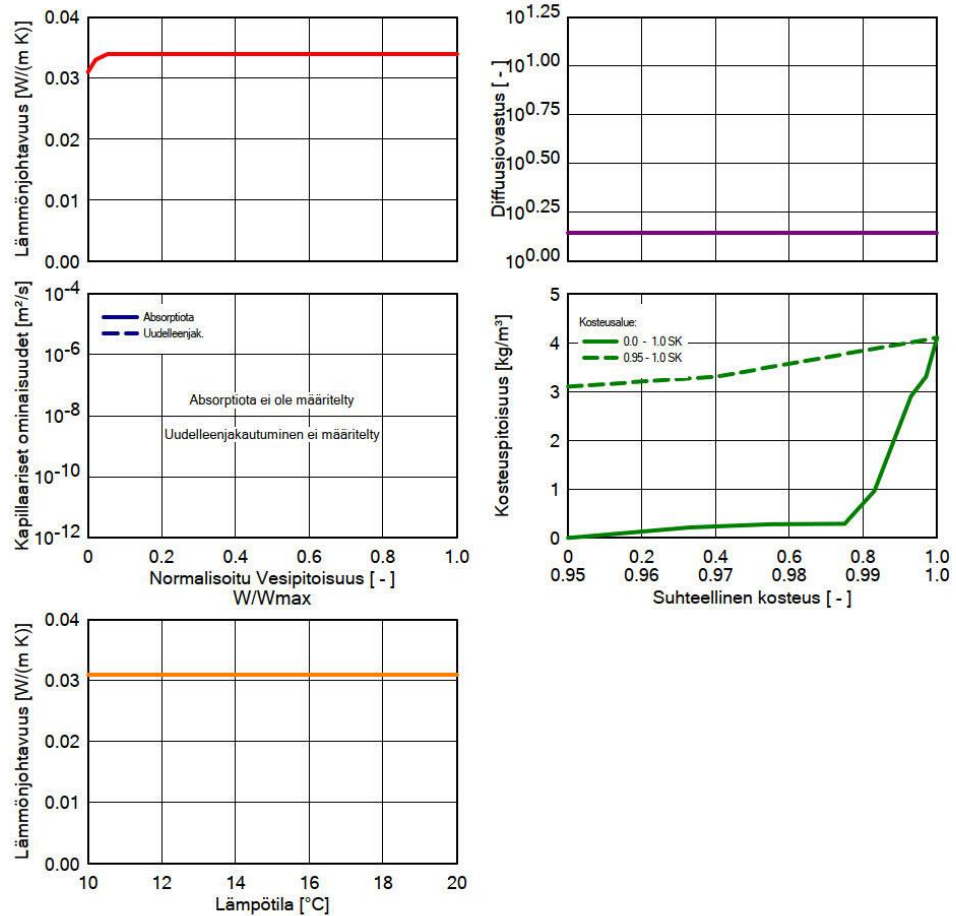
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *isover rkl tuulensuojaeriste

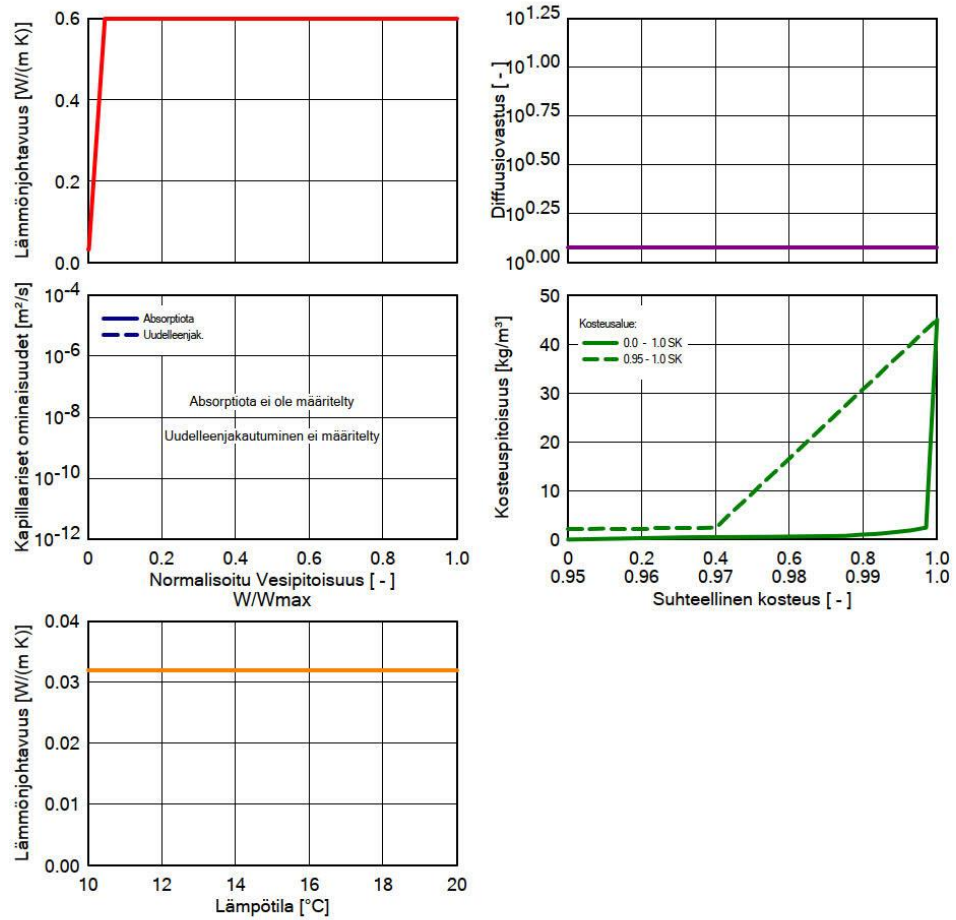
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	73
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.94
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.031
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	1.4



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Isover KL-32

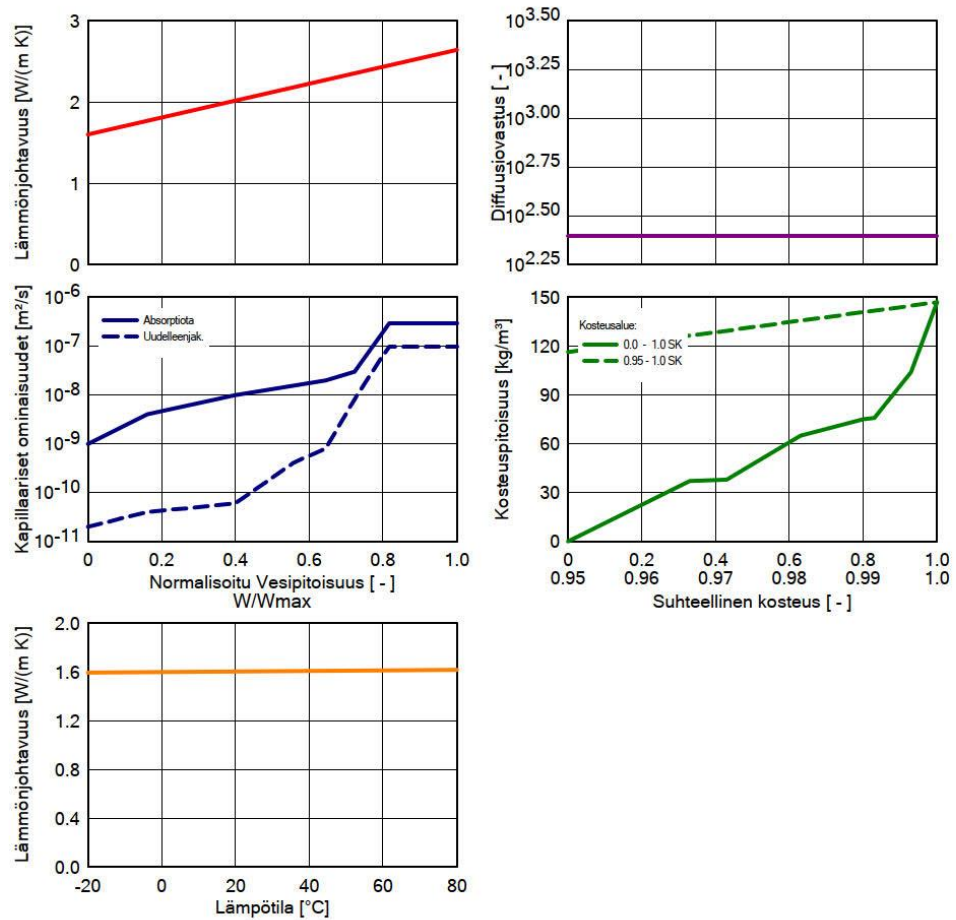
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	22
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.98
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.032
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.2



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *4 Betoni 2 (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_A2-2100.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 20 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin		[-]	0.5
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin		[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Lähteet, nielut

Ilmakerros 20 mm

Nimi	Tyyppi		
Lähde1	<i>Kosteuslähde; Osuus viistosateesta</i>		
	Koko kerros		
	Rajoitus vapaan veden kyllästystason mukaan	[kg/m ³]	
	ANSI/ASHRAE standard 160	[%]	1

Ilmakerros 25 mm; without additional moisture capacity

Nimi	Tyyppi		
Tuuletusrako	<i>Ilmanvaihtolähde</i>		
	Koko kerros		
	sekoitetun ilman lähde vasen puoli		
	Ilmanvaihtomäärä	[1/h]	250

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	16.11.2020 11.16.59
Laskennan kesto	3 min, 1 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergoitvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -1,76
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,06 0,34
Tase 1	[kg/m ²]	-7,98
Tase 2	[kg/m ²]	-8,06

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	18,86	10,69	9,13	19,03

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Kuitusementtilevy	95,00	96,45	49,91	126,71
Ilmakerros 20 mm	1,88	2,72	0,07	47,54
Ilmakerros 25 mm; without additional r	0,01	0,01	0,00	0,02
Ilmakerros 20 mm	1,88	2,67	0,08	11,22
*isover rkl tuulensuojaeriste	0,82	0,81	0,10	2,79
*Isover KL-32	0,98	0,84	0,38	1,64
*4 Betoni 2 (C35/45)	116,29	61,86	54,49	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-12888,89
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-396,15
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-1,65
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	1,59

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-1367,24
Tuuletusrako (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-1367,24
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	9,66
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	36,258
Lähde1 (Kosteuslähde)	[kg/m ²]	83,358

WUFI Pro 6.3

Hygroterminen lähde (Jatka)

Tuuletusrako (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-73,698
---------------------------------	----------------------	---------

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

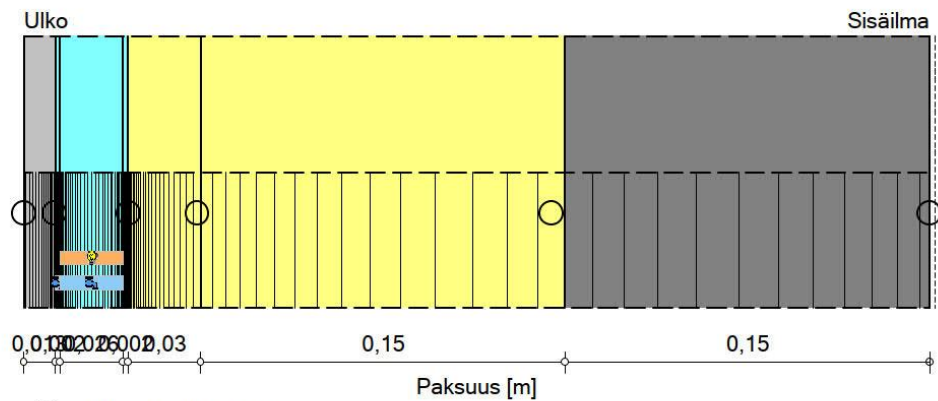
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Levyverhous, uudisrakennus
Päivämäärä 11.9.2020 8.20.27

WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit





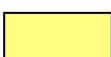
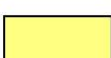

Tapaus: #2 Levyverhoos Vantaa nykyilmasto



○ - Monitorointipisteet

☞/☞ - Lämmön/Kosteuden lähteen/nielun sijainti

Materiaalit:

	- *Kuitusementtilevy	0,013 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- Ilmakerros 25 mm; without additional moisture capacity	0,026 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- *Isover rkl tuulensuojaeriste	0,03 m
	- *Isover KL-32	0,15 m
	- *4 Betoni 2 (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

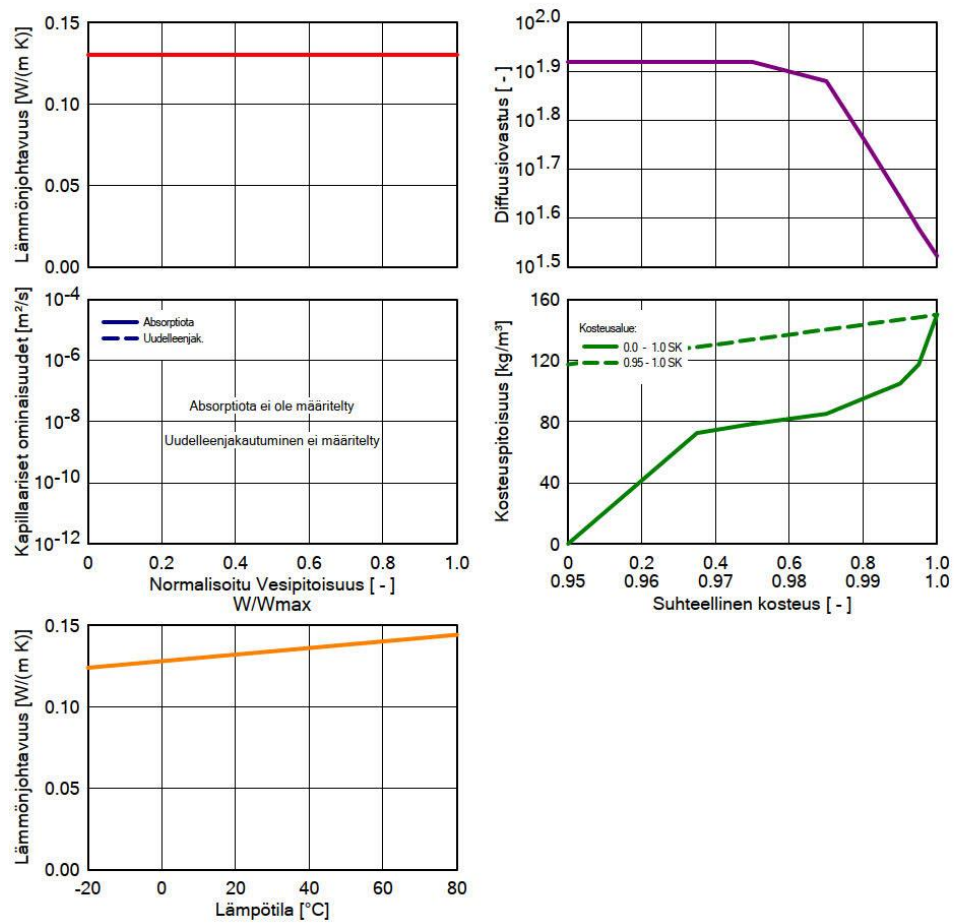
Kokonaispaksuus: 0,373 m

R-arvo: 6,03 (m² K)/WU-arvo: 0,161 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Kuitusementtilevy

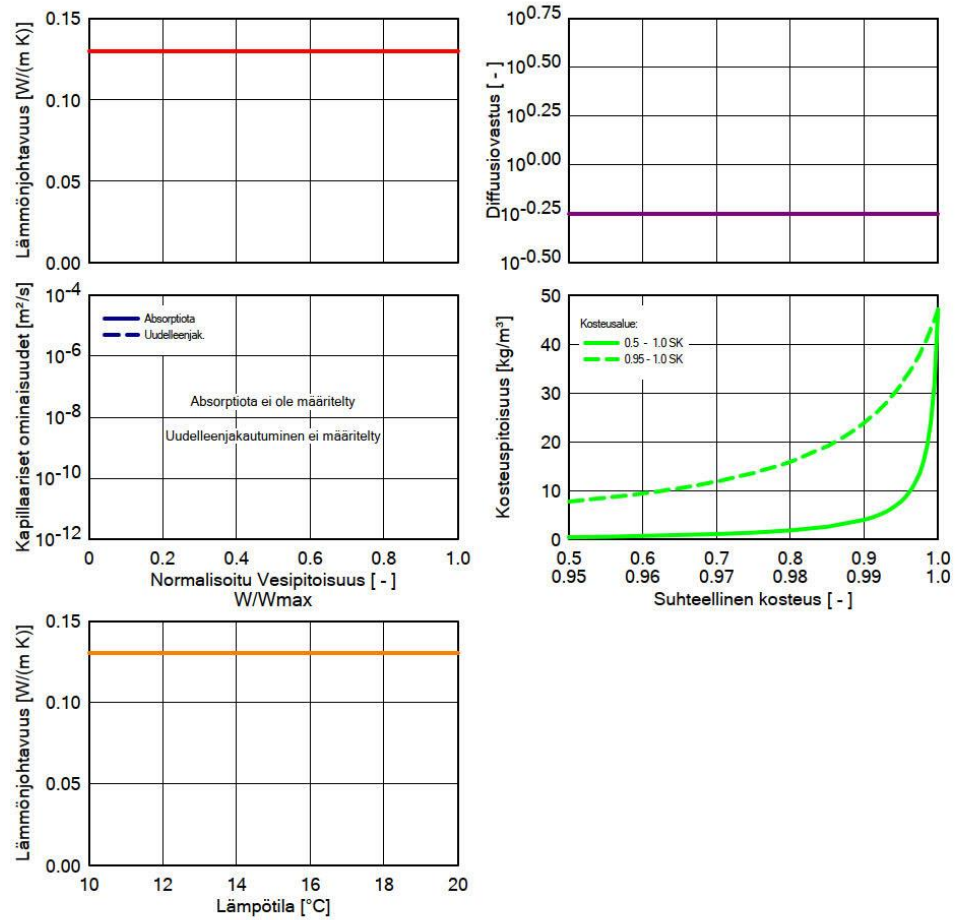
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1610
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.16
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	83.3
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

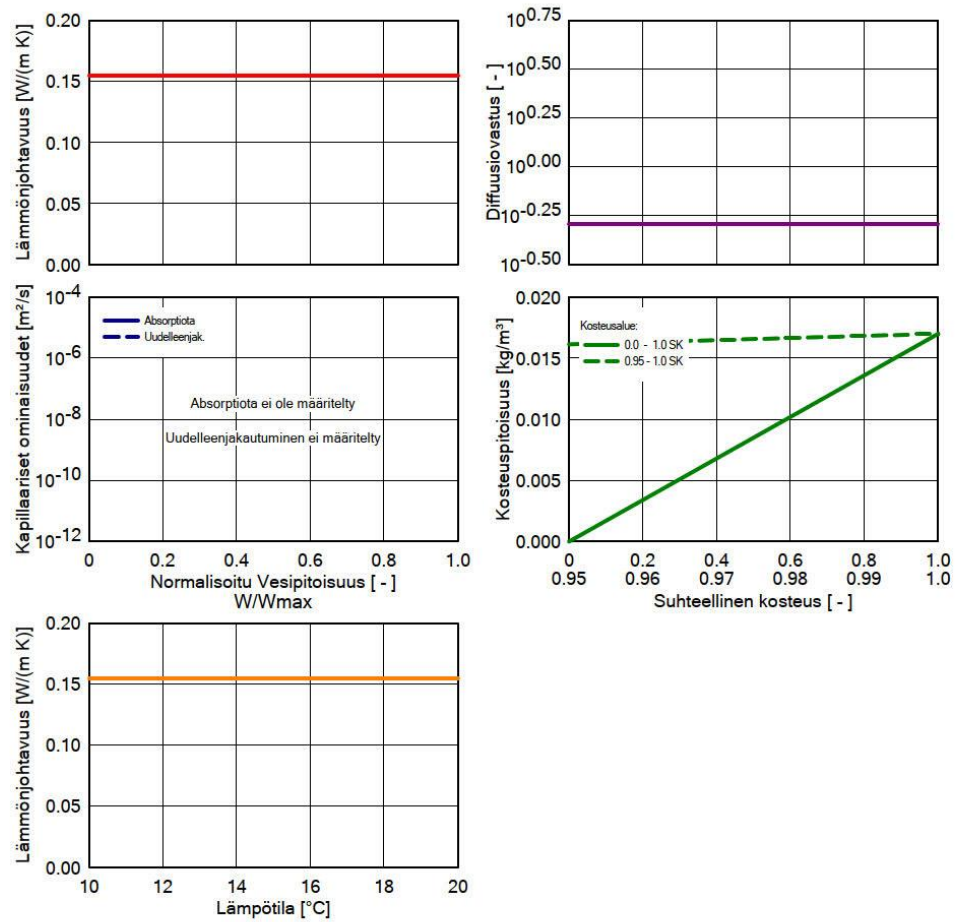
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 25 mm; without additional moisture capacity

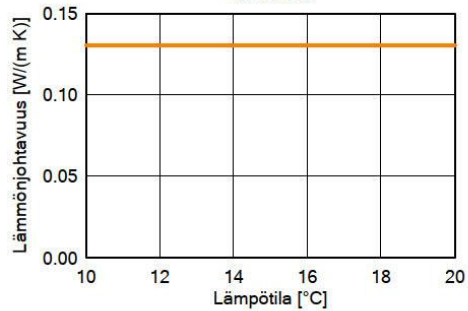
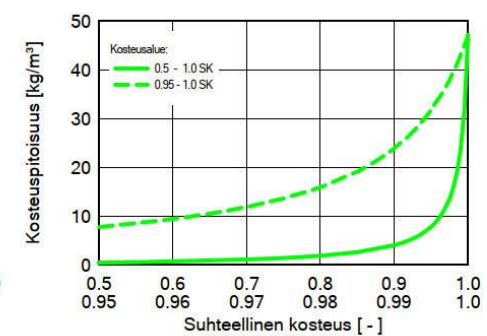
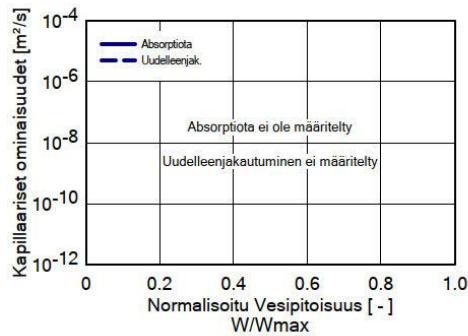
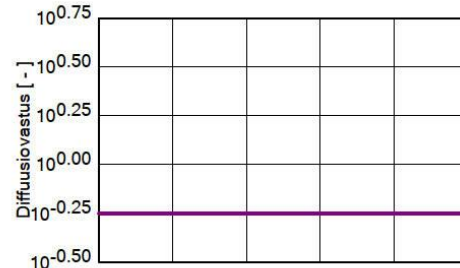
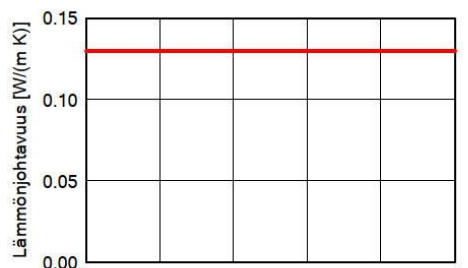
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.155
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.51



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

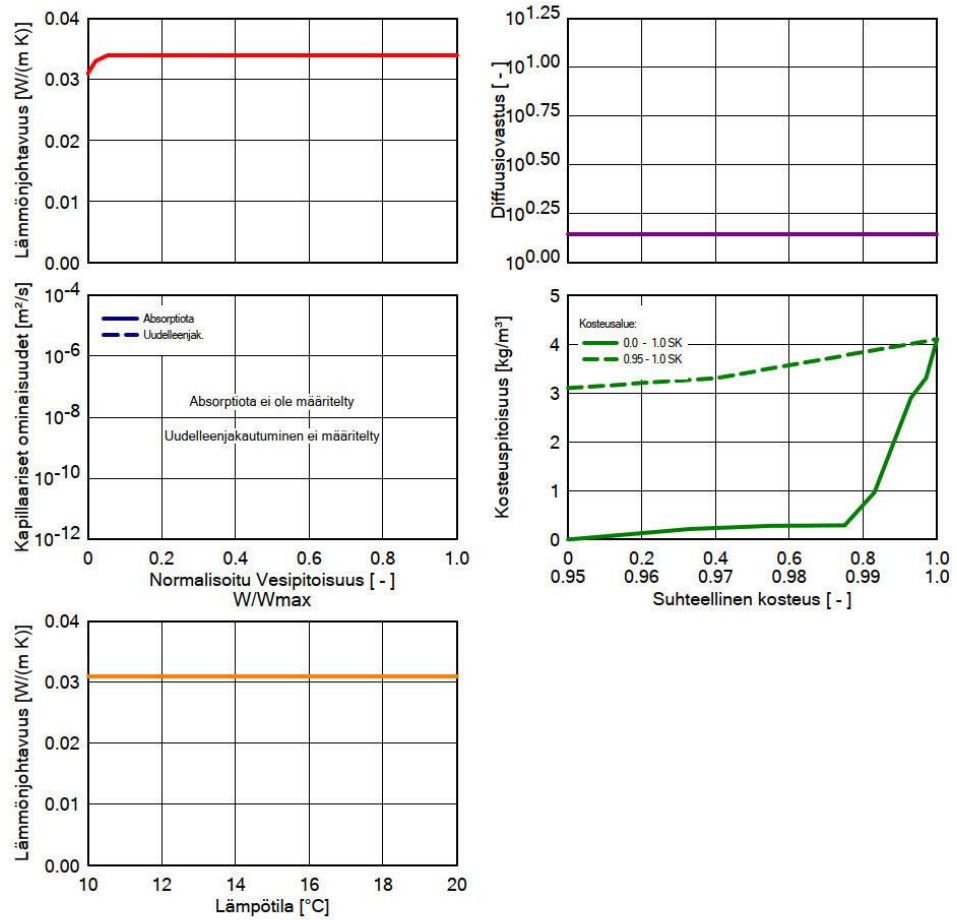
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *isover rkl tuulensuojaeriste

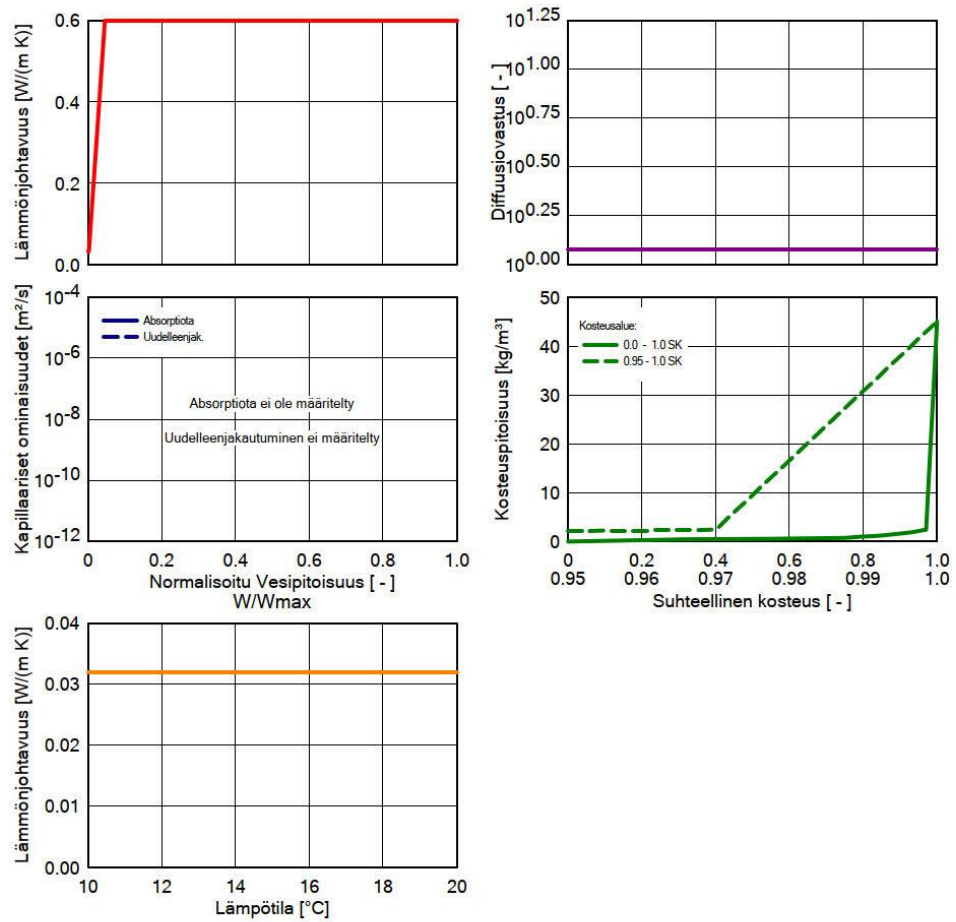
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	73
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.94
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.031
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.4



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Isover KL-32

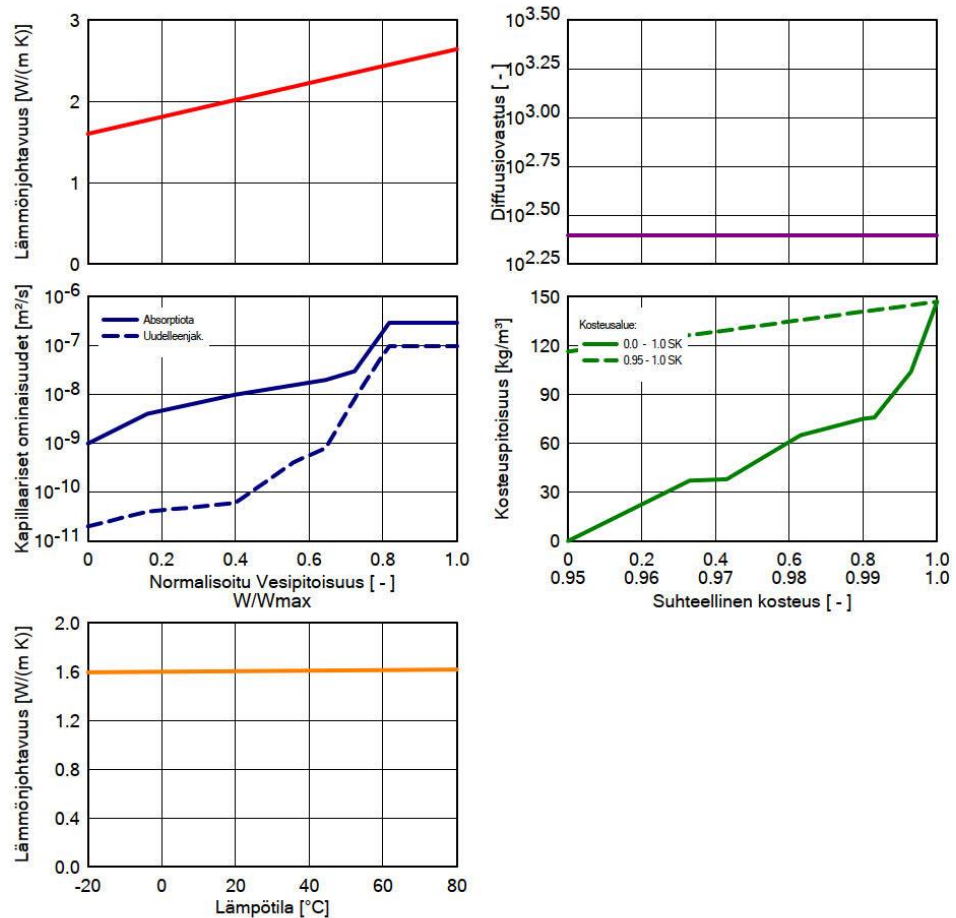
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	22
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.98
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.032
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.2



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *4 Betoni 2 (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_nyky.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 20 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin		[-]	0.5
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin		[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Lähteet, nielut

Ilmakerros 20 mm

Nimi	Tyyppi		
Lähde1	<i>Kosteuslähde; Osuus viistosateesta</i>		
	Koko kerros		
	Rajoitus vapaan veden kyllästystason muka	[kg/m ³]	
	ANSI/ASHRAE standard 160	[%]	1

Ilmakerros 25 mm; without additional moisture capacity

Nimi	Tyyppi		
Tuuletusrako	<i>Ilmanvaihtolähde</i>		
	Koko kerros		
	sekoitetun ilman lähde vasen puoli		
	Ilmanvaihtomäärä	[1/h]	250

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	16.11.2020 11.20.01
Laskennan kesto	2 min,57 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergoitvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -1,5
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	1,96 0,02
Tase 1	[kg/m ²]	-9,54
Tase 2	[kg/m ²]	-9,58

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	18,86	9,11	7,83	18,98

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Kuitusementtilevy	95,00	96,82	53,00	120,84
Ilmakerros 20 mm	1,88	2,72	0,08	48,02
Ilmakerros 25 mm; without additional r	0,01	0,01	0,00	0,02
Ilmakerros 20 mm	1,88	2,58	0,08	8,72
*isover rkl tuulensuojaeriste	0,82	0,67	0,11	2,81
*Isover KL-32	0,98	0,70	0,28	1,56
*4 Betoni 2 (C35/45)	116,29	51,42	46,18	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-13744,0
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-630,46
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	-1,49
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	2,2

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-1540,24
Tuuletusrako (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-1540,24
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	0,897
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	14,963
Lähde1 (Kosteuslähde)	[kg/m ²]	67,633

WUFI Pro 6.3

Hygroterminen lähde (Jatka)

Tuuletusrako (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-66,736
---------------------------------	----------------------	---------

Liite 5. Kuorimuuraus Wufi laskenta-asetukset

1 (26)

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

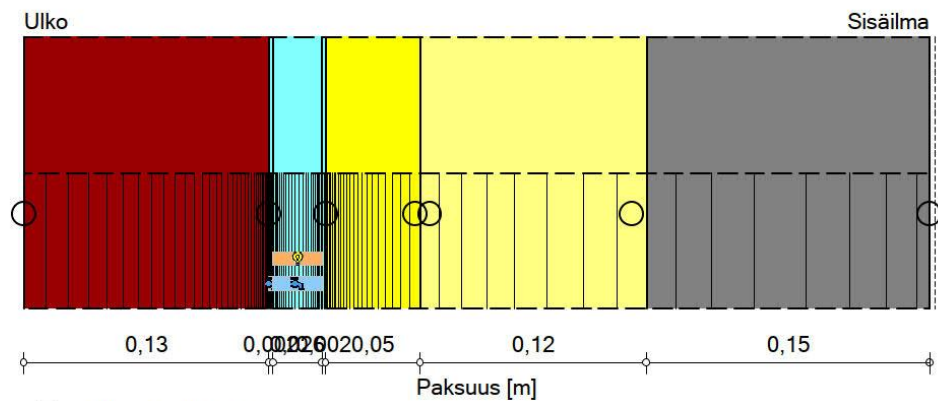
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Kuorimuuraus, uudisrakennus
Päivämäärä 7.10.2020 8.20.27

WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit








Tapaus: #1 Kuorimuuraus Vantaa 2100



○ - Monitorointipisteet

🔥/❄️ - Lämmön/Kosteuden lähteen/nielun sijainti

Materiaalit:

	- *Kuorimuuraus	0,13 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- Ilmakerros 20 mm; without additional moisture capacity	0,026 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- *Isover RKL tuulensuojaeriste	0,05 m
	- *Isover KL-32	0,12 m
	- *4 Betoni 2 (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

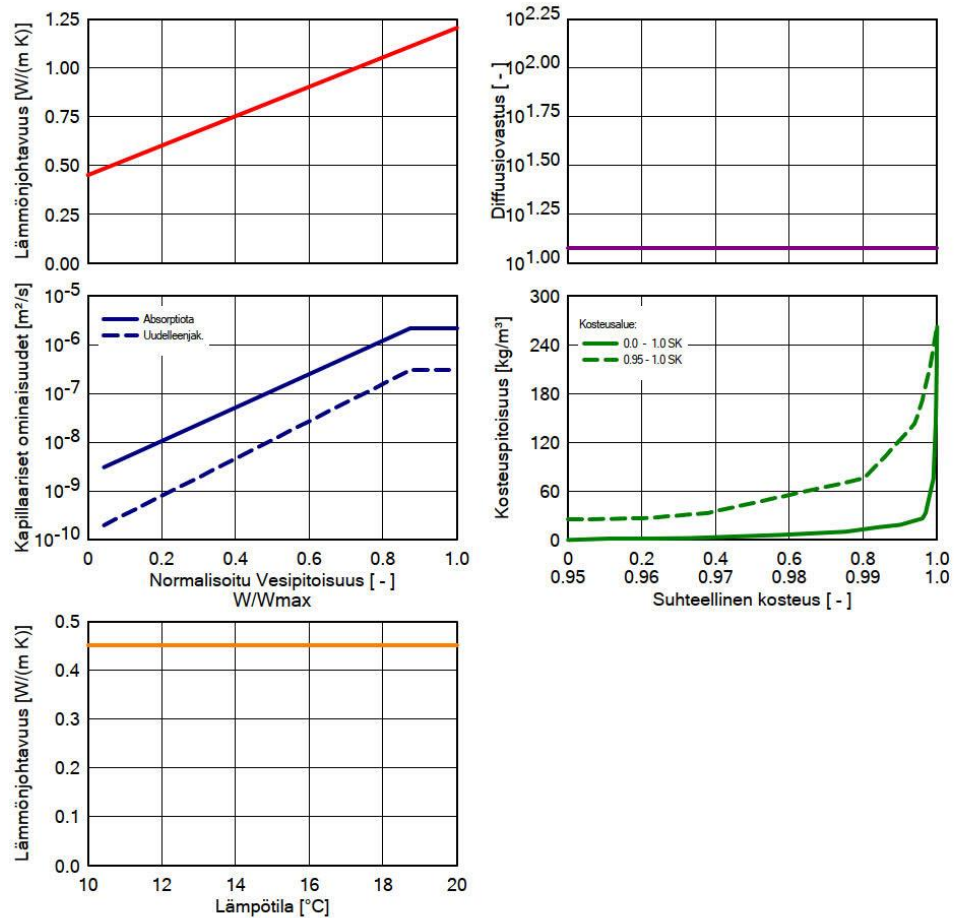
Kokonaispaksuus: 0,48 m

R-arvo: 5,94 (m² K)/WU-arvo: 0,163 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Kuorimuuraus

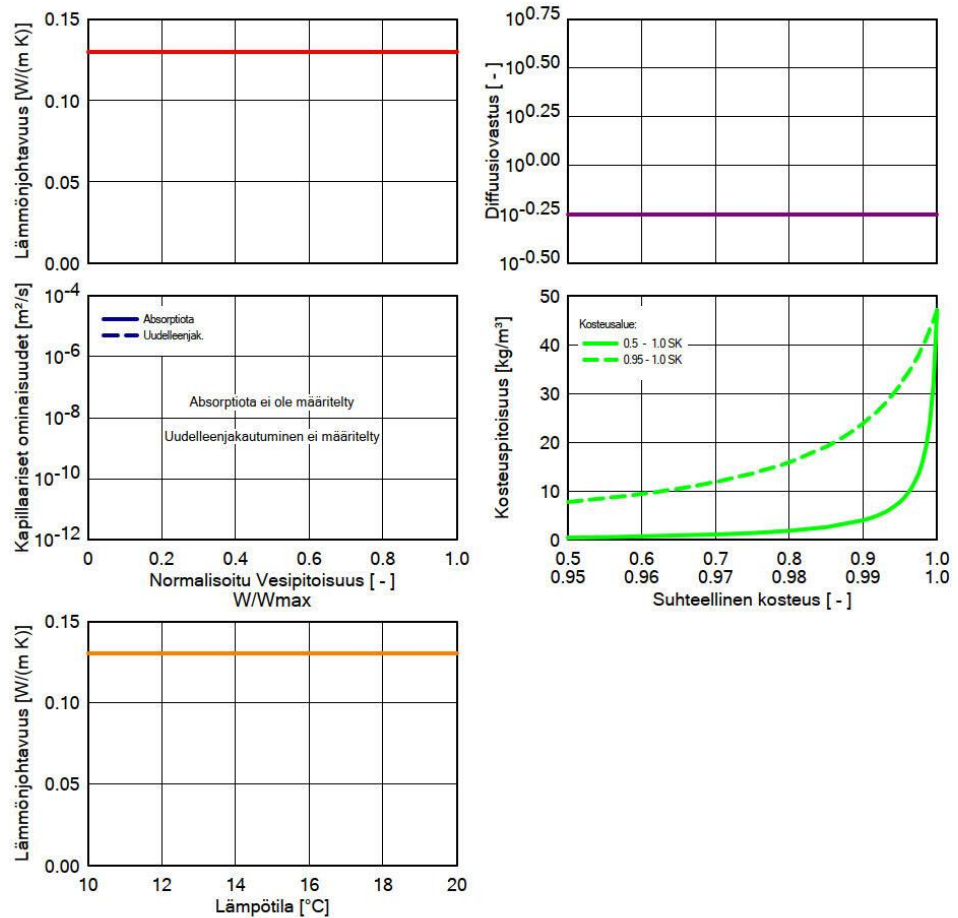
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1430
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.3
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	900
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.45
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	12



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

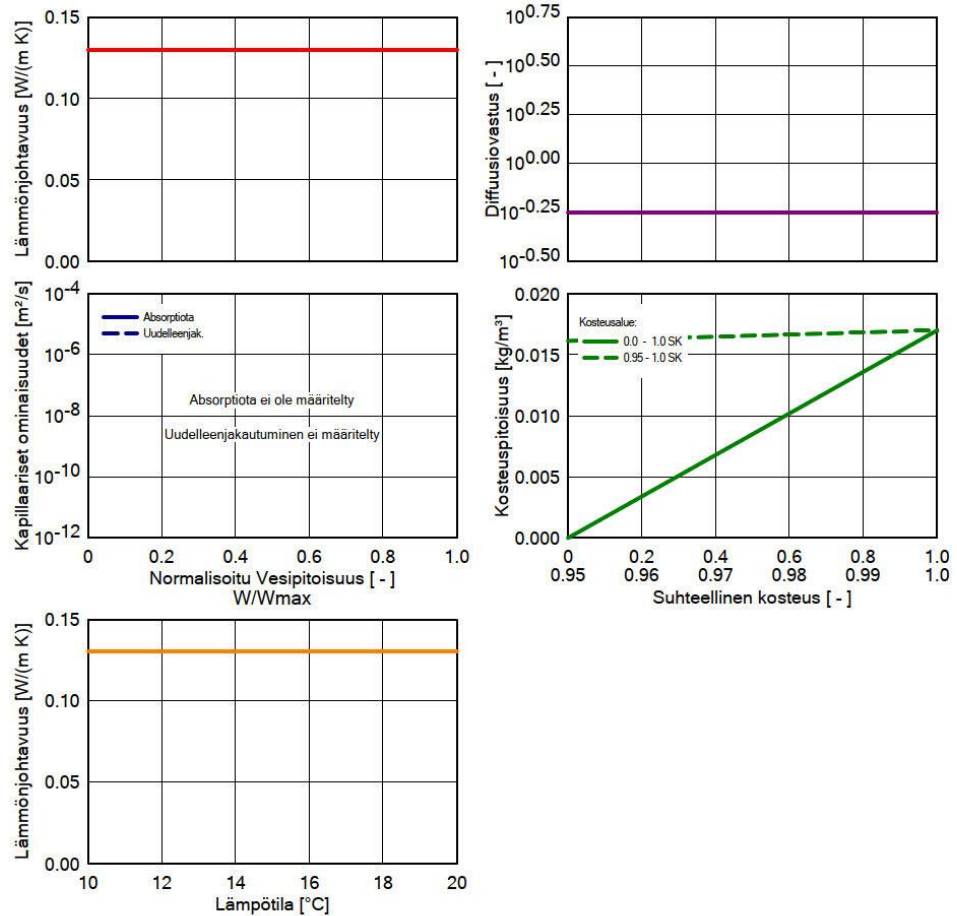
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm; without additional moisture capacity

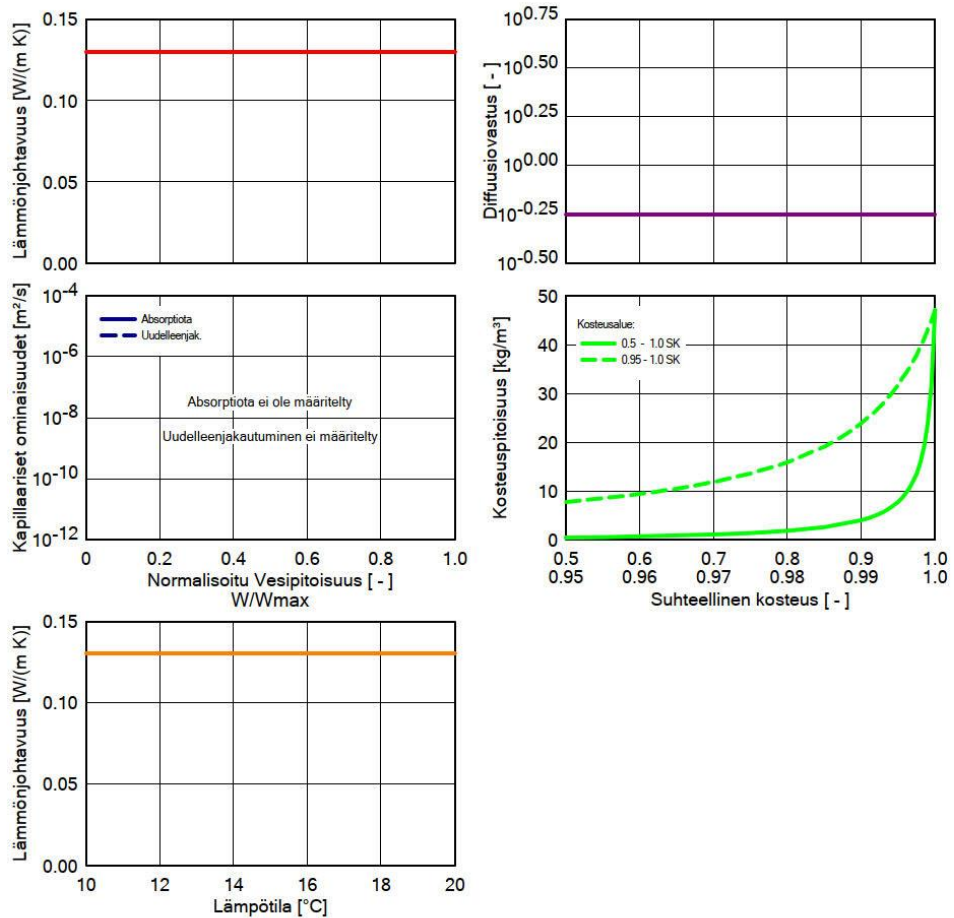
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

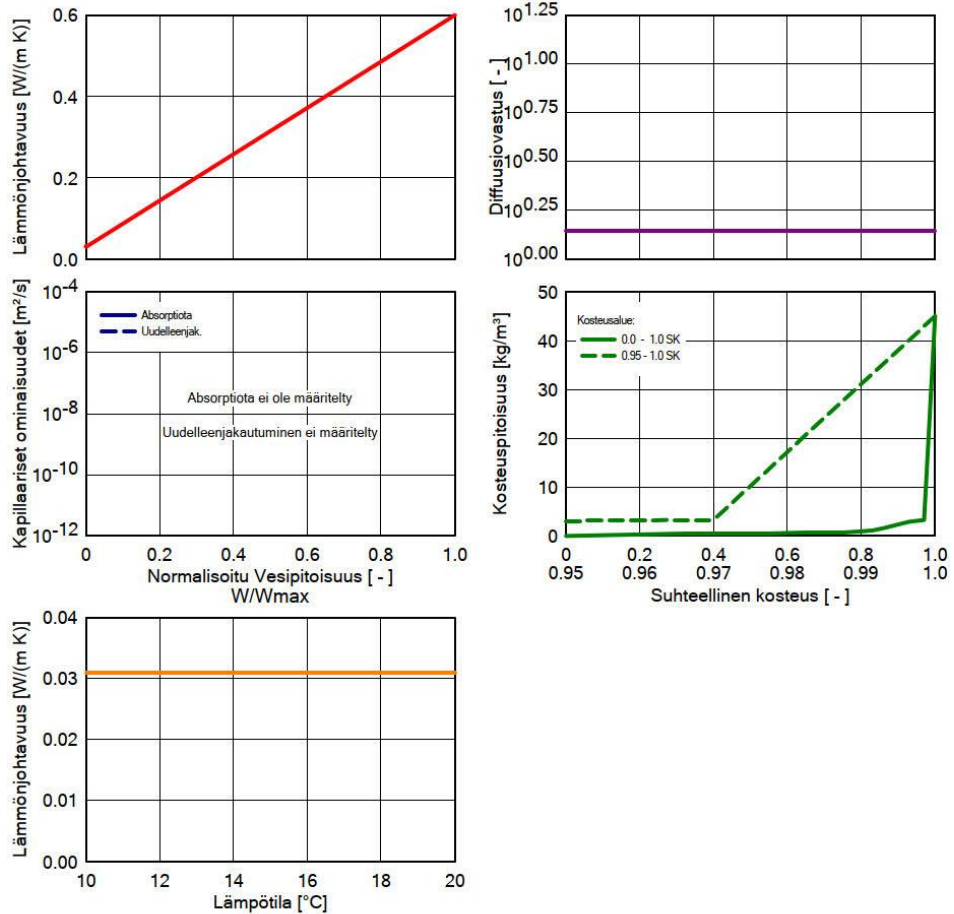
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Isover RKL tuulensuojaeriste

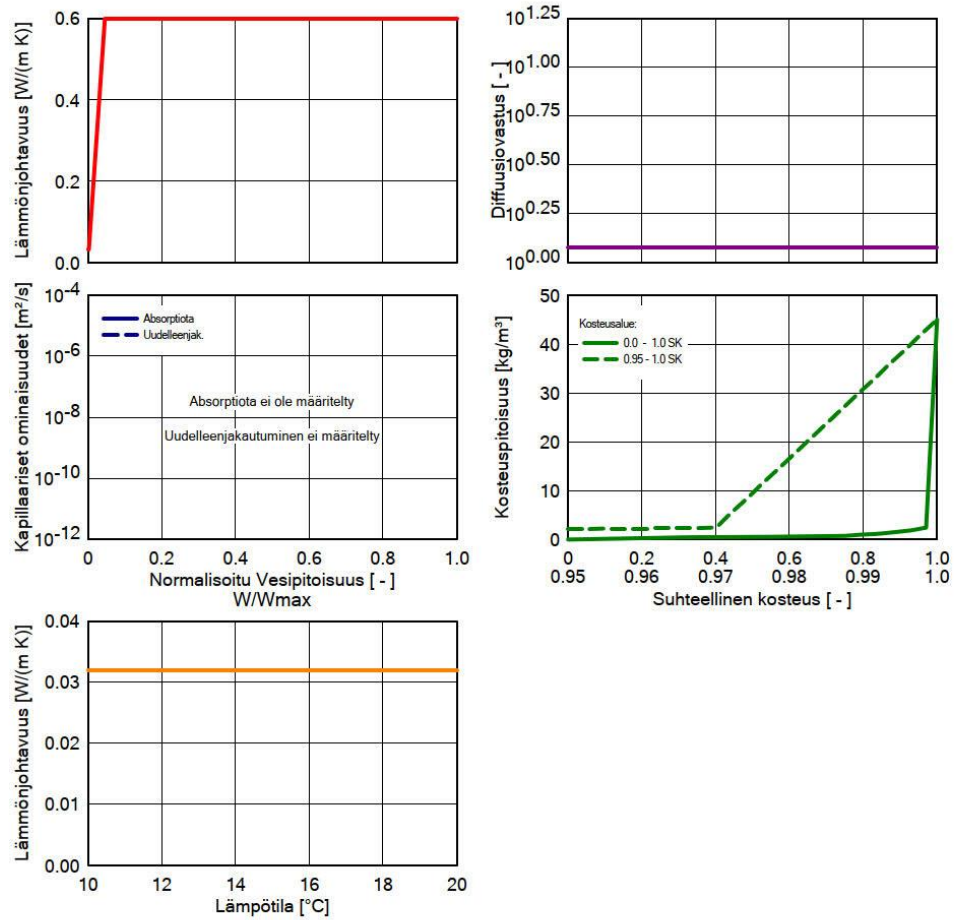
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	73
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.94
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.031
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	1.4



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Isover KL-32

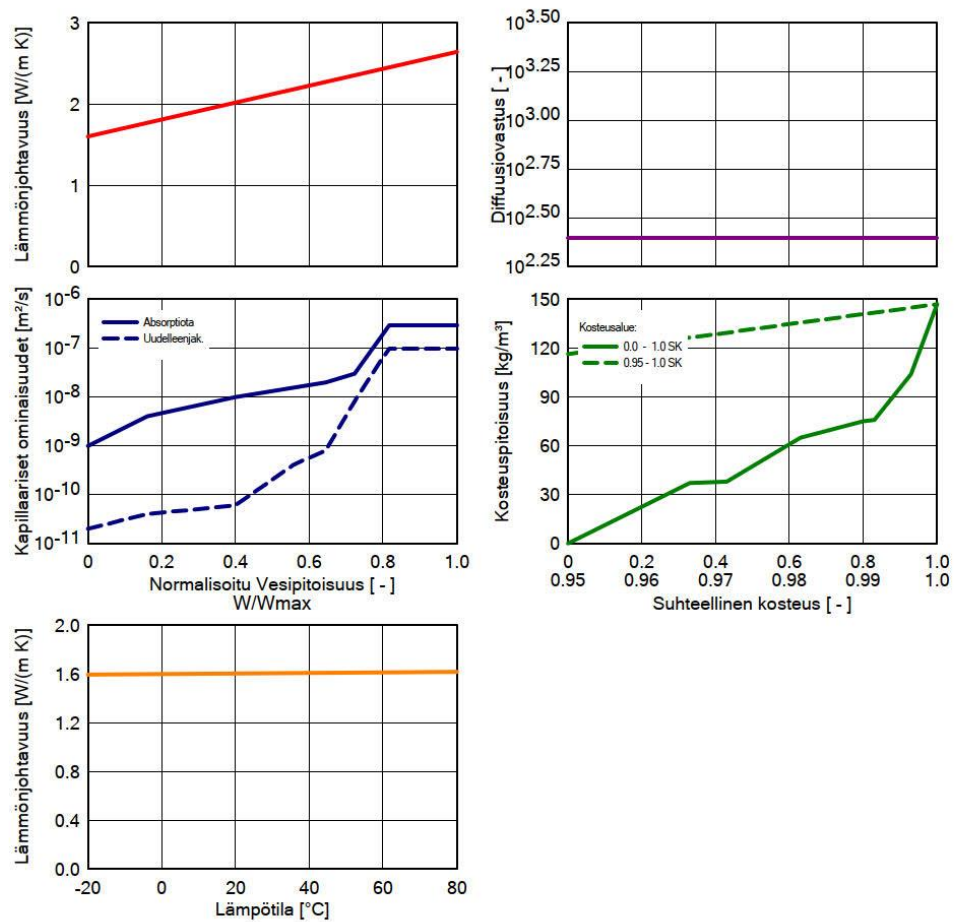
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	22
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.98
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.032
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.2



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *4 Betoni 2 (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_A2-2100.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 20 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Tiili, punainen	[-]	0.67
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Tiili, punainen	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Lähteet, nielut

Ilmakerros 20 mm

Nimi	Tyyppi		
Lähde1	<i>Kosteuslähde; Osuus viistosateesta</i>		
	Koko kerros		
	Rajoitus vapaan veden kyllästystason mukaan	[kg/m ³]	
	ANSI/ASHRAE standard 160	[%]	1

Ilmakerros 20 mm; without additional moisture capacity

Nimi	Tyyppi		
Ilmanvaihto tuuletusraossa	<i>Ilmanvaihtolähde</i>		
	Koko kerros		
	sekoitetun ilman lähde vasen puoli		
	Ilmanvaihtomäärä	[1/h]	25

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	16.11.2020 13.31.54
Laskennan kesto	5 min,36 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	355,67 -148,99
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	12,81 0,54
Tase 1	[kg/m ²]	15,58
Tase 2	[kg/m ²]	14,3

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	19,34	36,11	12,45	51,46

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Kuorimuuraus	13,25	172,75	13,25	263,07
Ilmakerros 20 mm	1,88	38,66	0,45	47,70
Ilmakerros 20 mm; without additional r	0,01	0,02	0,01	0,76
Ilmakerros 20 mm	1,88	17,59	0,43	28,07
*Isover RKL tuulensuojaeriste	0,91	10,51	0,57	14,21
*Isover KL-32	0,98	4,94	0,46	12,91
*4 Betoni 2 (C35/45)	116,29	82,80	60,39	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-12444,06
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-350,0
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	208,26
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	13,63

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-177,16
Ilmanvaihto tuuletusraossa (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-177,16
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-166,118
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	65,112
Lähde1 (Kosteuslähde)	[kg/m ²]	54,815

WUFI Pro 6.3

Hygroterminen lähde (Jatka)

Ilmanvaihto tuuletusraossa (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-220,933
---	----------------------	----------

WUFI Pro 6.3

Projektitiedot

Projektin nimi Opinnäytetyö Arttu Lehtonen
Projektin numero

Asiakas
Yhteyshenkilö
Paikka/P.nro.
Katuosoite

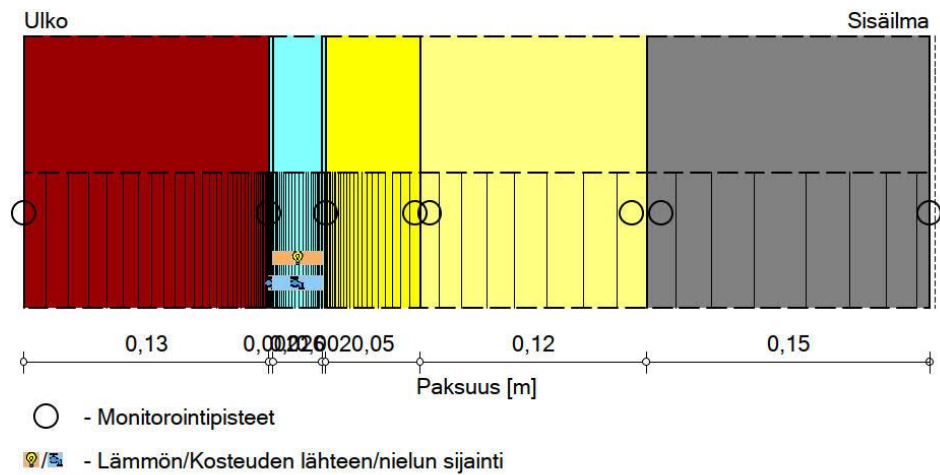
Puhelin
Fax
s-posti

Vastuhenkilö Arttu Lehtonen
Huomioita Kuorimuuraus, uudisrakennus
Päivämäärä 7.10.2020 8.20.27

WUFI Pro 6.3

Rakennekomponentit

Tapaus: #2 Kuorimuuraus Vantaa nykyilmasto



Materiaalit:

	- *Kuorimuuraus	0,13 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- Ilmakerros 20 mm; without additional moisture capacity	0,026 m
	- Ilmakerros 20 mm	0,002 m
	- *Isover RKL tuulensuojaeriste	0,05 m
	- *Isover KL-32	0,12 m
	- *4 Betoni 2 (C35/45)	0,15 m

Sd-arvo Sisä. [m]: 0.2

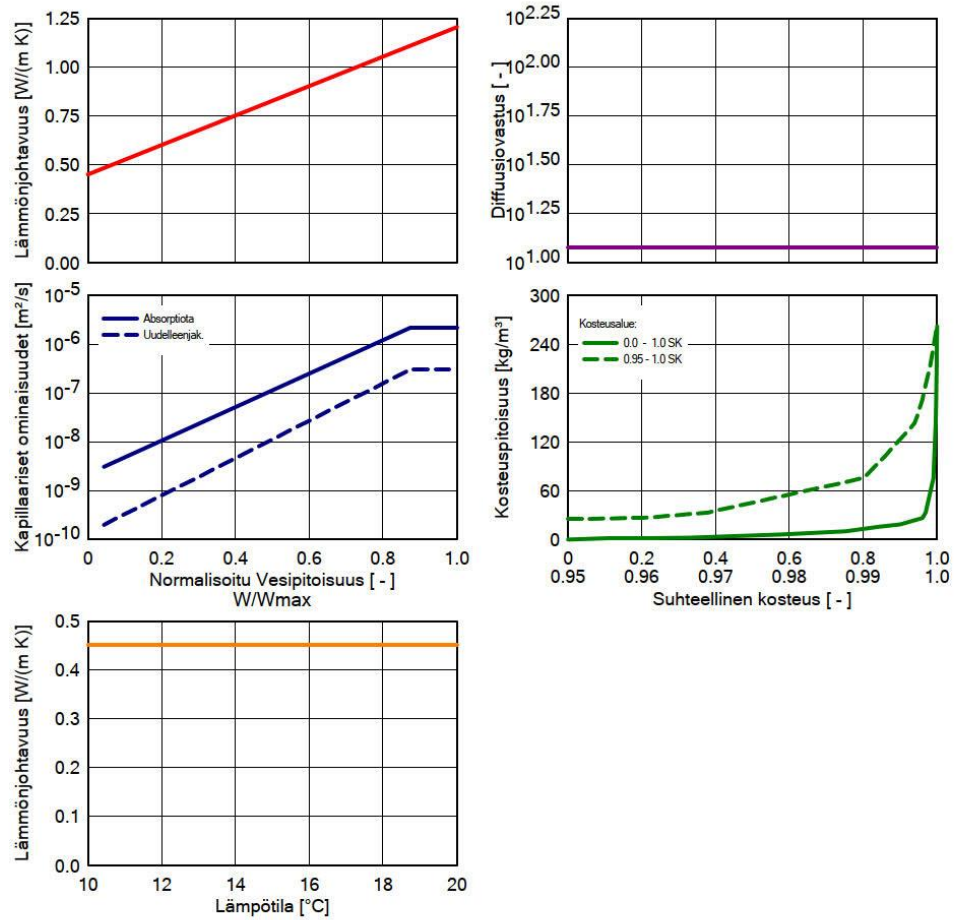
Kokonaispaksuus: 0,48 m

R-arvo: 5,94 (m² K)/WU-arvo: 0,163 W/(m² K)

WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Kuurimuuraus

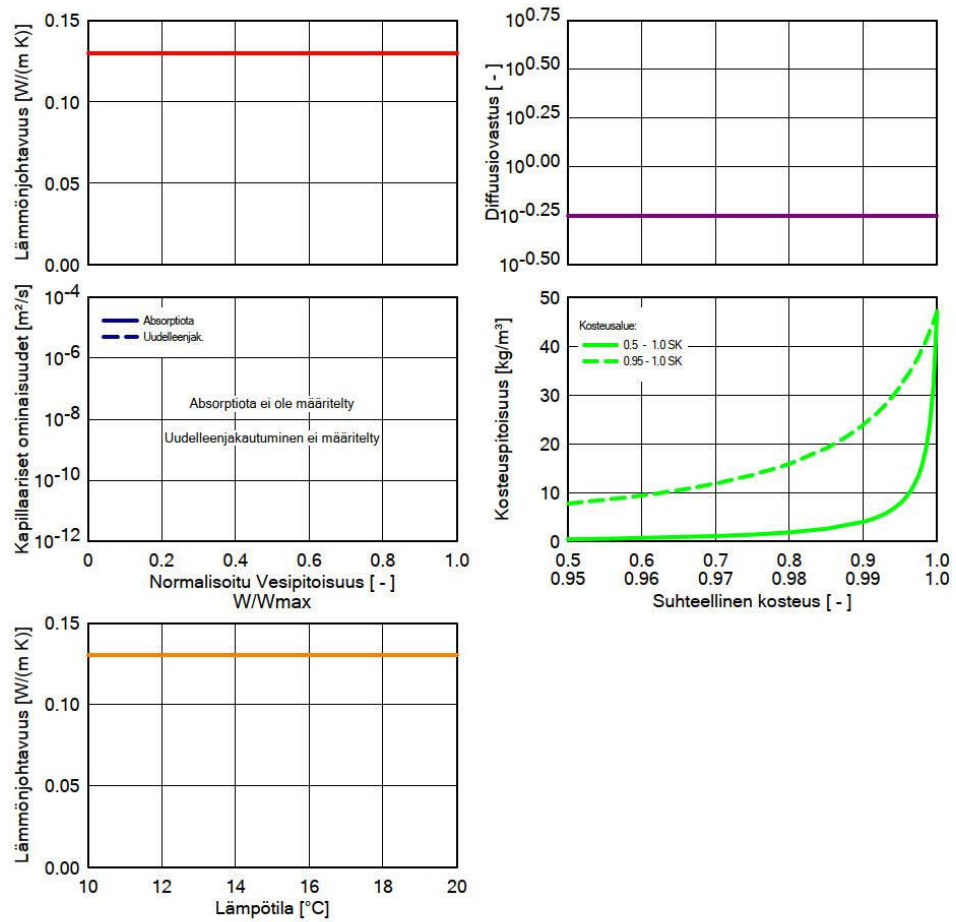
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1430
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.3
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	900
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.45
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	12



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

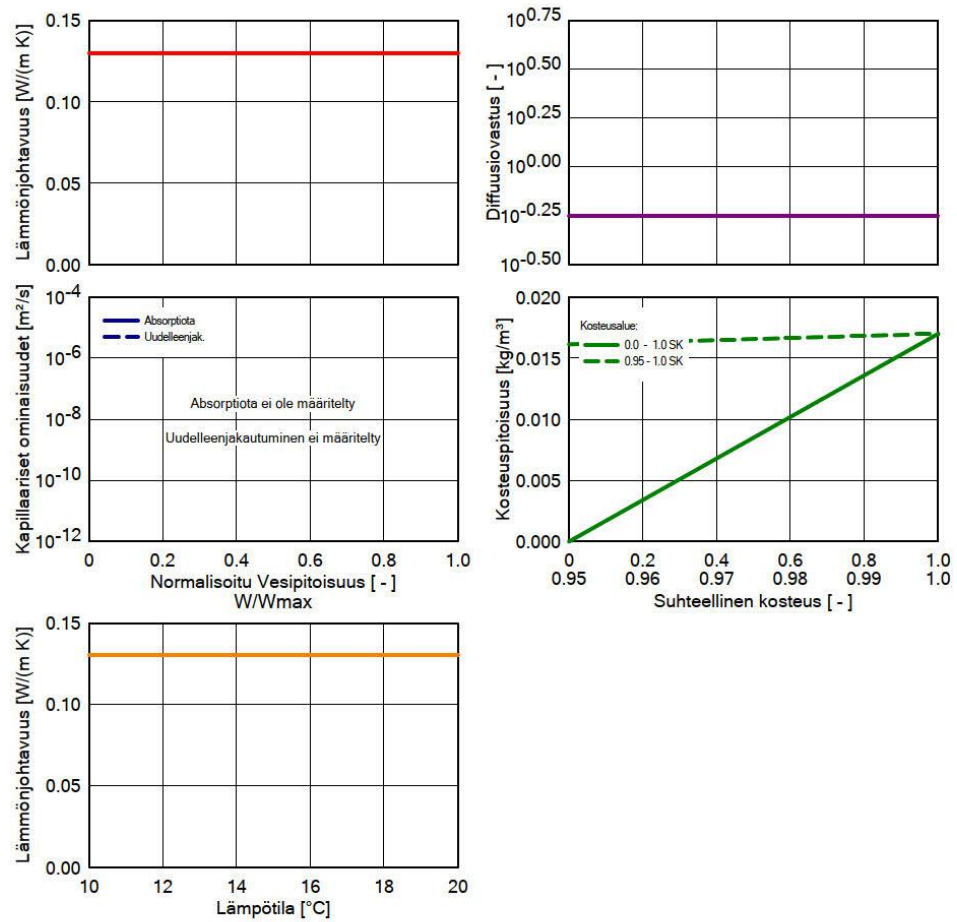
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm; without additional moisture capacity

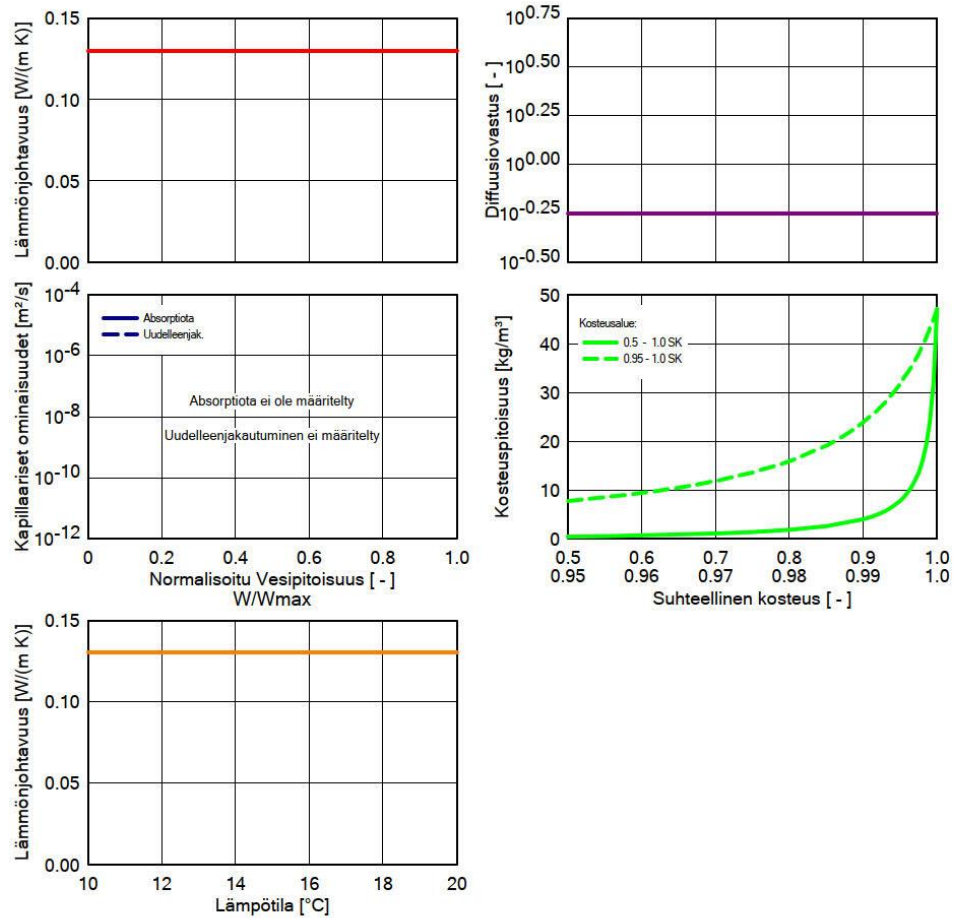
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: Ilmakerros 20 mm

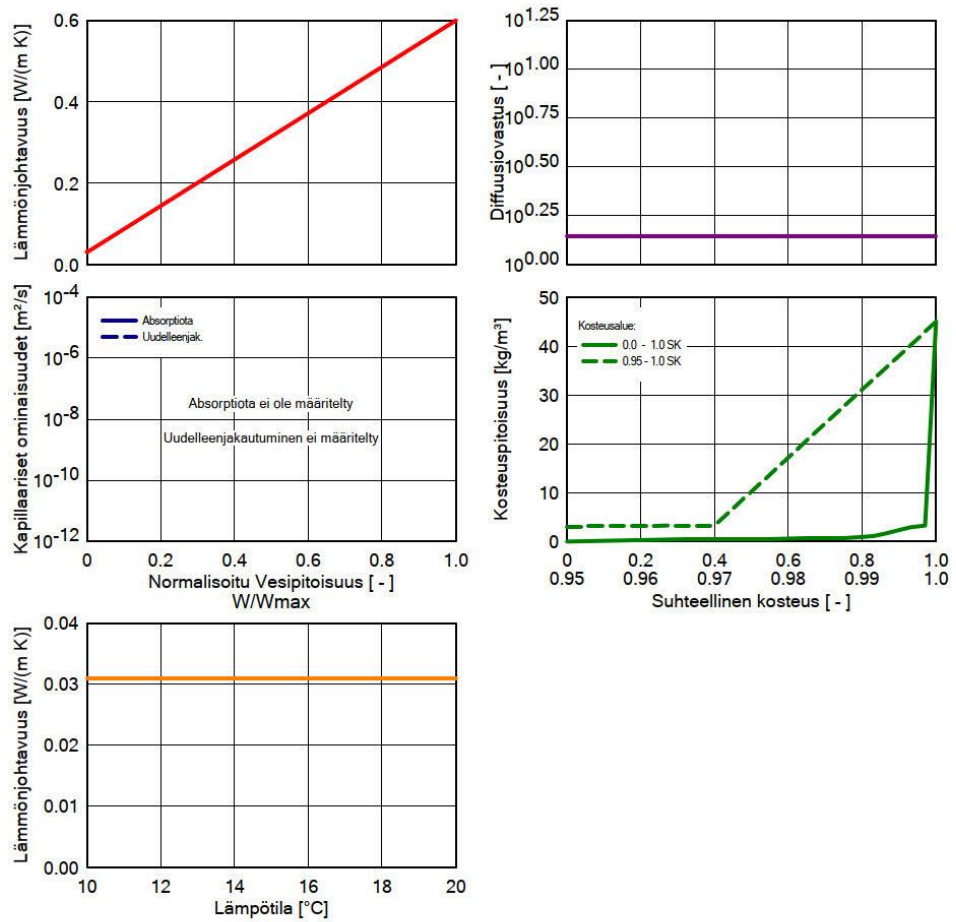
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	1.3
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.999
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	1000
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Vesihöyryn diffuusiiovastuskerroin	[-]	0.56



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Isover RKL tuulensuojaeriste

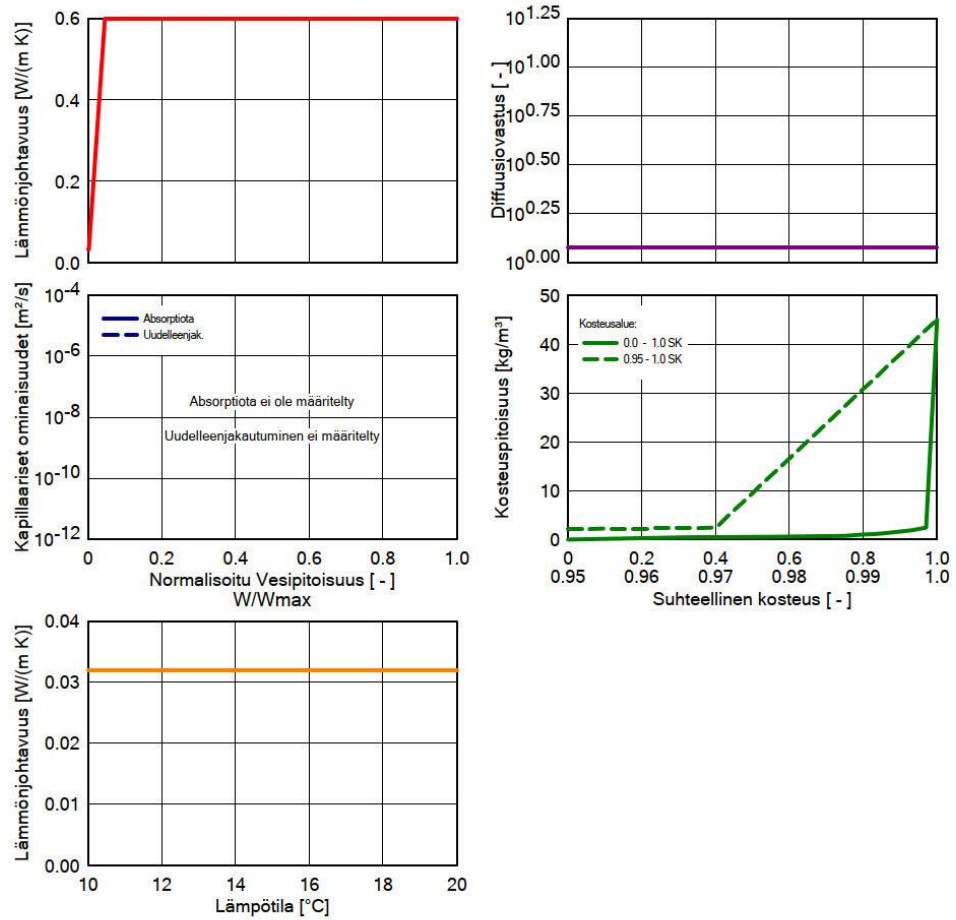
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	73
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.94
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.031
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.4



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *Isover KL-32

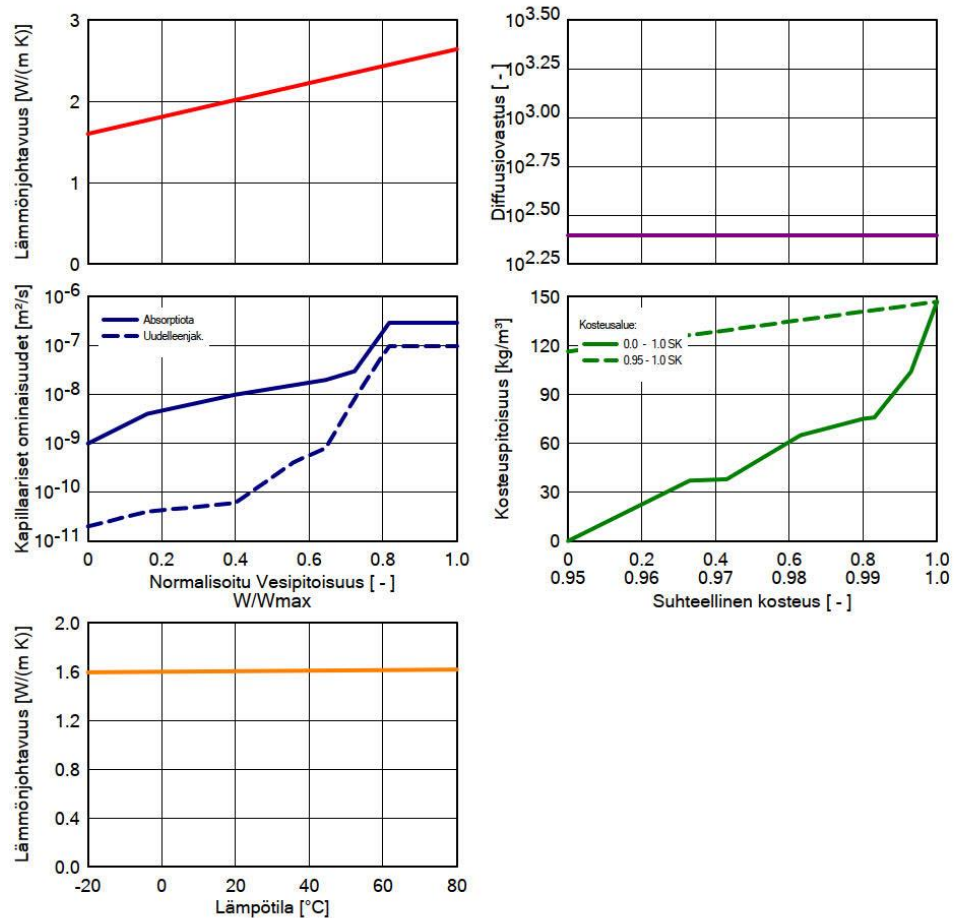
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	22
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.98
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	0.032
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	1.2



WUFI Pro 6.3

Materiaali: *4 Betoni 2 (C35/45)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m ³]	2220
Huokoisuus	[m ³ /m ³]	0.18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/(kg K)]	850
Lämmönjohtavuus, Kuiva, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[-]	248
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/(m K ²)]	0.0002



WUFI Pro 6.3

Reunaehdot

Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: Vantaa_2007_nyky.wac
 Lämpötilamuutos: 0.0 °C
 Ilmansuunta / Kallistuskulma: Etelä / 90 °

Sisäpuoli (oikea)

Sisäilmasto: EN 13788
 Käyttäjän määrittelemä; Lämpötila: 20 °C

Pinnan siirtokertoimet

Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.0588 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Tiili, punainen	[-]	0.67
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Tiili, punainen	[-]	----
Sateen absorptiokerroin	Riippuen komponentin kall	[-]	0,7
Explisiittinen säteilytase			ei

Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus	Ulkoseinä	[(m ² K)/W]	0.125
Sd-arvo	Lateksimaali 1	[m]	0.2

WUFI Pro 6.3

Lähteet, nielut

Ilmakerros 20 mm

Nimi	Tyyppi		
Lähde1	<i>Kosteuslähde; Osuus viistosateesta</i>		
	Koko kerros		
	Rajoitus vapaan veden kyllästystason muka	[kg/m ³]	
	ANSI/ASHRAE standard 160	[%]	1

Ilmakerros 20 mm; without additional moisture capacity

Nimi	Tyyppi		
Ilmanvaihto tuuletusraossa	<i>Ilmanvaihtolähde</i>		
	Koko kerros		
	sekoitetun ilman lähde vasen puoli		
	Ilmanvaihtomäärä	[1/h]	25

WUFI Pro 6.3

Viimeisen laskennan tulokset

Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	16.11.2020 13.37.32
Laskennan kesto	6 min,55 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 30.9.2030
Konvergoitvirheiden lukumäärä	0

Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m ²]	303,12 -126,34
Virrat s (kr,dr)	[kg/m ²]	4,03 0,11
Tase 1	[kg/m ²]	14,14
Tase 2	[kg/m ²]	13,31

Kosteuspitoisuus [kg/m²]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	19,34	34,98	11,73	50,91

Kosteuspitoisuus [kg/m³]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Kuorimuuraus	13,25	188,26	13,16	266,71
Ilmakerros 20 mm	1,88	39,06	0,54	51,27
Ilmakerros 20 mm; without additional r	0,01	0,02	0,01	2,68
Ilmakerros 20 mm	1,88	13,41	0,50	31,03
*Isover RKL tuulensuojaeriste	0,91	2,65	0,58	13,69
*Isover KL-32	0,98	0,85	0,37	8,47
*4 Betoni 2 (C35/45)	116,29	67,77	52,37	116,29

Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m ²]	-14278,36
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m ²]	-596,02
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m ²]	178,63
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m ²]	4,49

Hygroterminen lähde

Lämmönlähteet	[MJ/m ²]	-219,47
Ilmanvaihto tuuletusraossa (Ilmanvaihtolähde)	[MJ/m ²]	-219,47
Kosteuslähteet	[kg/m ²]	-151,121
Rajoitetut kosteuslähteet	[kg/m ²]	34,766
Lähde1 (Kosteuslähde)	[kg/m ²]	48,056

WUFI Pro 6.3

Hygroterminen lähde (Jatka)

Ilmanvaihto tuuletusraossa (Ilmanvaihtolähde)	[kg/m ²]	-199,177
---	----------------------	----------