

LAB-ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus  
Talonstrakennustekniikka

Atte Kurko

## **Tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu**

Opinnäytetyö 2020

## Tiivistelmä

Atte Kurko

Tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu, 65 sivua, 5 liitettä  
LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Timo Lehtoviita, LAB-ammattikorkeakoulu, suunnittelupäällikkö  
Lauri Karvonen, Sitowise Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun periaatteisiin ja rakennusfysikaalisiin ilmiöihin sekä luoda suunnittelijoille selkeämmät lähtökohdat ja tavoitteet tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniselle suunnittelulle. Opinnäytetyössä tehtiin myös lämpö- ja kosteussimuloinnit kahdesta eri tuulettuvasta alapohjarakenteesta WUFI Pro 5.3 -ohjelmalla ja arvioitiin ohjelman soveltuvuutta tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun. Työn tilaajana toimi rakennetun ympäristön suunnittelu- ja konsultointiyritys Sitowise Oy.

Opinnäytetyön teoriaosassa käydään läpi tuulettuvaan alapohjaan vaikuttavia rakennusfysikaalisia ilmiöitä ja suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä, kuten alapohjan kosteuslähteitä. Teoriaosan jälkeen opinnäytetyöhön on kerätty ohjeita tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun aihealueittain helpottamaan suunnittelijaa antamalla lähtökohtia ja konkreettisia ohjeita.

Laskentaosassa käydään läpi diffuusiolaskentaa ja tuulettuvan alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskentaa, jonka jälkeen simuloidaan kahta eri tuulettuvaa alapohjarakennetta WUFI Pro 5.3 -ohjelmalla. Lopussa kriittisemmän rakenteen pinnan homehtumisherkkyyttä arvioidaan suomalaisen homemallin avulla.

Laskennan tuloksena saatiin tarkasteltavien rakenteiden ulkopinnan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoja, jonka perusteella tarkasteltavissa rakenteissa ei havaittu homeen kasvun riskiä. Tämä johtuu osaltaan siitä, että vaikka ryömintätilassa voi vallita pitkäänkin homeen kasvun kannalta kriittiset olosuhteet, ovat simuloinnissa käytetyt materiaalit heikosti homehtuvia. WUFI Pro 5.3 -ohjelma todettiin hyödylliseksi apuvälineeksi myös tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteusteknisessä suunnittelussa, vaikkakin se soveltuu paremmin tuulettumattomien rakenteiden analysointiin. Ohjelman käytännöllisyys ja sen hyöty suunnittelussa on kuitenkin arvioitava kohdekohtaisesti. Laskentatuloksista tehtiin päätelmä, että nykyisiä määräyksiä ja suosituksia noudattaen betonin tuulettuva alapohja on lämpö- ja kosteusteknisesti toimiva rakennerratkaisu.

Asiasanat: tuulettuva alapohja, ryömintätila, lämpö, kosteus

## **Abstract**

Atte Kurko

Heat and moisture designing in ventilated base floor, 65 Pages, 5 Appendices

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Civil and Construction engineering

Structural engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructor(s): Mr. Timo Lehtoviita, Lecturer, LAB University of Applied Sciences,  
Mr. Lauri Karvonen, Sitowise Oy

The purpose of the study was to get acquainted heat and moisture behaviour in ventilated base floor and phenomena of structural physics. This thesis is done to facilitate planning of ventilated base floors and give basis and instructions especially for younger designers. The work was commissioned by design and consulting company Sitowise Oy.

Thesis section focuses on structural phenomena and factors affecting heat and moisture designing. In the later part of thesis focuses on instructions to heat and moisture designing in ventilated base floor.

The later part of the study is focused on calculation. First instructions for diffusion and ventilated base floor thermal transmittance calculation and after that moisture condition simulation in two different ventilated base floor structures with WUFI Pro 5.3 –software.

Based on the calculation results no risk of mold growth was identified in the structures, even if relative humidity values stayed high long period. WUFI Pro 5.3 –software was found useful, but it would be better suited with non-ventilated structures. Calculation results showed that concrete made ventilated base floor is heat and moisture- efficient structure.

Keywords: ventilated, base floor, crawl space, heat, moisture

## Sisällys

Käsitteet.....	5
1 Johdanto.....	7
2 Laki, määräykset ja asetukset.....	8
3 Ryömintätilan kosteuslähteet.....	9
4 Kosteuden siirtymismuodot.....	13
5 Tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekninen toiminta .....	17
6 Ohjeita tuulettuvan alapohjan suunnitteluun .....	20
6.1 Korkeusasema.....	20
6.2 Sade- ja sulamisvesien hallinta.....	21
6.3 Rakennuspohjan salaojitus .....	22
6.4 Tuuletus.....	23
6.5 Lämmöneristys .....	25
6.6 Ryömintätilan korkeus ja kulkuyhteys .....	27
6.7 Materiaalit .....	28
6.8 Radon .....	28
7 Suomalainen homemalli.....	28
8 Rakenteen lämmönläpäisykertoimen laskeminen.....	34
9 Tuulettuvan alapohjan lämmönläpäisykerroin.....	36
9.1 Painovoimaisesti tuulettuva alapohja.....	37
9.2 Koneellisesti tuulettuva alapohja.....	45
10 Diffuusiotarkastelu vesihöyryn osapaineella .....	49
11 WUFI Pro 5.3 tarkastelu.....	53
11.1 WUFI Pro 5.3.....	53
11.2 Laskennan reunaehdot ja tavoite.....	54
11.3 Tutkittavat rakenteet .....	54
11.4 Laskennan lähtötiedot .....	54
11.5 Laskentatulosten vertailu .....	56
11.6 Homeutumisherkkyyden arviointi.....	59
12 Yhteenveto ja pohdinta .....	60
Lähteet.....	63

## Liitteet

- Liite 1 AP1 rakenne ja materiaaliominaisuudet
- Liite 2 AP1 rakenne ja materiaaliominaisuudet
- Liite 3 Ryömintätilan lämpötila ja suhteellinen kosteus simuloinnissa
- Liite 4 AP1 WUFI laskentaraaportti
- Liite 5 AP2 WUFI laskentaraaportti

## Käsitteet

Diffuusiovastuskerroin	Diffuusiovastuskertoimen ( $\mu$ ) avulla voidaan ilmaista huokoisen aineen ja paikallaan olevan ilman vesihöyryn läpäisevyyksien suhdetta, sekä tietyn paksuisen ainekerroksen ja yhtä paksun ilmakerroksen vesihöyryn läpäisevyyksien suhdetta (RIL 255-1-2014, 389).
Hygroskooppisuus	Huokoisen aineen kyky sitoa kosteutta ilmasta itseensä ja luovuttaa sitä takaisin (RIL 255-1-2014, 389).
Johtuminen	Johtuminen tarkoittaa lämpöenergian siirtymistä molekyylien välityksellä korkeammasta lämpötilasta matalampaan (RIL 255-1-2014, 390).
Kapillaarivirtaus	Kapillaarivirtaus tarkoittaa nesteen siirtymistä huokoisessa aineessa huokosalipaineen paikallisten erojen vaikutuksesta (Ympäristöministeriö 2020, 7).
Kondensoituminen	Kun ilman vesihöyrypitoisuus saavuttaa kyseisessä kohdassa kyllästyskosteuspitoisuuden, vesihöyry tiivistyy rakenteen sisällä tai pinnalla vedeksi tai jääksi eli kondensoituu (RIL 255-1-2014, 390).
Konvektio	Lämpö siirtyy konvektiossa kaasun tai nesteen virtausten mukana. Luonnollisessa konvektiossa kaasu tai neste liikkuu lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista ja pakotetussa konvektiossa jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. (Björkholtz 1997, 12.)
Kyllästyskosteuspitoisuus	Vesihöyrypitoisuus joka mahtuu ilmaan tietyssä lämpötilassa (RIL 255-1-2014, 390).

Lämmönläpäisykerroin	Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo tarkoittaa lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan lämpötilaeron rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä ollessa yksikön suuruinen (Ympäristöministeriö 1010/2017, 1:2§).
Säteily	Säteily tarkoittaa energian siirtymistä sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. Kapaleet joiden lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen lähettävät eli emittoivat säteilyä. (Björkholtz 1997, 12.)
Vesihöyrynläpäisevyys	Vesihöyrynläpäisevyys ( $\delta_v$ tai $\delta_p$ ) ilmaisee vesihöyrymäärää, joka stationääritilassa läpäisee pinta-ala yksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen aikayksikössä vesihöyrypitoisuuseron tai vesihöyryn osapaine-eron ainekerroksen eri puolilla ollessa yksikön suuruinen (Vinha ym. 2013, 23).
Vesihöyrynläpäisykerroin	Vesihöyrynläpäisykerroin ( $W_v$ tai $W_p$ ) ilmaisee vesihöyrymäärää, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pinta-alayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen vesihöyrypitoisuuden tai vesihöyryn osapaine-eron ollessa ainekerroksen eri puolilla yksikön suuruinen (RIL 255-1-2014, 392).
Vesihöyrynvastus	Vesihöyrynvastuksella ( $Z_v$ tai $Z_p$ ) voidaan ilmoittaa stationääritilassa rakennusosan tai ainekerroksen eri puolilla vallitsevan vesihöyrypitoisuuseron tai vesihöyryn osapaine-eron ja rakennusosan tai ainekerroksen läpi kulkevan kosteusvirran tiheyden suhteen (Vinha ym. 2013, 23).

# 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tuulettuvan alapohjan eli ryömintätilan lämpö- ja kosteusteknisiä ilmiöitä ja käydään läpi ohjeita tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun. Lisäksi arvioidaan WUFI Pro 5.3 -simulointiohjelman soveltuvuutta tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun mallintamalla kaksi erilaista alapohjarakennetta ja vertailemalla tuloksia. Opinnäytetyö rajataan koskemaan betonirakenteisia tuulettuvia alapohjia, ja pääasiassa opinnäytetyö keskittyy painovoimaisesti tuuletettuihin alapohjaratkaisuihin. Työn tilaajana toimii rakennetun ympäristön suunnittelu- ja konsultointiyritys Sitowise Oy.

Työn tavoitteena on koota yhteen ajantasaisia ohjeita tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteusteknisestä suunnittelusta, jotta suunnittelijan ei tarvitse etsiä suunnitteluohjeita monesta eri lähteestä. Rakennusfysikaalisista ilmiöistä kerätään tietoa eri kirjallisuuslähteistä ja käydään läpi käsilaskentaa, josta suunnittelija saa apua tuulettuvan alapohjan tavanomaisiin rakennusfysikaalisiin laskutoimituksiin. Lisäksi Wufi Pro –simulointiohjelman käytön hyötyjä suunnittelutyössä arvioidaan mallintamassa kaksi eri tuulettuvaa alapohjarakennetta

Tuulettuva alapohja on tyypillinen ratkaisu, jos maapohja on löyhä ja rakennus perustetaan paaluille tai peruspilareille. Tuulettuvassa alapohjassa on helppo tarkastaa ja vaihtaa ryömintätilaan sijoitettuja putkistoja. Myöskään erillistä radon-suojausta ei tarvita, vaan tuuletus laimentaa ryömintätilan ilman radonpitoisuutta.

Tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan liittyy paljon epävarmoja tekijöitä, joita suunnittelijan tulee kuitenkin suunnittelussa ottaa huomioon. Näitä ovat esimerkiksi maapohjasta haihtuva kosteus, sekä tuuletuksen toimivuus, joita on kohtalaisen haastava määrittää laskemalla. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selkeyttää suunnittelijan työtä, jotta tuulettuvasta alapohjasta saataisiin lämpö- ja kosteusteknisesti toimiva kokonaisuus.

Tuulettuvissa alapohjissa on otolliset olosuhteet homeen kasvulle, johtuen ryömintätilan pitkään jatkuvasta korkeasta suhteellisesta kosteudesta erityisesti keuhalla talven jälkeen. Jatkuva korkea suhteellinen kosteus voi aiheuttaa homeen

kasvua. Pahimmillaan ryömintätilan mikrobit kulkeutuvat liitosten kautta sisätiloihin sisäilman ollessa yleensä alapohjaan nähden alipaineinen. Ryömintätilaa suunniteltaessa onkin tärkeää, että suunnittelija huomioi tuulettuvan alapohjan riskikohdat ja noudattaa nykyisiä määräyksiä.

## **2 Laki, määräykset ja asetukset**

Rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset, sekä viranomaisvalvonta ja rakentamisen lupamenettely on määritetty maankäyttö- ja rakennuslaissa. Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootaan kaikki tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet. (Edilex 2020.)

Vuonna 2013 voimaan tulleen rakennuslain muutoksen (958/2012) mukaisesti rakentamista koskevia asetuksia on uudistettu vaiheittain 1.1.2018 mennessä. Vaatimukset ja suosituksina annettavat ohjeet on eritetty toisistaan, mikä osaltaan selkeyttää sääntelyä. (Edilex 2020.) Tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun vaikuttavia asetuksia ovat ympäristöministeriön asetukset rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017) ja uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017).

Hierarkiassa maankäyttö- ja rakennuslain, sekä ympäristöministeriön asetusten alapuolella on erilaiset ohjeet ja standardit. Ympäristöministeriö on julkaissut muun muassa tasauslaskentaoppaan (2018) sekä ohjeen rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta (2020), joita suositellaan käytettäväksi suunnittelussa.

Suomalaisiksi kansallisiksi standardeiksi on hyväksytty myös eurooppalaisia kansallisia standardeja, esimerkiksi ryömintätilan lämmönläpäisykerroin lasketaan standardien SFS-EN ISO 13370 ja SFS-EN ISO 6946 mukaisesti. (SFS-EN ISO 13370: 2017, 1.) Muita hyvää rakennustapaa noudattavia ohjeita löytyy muun muassa Suomen Rakennusinsinöörien Liiton RIL:in julkaisuista ja rakennustiedon ylläpitämästä RT-kortistosta.



### **3 Ryömintätilan kosteuslähteet**

#### **Huokosilman vesihöyrypitoisuus**

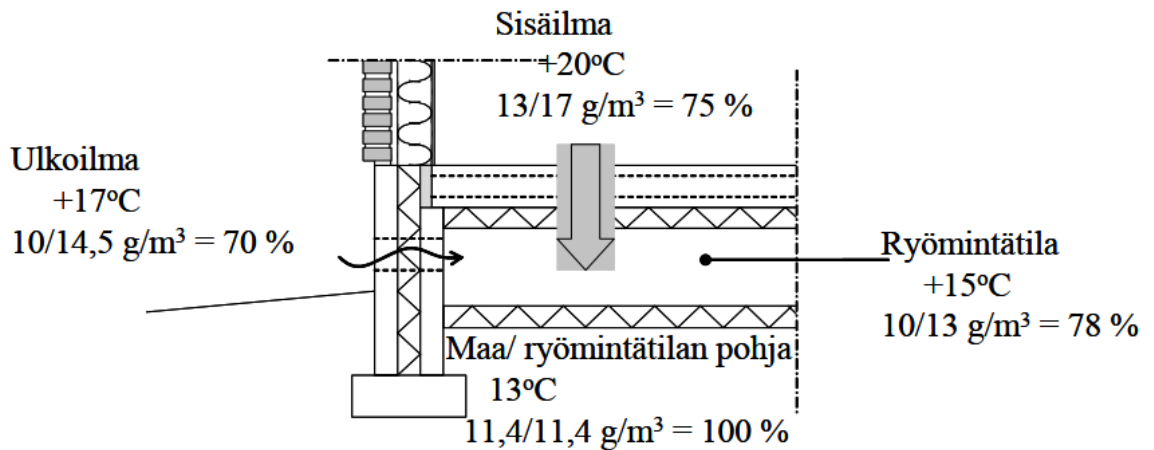
Maan huokostilassa oletetaan olevan aina sen verran kosteutta, että huokosilman suhteellisen kosteuden oletetaan olevan aina 100 %. Vesihöyrypitoisuus huokosilmassa siis kasvaa lämpötilan noustessa (RIL 255-1-2014, 151).

Ryömintätila on suorassa yhteydessä kosteaan maapohjaan, joten maapohjasta haihtuva kosteus on merkittävä kosteuslähde. Lattiarakenteen ollessa hyvin lämmöneristetty ja tuuletuksen ollessa huono, voidaan olettaa ryömintätilan kosteusolojen olevan likimain maapohjan kanssa samanlaiset. (RIL 255-1-2014, 157–158.)

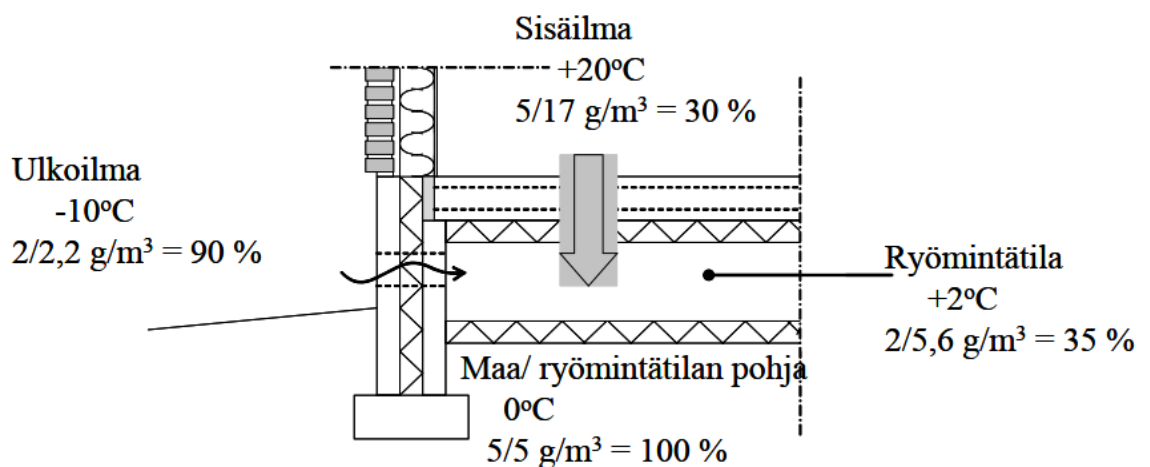
#### **Ulkoilman vesihöyrypitoisuus**

Ulkoilman vesihöyrypitoisuus vaihtelee vuodenajoin. Lämmin ilma voi sitoa suuremman määrän kosteutta, joten kesällä vesihöyrypitoisuus ( $\text{g/m}^3$ ) on suurempi kuin talvella. Vaihteluväli on talven noin  $1 \text{ g/m}^3$ :sta kesän  $10 \text{ g/m}^3$ :aan. Suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvon vaihteluväli on talven noin 90 %:sta ja kesän 65 %:iin. (Ympäristöopas 2016, 109.)

Ulkoilmaolojen muutos eli vuodenaika vaikuttaa suuresti ryömintätilan lämpö- ja kosteusoloihin. Ryömintätallassa kosteuden tiivistymisen riski on suurimmillaan talven jälkeen keväällä ja kesällä. Tämä johtuu siitä, että kyseiseen vuodenaikaan ulkoa tuleva ilmavirta ryömintätilaan on lämmin ja maapohja viileä. Maapohja lämpenee hitaasti, sillä maapohjan lämpökapasiteetti sekä lämmönjohtavuus ovat suuria ja tuulettavuus siihen nähden melko vähäistä. Ulkoilman kosteussisältö on sama myös ryömintätilaan tullessa, jolloin kylmemmän lämpötilan vuoksi suhteellinen kosteus nousee. Tällöin voi kertyä kondenssivesikerroksia kylmille pinnoille. (RIL 255-1-2014, 157–158.) Kuvissa 1 ja 2 on esitetty vuodenajan vaikutusta ryömintätilan olosuhteisiin.



Kuva 1. Tyypilliset ryömintätilan olosuhteet kesällä (Vinha ym. 2008)



Kuva 2. Tyypilliset ryömintätilan olosuhteet talvella (Vinha ym. 2008)

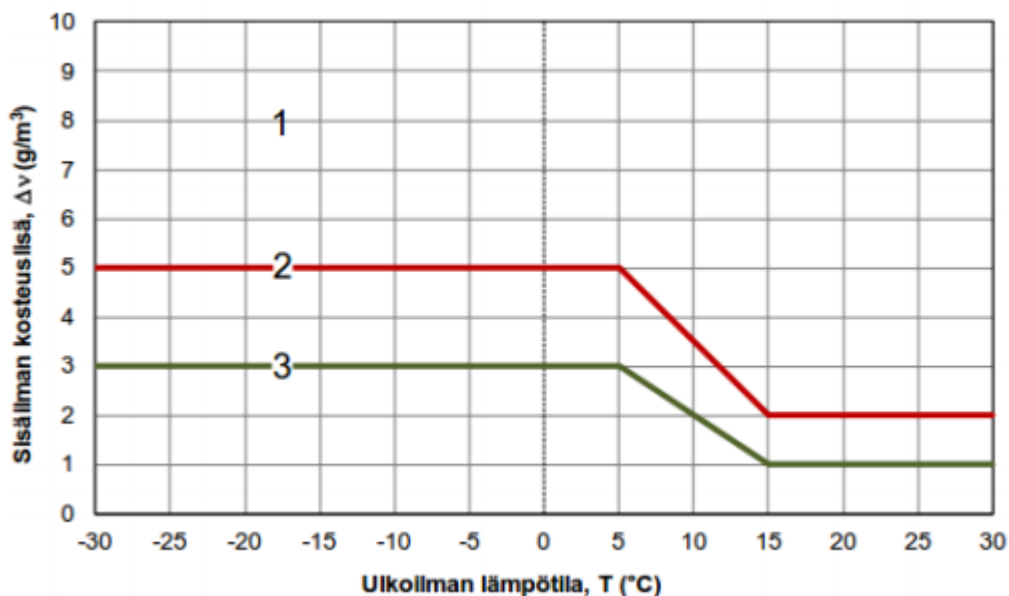
Kuvasta 1 voidaan nähdä, kuinka kesäaikaan ilman suhteellinen kosteus nousee ryömintätilaan tullessa maapohjan ryömintätilaa viilentävän vaikutuksen vuoksi. Vastaavasti talvella suhteellinen kosteus laskee ryömintätilaan tullessa maapohjan lämpökapasiteetin ja sisäilmasta tulevan lämpövuon takia (Kuva 2).

### Sisäilman vesihöyrypitoisuus

Rakennuksen sisätiloissa käyttöön ja asumiseen liittyvät toiminnot aiheuttavat lähes aina kosteuslisää ulkoilmaan verrattuna, mikä aiheuttaa vesihöyrypitoisuus-eron sisä- ja ulkoilman välille. Sisäilman kosteuslisällä voidaan esittää, kuinka paljon sisäilman vesihöyrypitoisuus on suurempi ulkoilmaan verrattuna, joko vesihöyrypitoisuus-eron (kg/m<sup>3</sup> tai g/m<sup>3</sup>) tai vesihöyryn osapaine-eron (Pa). (Vinha ym. 2013, 46–47.)

Vesihöyryn osapaine-ero sisä- ja ulkoilman välillä pyrkii tasoittumaan diffuusiolla ulkovaipan läpi. Diffuusio on sitä suurempi, mitä suurempi on vesihöyryn osapaineen pitoisuusero vaipan eri puolilla. Kesäaikaan sisäilman kosteuslisä on pienempi, sillä ovia ja ikkunoita pidetään talviaikaan verrattuna enemmän auki, sekä rakennuksen käyttäjät ovat enemmän poissa sisätiloista. Kesäaikaan ulkolämpötilan ollessa korkeampi myös kosteuden tiivistymisen riski on pienempi. (RIL 107-2012, 23.) Talvella taas kosteuslisä on tyypillisesti suurin, kun kosteuden tuotto on suurimmillaan ja kylmään ulkoilmaan mahtuu vähemmän kosteutta kuin sisäilmaan (RIL 107-2012, 23).

Sisäilman kosteuslisälle on olemassa kansainvälisen standardin mukainen luokitus, mutta Suomessa suositellaan käytettävän RIL 107-2012 mitoitusarvoja (Kuva 3). Rakennukset jaetaan rakennustyypeittäin kosteusluokkiin 1–3. Kosteusluokan 1 rakennuksissa kosteuslisä on aina arvioitava tapauskohtaisesti ja tällöin on erikseen tarkasteltava kesä- ja talviolosuhteita. Mikäli suunniteltava rakennus ei löydy taulukosta 1, tulee valita kosteusluokka, joka vastaa kyseistä rakennustyyppiä parhaiten. Epäselvissä tapauksissa on suositeltavaa valita suuremman kosteuslisän mitoitusarvon mukainen kosteusluokka. (RIL 107-2012, 23–24.)



Kuva 3. Sisäilman kosteuslisän mitoitusarvot eri kosteusluokissa ulkolämpötilan funktiona (RIL 107-2012)

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitus arvo talvella ( $T \leq 5$ °C)	Rakennustyyppi
1	$> 5\text{g/m}^3$	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	$5\text{g/m}^3$	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähytetyt liikuntatilat, kylmä- ja pakkahuoneet, talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	$3\text{g/m}^3$	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

Taulukko 1. Sisäilman kosteuslisän perusteella määritettyihin kosteusluokkiin kuuluvat rakennustyypit (RIL 107-2012)

### Sade- ja sulamisvedet

Sade on pintaveden pääasiallinen lähde. Alapohjaan kulkeutuvaan pintaveden määrään vaikuttaa sademäärä, maanpinnan muodot, rakennuksen sijainti maastossa, maa pintamateriaalit ja kasvillisuus. Noin 50 % pintavedestä haihtuu suoraan takaisin ilmaan maan pinnalta, 30 % virtaa laskuvetenä ojiin, jokiin, meriin tai järviin ja 20 % painuu syvemmälle maakerrokseen. Vuotuinen sademäärä Suomessa on keskimäärin 600 mm. (Leivo & Rantala 2000, 8.)

Vajovesi eli gravitaatiovesi liikkuu maassa vapaasti painovoiman vaikutuksesta. Vajovedestä osa kulkeutuu salaojituksen avulla pois alapohjarakenteen mikrokierron piiristä ja osa haihtuu syvemmältä huokosista ennen pohjavedenpinnan saavuttamista. (Leivo & Rantala 2000, 8.)

## **Pohjavesi**

Pohjaveden pinnan korkeusasema ja pohjaveden määrä määräytyy pohjavesialtaaseen tulevan ja siitä poistuvan veden määrän erotuksena. Tulevan veden määrä riippuu sademäärästä ja edelleen pohjaveden saavuttavan vajoveden määrästä. Pohjavesi poistuu painovoiman ansiosta jatkuvana virtauksena pinnan alapuolisista purkautumiskohdista avovesistöihin tai suoalueille. Pohjavesivyöhykkeellä maan huokostila on täysin vedellä kyllästynyt ja vedellä kyllästynyttä maata voi olla myös pohjavedenpinnan yläpuolella kapillaarivyöhykkeessä. Pohjavesi nousee kapillaarivoimien vaikutuksesta kapillaarivyöhykkeen huokostilaan. (Leivo & Rantala 2000, 9.)

## **4 Kosteuden siirtymismuodot**

### **Veden kapillaarinen siirtyminen**

Vesi pyrkii siirtymään huokoisissa materiaaleissa huokosten muodostamassa putkistoverkossa kapillaarivoimien vaikutuksesta. Tätä voimaa vastustavat painovoima ja kitkavoimat. Pohjaveden pinnasta kapillaarivesi nousee aina siihen asti, kunnes vesimassaan vaikuttavat voimat ovat tasapainossa. Kapillaarivoimien suuruus riippuu veden ja aineen ominaisuuksista sekä kosteuspitoisuudesta. (Leivo & Rantala 2000, 8.)

Kapillaarinen tasapainokosteus tarkoittaa sitä kosteuspitoisuutta, jonka materiaali voi saavuttaa ollessaan yhteydessä vapaaseen veteen. Kapillaarista siirtymistä vastustaa painovoima sekä viskositeetti. Yleensä kapillaarinen tasapainokosteus ilmaistaa kapillaarisen nousukorkeuden tai huokosalipaineen funktiona. (Leivo & Rantala 2002, 8.)

Kapillaarisista voimista huokosiin johtunutta vettä kutsutaan kapillaarivedeksi ja sen nousukorkeutta vapaan veden pinnasta kapillaariseksi nousukorkeudeksi. Maan kapillaariselle nousukorkeudelle voidaan määrittää neljä erilaista arvoa: materiaalin kostumisen ylempi ja alempi nousukorkeus sekä materiaalin kuivumisen ylempi ja alempi nousukorkeus. (Leivo & Rantala 2002, 8.) Taulukossa 2 on

ohjeellisia eri maalajien kapillaarisen nousukorkeuden arvoja lähteestä /Permeabilitet och kapillaritet 1972/ (Leivo & Rantala 2000, 19).

Maalaji	Kapillaarinen nousukorkeus (m)	
	Löyhä	Tiivis
Karkea hiekka	0,03 ... 0,12	0,04 ... 0,15
Hiekka	0,10 ... 0,35	0,12 ... 0,50
Hieno hiekka	0,3 ... 2,0	0,4 .. 3,5
Karkea siltti	1,5 ... 5	2,5 ... 8
Hieno siltti	4 ... 10	6 ... 12
Savi	> 8	> 10

Taulukko 2. Maalajien kapillaarinen nousukorkeus (Leivo & Rantala 2000)

Kapillaarisuus voidaan jakaa aktiiviseen ja passiiviseen kapillaarisuuteen. Aktiivinen kapillaarisuus tarkoittaa sitä, kun materiaalin kastuessa vesi nousee ylöspäin. Passiivisessa kapillaarisuudessa taas materiaalin kastuessa vesi vajoaa alaspäin. (Leivo & Rantala 2000, 8.)

Mitä vähemmän rakenteissa esiintyy kapillaarisuutta, sitä kosteusteknisesti luotettavampia ne yleensä ovat. Rakenteen ollessa yhteydessä vapaaseen veteen, kapillaarisessa kontaktissa maaperään tai toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan rakennusaineeseen tapahtuu kapillaarista siirtymistä aina. Myös kosteuden kondensoituminen rakenteiden pinnoille tai rakenteeseen mahdollistaa kapillaarisen siirtymisen rakenteessa. (Ympäristöopas 2016, 112.)

Mitä pienempiä huokosia materiaalissa on, sitä korkeammalle vesi nousee. Tämä johtaa siihen, että vesi voi siirtyä suurempihuokoisesta materiaalista pienempihuokoisempaan. Myös materiaalin sisällä vesi voi siirtyä kapillaarisesti suuremmista huokosista pienempiin kuvan 4 mukaisesti. (Ympäristöopas 2016, 112.)



Kuva 4. Veden siirtyminen kapillaarisesti suuremmista huokosista pienempiin (Ympäristöopas 2016)

Kapillaarinen vesirintama eli veden tunkeutumissyvyys tarkoittaa aluetta, jossa materiaalin huokokset ovat kapillaarisesti vedellä täyttyneet. Kaavalla 1 voidaan

arvioida veden tunkeutumissyvyyttä rakennusmateriaalien osalta. (Ympäristöopas 2016, 112.)

$$X = B \times \sqrt{t} \quad (1)$$

X veden tunkeutumissyvyys [m]

B tunkeutumiskerroin [ $\text{m}/\sqrt{\text{s}}$ ]

t aika [s]

Taulukossa 3 on muutamia esimerkkejä eri materiaalien vedentunkeutumiskertoimista.

Materiaali	Tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Vedentunkeutumiskerroin [ $\text{m}/\text{s}^{0.5}$ ]
Tiili	1 700	$1,4 \times 10^{-3}$
Kevytbetoni	500	$0,4 \times 10^{-3}$
Sementtilaasti	1 900	$0,5 \times 10^{-3}$
Betoni, vss. 0,3	tieto puuttuu	$0,14 \times 10^{-3}$

Taulukko 3. Rakennusaineiden kapillaarisia vedentunkeutumiskertoimia. Taulukon aineisto: Nevander L. ja Elmarsson B., 2011. (Ympäristöopas 2016)

Rakennustekniikassa vesi ei nouse yleensä koskaan suurinta nousukorkeutta vastaavaan korkeuteen. Tämä johtuu siitä, että rakenteen pinnoilta haihtuu kosteutta, jolloin vesirintaman korkeus jää tasapainoon näiden kahden ilmiön välille. Veden haihtumisnopeus riippuu pinnoitteen kosteudenläpäisevyydestä sekä haihtumisenergian saannista. Mitä pienempi on pinnoitteen kosteudenläpäisy, sitä korkeammaksi vesirintaman korkeus nousee. Myös rakenteen poikkileikkaus vaikuttaa vesirintaman korkeuteen, sillä suurempi poikkileikkaus kasvattaa kapillaarisesti nousevan kosteuden määrää verrattuna pinnoilta haihtuvan kosteuden määrään. (Ympäristöopas 2016, 112.)

## **Veden painovoimainen siirtyminen**

Rakennuksen pystysuorilla ja vinoilla pinnoilla sekä rakennuksen vierustoilla vesi siirtyy painovoiman vaikutuksesta. Vesi voi kulkeutua rakenteisiin painovoimaisesti, jos veden poisjohtaminen rakennuksen vierestä ei toimi tai rakenteiden ulkopinnat eivät ole tiiviitä. (Ympäristöopas 2016, 112.)

Painovoimaisen siirtymisen avulla on mahdollista johdattaa hallitusti vedet pois rakennusten vierustoilta sekä rakenteiden sisä- ja ulkopinnoilta, mahdollistaen myös rakennuksen kuivatuksen salaojituksella. Kapillaarisesti heikosti imevissä maalajeissa, kuten karkeassa sorassa, painovoimainen veden siirtyminen on hallitseva siirtymismuoto. (Ympäristöopas 2016, 113.)

## **Kosteuskonvektio**

Konvektiossa ilmavirtaus rakenteen yli tapahtuu kokonaispaine-eron vaikutuksesta suuremmasta paineesta pienemmän paineen suuntaan. Kosteuden siirtyessä ilmavirtausten mukana on kyse kosteuskonvektiosta. Kosteuskonvektio kuivattaa rakenteita, jos ilma lämpenee virratessaan rakenteen läpi. Vastaavasti rakenne kastuu, kun ilmavirta viilenee rakenteen läpi virratessa. Kosteus voi tällöin tiivistyä rakenteeseen, mikäli ilma jäähtyy virtauksen seurauksena alle kastepisteen. Rakennukset suunnitellaan yleensä hieman alipaineisiksi, sillä kosteusvaurioriski on aina olemassa, mikäli lämpimällä puolella vallitsee ylipaine. Rakenne on myös tehtävä sisäpinnasta riittävän tiiviiksi haitallisten ilmavirtausten estämiseksi. Rakenteessa joko konvektio tai diffuusio on hallitseva kosteudensiirtymismuoto, mikä riippuu rakenteen ilmanläpäisevyydestä, vesihöyrynläpäisevyydestä ja eheydestä. (Ympäristöopas 2016, 115–116.)

## **Diffuusio**

Diffuusio tarkoittaa vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrypitoisuuden osapaine-eroja. Vesihöyry siirtyy suuremmasta pitoisuudesta alemmalla pitoisuutta kohti. Diffuusioon vaikuttaa vesihöyrynsä osapaine-erot ja materiaalin vesihöyrynvastus. Vesihöyrynvastukset materiaaleissa vaihtelevat paljon, kuten myös vastaavasti materiaalien läpäisemä kosteusvirran



tiheys. Esimerkiksi vesihöyrynvastus muovikalvolle on tuhat kertaa suurempi kuin mineraalivillalle. (Ympäristöopas 2016, 113–114.)

Yleensä sisäilmassa on kosteuslisää ulkoilmaan verrattuna, joten kosteus siirtyy diffuusion avulla sisältä ulospäin. Talvella sisä- ja ulkoilman vesihöyryn osapaineeron ollessa suurin, on myös diffuusion merkitys suurin. (Ympäristöopas 2016, 114.) Diffuusionvirtauksen suunta voi myös olla ulkoilmasta rakennuksen sisään, jos sisäilmassa on kosteusvajetta ulkoilmaan nähden (Piironen & Vinha 2010, 34). Kesällä kosteus siirtyy pääasiassa ulkoa rakenteen sisään ja talvella vesihöyry siirtyy rakenteesta ulospäin (Ympäristöopas 2016, 114).

## **5 Tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekninen toiminta**

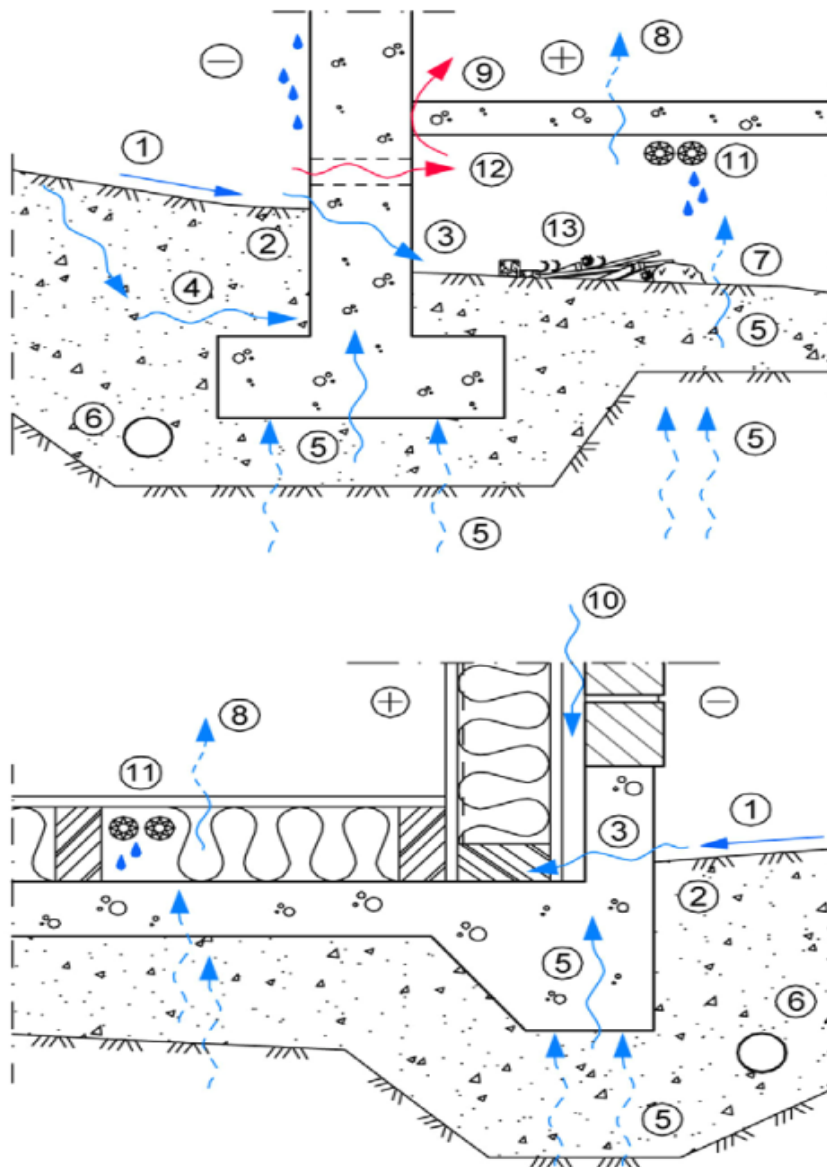
Ryömintätilan olosuhteisiin vaikuttaa moni tekijä muun muassa ryömintätilan tuulettavuus, maapohjan kosteustuotto, lattiarakenteen lämmöneristävyys ja maan pintaosan sekä rakenteiden lämpötilan muutosten nopeus ulkolämpötilan muuttuessa (Ympäristöopas 2016, 183). Ryömintätilan kosteuslähteitä ovat ulko- ja sisäilma, maan huokosilma, sade- ja sulamisvedet sekä pohjavesi (Vinha ym. 2013, 207). Tyypillisessä ryömintätilaisessa alapohjaratkaisussa tuuletus tapahtuu perusmuurissa olevien tuuletusluukkujen kautta lähinnä tuulen vaikutuksesta (Vinha ym. 2013, 206; RIL 255-1-2014, 158).

Ryömintätilan ilman lämpötila muuttuu ulkoilman lämpötilaa hitaammin johtuen ryömintätilan ja rakennuksen alla olevan maan lämpöteknisestä hitaudesta. Talvella ryömintätila on yleensä ulkoilmaa lämpimämpi, jolloin ilman suhteellinen kosteus laskee ryömintätilaan tullessa eli ryömintätila kuivuu. Kesällä tilanne on päinvastainen, kun ryömintätilan lämpötila on ulkoilmaa alhaisempi. Tällöin ilman suhteellinen kosteus nousee ryömintätilaan tullessa. Tämä tarkoittaa sitä, että kesäaikaan tuuletuksen lisääminen ei poista kosteutta, vaan tuo sitä lisää aiheuttaen kesäkondenssia. (Ympäristöopas 2016, 183–184.)

Ilmanvaihtuvuuden osalta tulee keskittyä kahteen ääritapaukseen. Ensimmäisessä tapauksessa kosteustuotto maanpinnasta ryömintätilaan on suuri ja maanpinta kostea. Silloin tulee kasvattaa ilmanvaihtuvuutta, huolehtia riittävästä kapillaarikatkosta ja estää pintavesien pääsy ryömintätilaan. (Vinha ym. 2013, 333.)

Myös maapohjan lämmöneristys vähentää kosteuden haihtumista ilmaan (RIL 255-1-2014, 158). Muovikalvoa ei tule laittaa ryömintätilan maanpintaan, sillä muovikalvon alla on hyvin otolliset olosuhteet mikrobikasvulle ja mikrobikasvun aineenvaihduntatuotteet pääsevät kalvon läpi ryömintätilan ilmaan (RIL 250-2020, 140).

Toisessa tapauksessa maanpinta on riittävän kuiva ja ulkoilman kosteus on määrävä kosteuslähde. Tällöin ryömintätilan olosuhteet määräytyvät lämpötilan perusteella. Kuitenkaan pieni tuuletuksen lisääminen ei riitä nostamaan ryömintätilan lämpötilaa, mutta se kuitenkin lisää kosteuskuormaa. Tällöin ryömintätilan olosuhteet paranevat tuuletusta pienentämällä. Ilmanvaihtoa ei kuitenkaan saa sulkea, sillä ryömintätilaan kohdistuu aina jonkin verran kosteuskuormaa, vaikka kostudentuotto maasta ryömintätilaan olisi merkittävästi rajoitettu. (Vinha ym. 2013, 333.) Ryömintätilan maanvastaisiin perusmuureihin tehdään vain rajoitettu määrä tuuletusaukkoja ja perusmuurit lämmöneristetään, jolloin lämmöneristyskykyä saadaan paremmaksi (RIL 255-1-2014, 157). Yleisimpiä kosteusvaurioiden aiheuttajia tuulettuvassa alapohjassa on esitetty kuvassa 5.



- 1 Pintavesien valuminen rakennukseen
- 2 Puutteellinen sadevesijärjestelmä
- 3 Pintaveden tunkeutuminen ryömintätilaan ja muihin rakenteisiin
- 4 Paineellisen veden tunkeutuminen ryömintätilaan ja muihin rakenteisiin
- 5 Veden kapillaarinen nousu rakennuspohjasta rakenteisiin
- 6 Salaojituksen puutteet
- 7 Ryömintätilan korkea kosteustuotto
- 8 Kosteuden siirtyminen diffuusiolla
- 9 Kosteuden siirtyminen konvektiolla
- 10 Sadeveden tunkeutuminen ylempien rakenteiden epätiiviyyskohtien kautta perustusrakenteisiin
- 11 Putkivuoto ryömintätilassa
- 12 Ryömintätilan riittämätön tuuletus
- 13 Rakennusjätteet ryömintätilassa

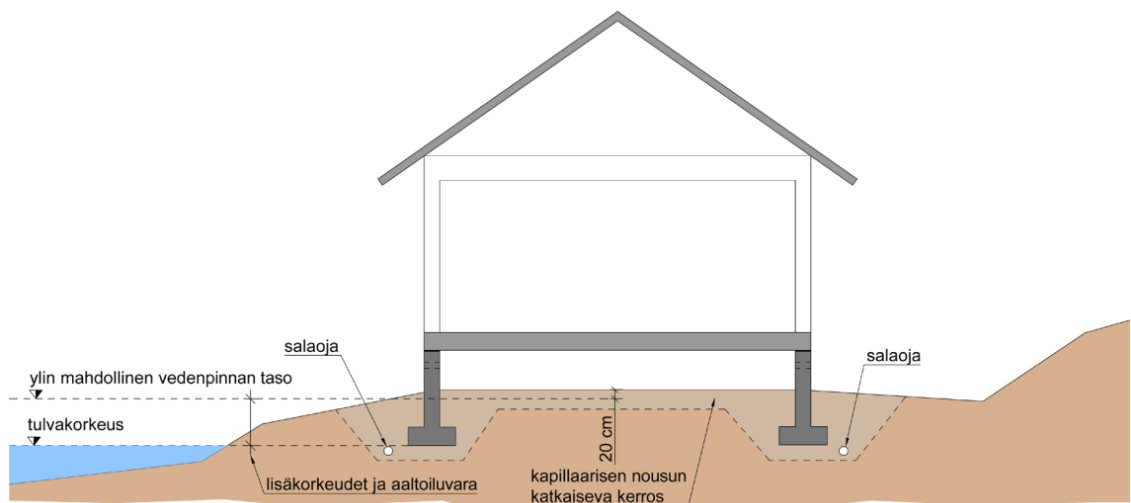
Kuva 5. Tuulettuvan sekä maanvastaisen alapohjan yleisimmät kosteusvaurioiden aiheuttajat (Ympäristöopas 2016)

## 6 Ohjeita tuulettuvan alapohjan suunnitteluun

### 6.1 Korkeusasema

Ryömintätilan korkeusasema on suositeltavaa suunnitella aina maanpinnan yläpuolelle (RIL 250-2020, 140). Tällöin ryömintätila toimii kosteusteknisesti parhaiten ja puurakenteisissa alapohjissa tähän suositukseen tulisi pyrkiä. (Ympäristöministeriö 2020, 31.) Muutoin tulee ottaa huomioon ryömintätilan tuuletuksen ja kosteusolojen huononeminen, jos korkeusasema ulotetaan huomattavasti ympäröivää maanpintaa syvemmälle (RIL 255-1-2014, 157).

Rakennuksen sijaitessa vesistön tai tulvavaara-alueen läheisyydessä tulee ryömintätilainen alapohja suunnitella siten, että ylin tulvakorkeus on vähintään 200 mm kapillaarikerroksena toimivan salaojituskerroksen yläpinnan alapuolella (Kuva 6). (Ympäristöministeriö 2020, 15.)

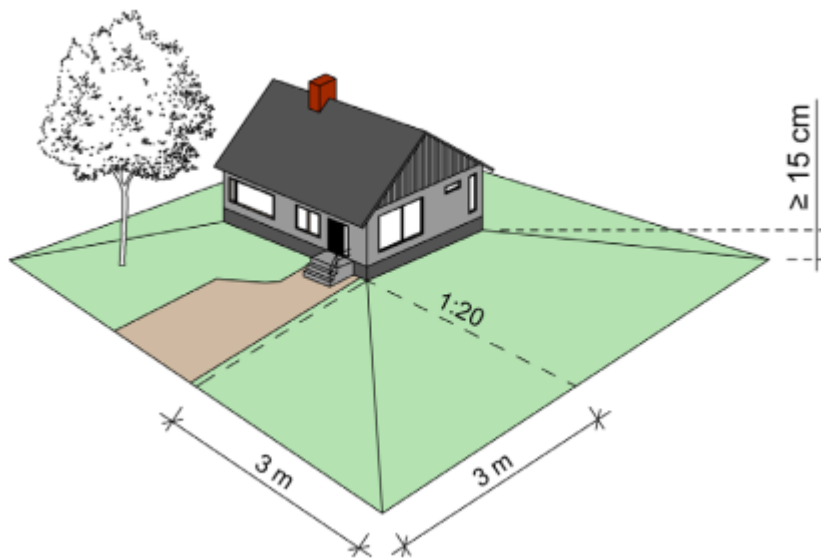


Kuva 6. Ryömintätilallisen rakennuksen alin sallittu korkeusasema ylimpään mahdolliseen vedenpintaan verrattuna (Ympäristöministeriö 2020)

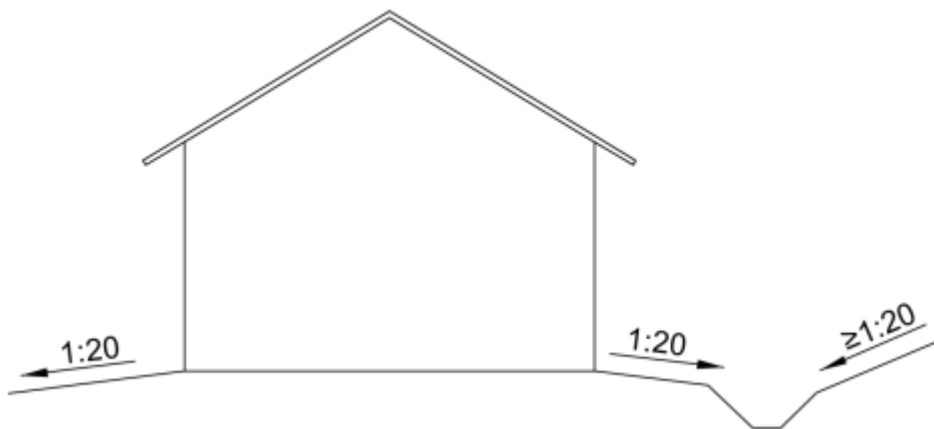
Sisävesistöjen rantojen läheisyydessä matalin rakentamiskorkeus määritetään siten, että lähtökorkeus on keskimäärin kerran sadassa vuodessa sattuvan tulvan korkeus, johon lisätään rakennustyyppistä sekä kunkin vesistön erityispiirteistä ja aaltoiluvarasta aiheutuva harkinnanvarainen lisäkorkeus. (Ympäristöministeriö 2020, 14.) Lähtökorkeus voi olla myös tilastollisesti kerran 50 vuodessa esiintyvä ylin tulvakorkeus, johon lisätään harkinnanvaraiset lisäkorkeudet sekä 300 mm. (Ympäristöministeriö 2020, 14–15.)

## 6.2 Sade- ja sulamisvesien hallinta

Sade- ja sulamisvesien pääsy ryömintätilaan estetään riittävällä maanpinnan kallistuksella ja sadevesijärjestelmällä. Rakennusta ympäröivä maa muotoillaan pois päin viettäväksi siten, että kallistus on vähintään 1:20 ja korkeusero vähintään 0,15 m (Kuva 7). Vesi poistetaan rakennuksen läheisyydestä ojittamalla, sadevesiviemäreillä tai jolloin muulla sopivalla tavalla. (RIL 107-2012, 49.) Rinteesen rakennettaessa tulee suunnitella sade- ja sulamisvesien ohjautuminen rakennuksen sivuitse esimerkiksi niskaojan avulla (Kuva 8) (RIL 255-1-2014, 153; Ympäristöministeriö 2020, 25).



Kuva 7. Periaatekuva maanpinnan muotoilusta rakennuksen ympärillä (Ympäristöministeriö 2020)



Kuva 8. Hulevesien poisjohtaminen niskaojan avulla (Ympäristöministeriö 2020)

Pintavesiä ei saa kulkeutua ryömintätilaan, eikä sinne saa muodostua vesilammikoita. Jos veden kertymistä ei kyetä kuitenkaan kohtuudella estämään, täytyy vesi johtaa tätä varten suunniteltuun kohtaan. (Ympäristöministeriö 2020, 31.) Tällöin haihtumista veden pinnasta voidaan estää esimerkiksi vedenkeruupisteen sepelöinnillä (RIL 107-2012, 57). Ryömintätilan maanpinnan ollessa ulkopuolista maanpintaa alempana tulee salaojituksella estää kosteuden nousu ryömintätilaan ja ryömintätilan pohjamaa kallistaa salaojia kohti (RIL 107-2012, 58).

### **6.3 Rakennuspohjan salaojitus**

Kapillaarivirtauksen katkaisemiseksi ja pohjavedenpinnan pitämiseksi riittävällä etäisyydellä ryömintätilan maanpinnasta rakennus täytyy salaojittaa ja ryömintätilan maapohja muotoilla viettämään salaojiin päin. Ryömintätalaisissa alapohjissa tulee myös olla maapohjan päällä kapillaarista nousua estävä salaojakerros esimerkiksi vähintään 0,2 m paksu sepelikerros, joka suositellaan erotettavaksi perusmaasta suodatinkankaalla. (RIL 107-2012, 50, 57–58.) Ryömintätilan maanpinta kallistetaan aina keskeltä salaojiin (RIL 250-2020, 140)

Rakennuspohja voidaan jättää salaojittamatta siinä tapauksessa, jos erikseen selvitettyä todetaan, että perusmaan vedenläpäisykyky on riittävän hyvä estämään kapillaarinen nousu ja korkein pohjavedenpinnan korkeus ei ole haitallinen. Jos rakennuspohja salaojitetaan, se voidaan toteuttaa salaojaputkilla tai joissakin tapauksissa myös louheesta muodostuvalla alueellisella salaojituksella, jossa on järjestetty toimiva vesien poisjohtaminen. Salaojitusta suunniteltaessa on huomioitava, että putkisalaojat toimivat vain läpäisevässä maalajissa. (RIL 107-2012, 50, 57.)

Tuulettuvassa alapohjassa tulee käyttää vierustalla sekä alustäyttönä vähintään 0,2 m salaojituskerrosta. Salaojituskerroksena voidaan käyttää esimerkiksi kevytsoraa, karkeaa sepeliä tai vaahtolasimurskettä. (Ympäristöministeriö 2020, 16.) Salaojitusputket asennetaan rakennuksen ympärille ja tarvittaessa myös rakennuksen alle. Salaojaputken tulee olla joka paikassa anturan alapintaa alempana ja alapohjan alla salaojituskerroksen alapuolella. Jos salaojitus tehdään ryömintätilaan, tulee se liittää rakennuksen ympärillä olevaan salaojitukseen. Alapohjan

kapillaarikatkokerroksen tulee olla jatkuva salaojituserroksen kanssa (RIL 107-2012, 50, 57–58.)

Alapohjan alla salaojaputken kallistus tulee olla vähintään 1:100, jota suositellaan käytettäväksi myös rakennuksen vierustalla. Minikaltevuus rakennuksen ympärillä olevissa salaojaputkissa on kuitenkin 1:200. Salaojaputki voidaan asentaa hyvin tasatun pohjamaan tai suodatinkankaan päälle, mutta salaojaputken päällä ja sivuilla tulee olla vähintään 0,2 m salaojituserros. (RIL 107-2012, 51–52.) Lisäksi salaojaputken sijaitessa rakennuksen alla, tulee salaojakerroksen paksuuden olla vähintään 0,4 m salaojaputken yläpinnasta (Ympäristöministeriö 2020, 26). Ryömintätilassa on estettävä diffuusion aiheuttama kosteuden haitallinen siirtyminen maasta ryömintätilan ilmaan. Maapohjan lämmöneriste voi olla samalla myös diffuusion estävä kerros. (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos 2012, 25.)

#### **6.4 Tuuletus**

Tuuletusaukot tulee sijoittaa siten, että tuuletustila on kokonaisuudessaan tuuletusilman virtausreitteinä. Tuuletustilaan ei siis saa jäädä tuulettamattomia, suljettuja alueita. (Ympäristöministeriö 782/2017, 2:7§.)

Tuuletus tulee suunnitella aina tapauskohtaisesti. Yleensä ryömintätila tuuletaan perusmuurin tuuletusaukkojen tai tuuletusputkien kautta. Tuuletus pitää ulottua koko ryömintätilan alueelle. Ensisijaisesti käytetään painovoimaista tuuletusta, mikäli se on mahdollista. Luonnollisessa tuuletuksessa käytetään hyväksi rakennuksen eri puolilla vaikuttavia tuulenpaine-eroja tai savupiippuvaikutusta. Ryömintätilan tuuletus toimii parhaiten silloin, kun ryömintätila tehdään maanpinnan tason yläpuolelle. Tällöin aukot tuulettamiseksi voidaan tehdä suoraan sokkeliin. On myös mahdollista johtaa ryömintätilasta tuuletusputki katolle. Ilmanvaihto ryömintätilassa tulisi olla 0,5–1 vaihtoa tunnissa. (RIL 107-2012, 58; RIL 255-1-2014, 158–159.) Tuuletusilman mukana tuleva kosteus on kuitenkin oikein toteutetussa ryömintätilassa tyypillisesti suurin kosteuslähde, joten ryömintätilan tarpeettoman suurta tuuletusta tulee välttää (RIL 250-2020, 139).




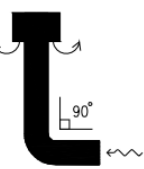
Ohjeavot ryömintätilan tuuletusaukkojen yhteenlasketulle pinta-alalle RIL 107-2012 mukaan (promillea alapohjan alasta) ovat seuraavat:

- tuulelle altis sijainti 0,5
- tavanomainen rakennuspaikka 1,0

Suunnittelija voi poiketa tästä suosituksesta sillä perusteella, että maapohjasta nouseva kosteustuotto on estetty tehokkaasti, esimerkiksi maapohjan riittävällä eristyksellä. Tämä varmistetaan riittävällä jälkiseurannalla. (RIL 107-2012, 58–59; RIL 255-1-2014, 158.)

Tuulelle altis sijainti tarkoittaa avoimessa maastossa yksin olevaa rakennusta. Koneellinen tuuletus voi olla tarpeen hyvin tuulelta suojatuissa paikoissa. Koneellisen tuuletuksen avulla voidaan myös vähentää alipaineisuutta huonetilassa ryömintätilaan nähden. Koneellista tuuletuksista käytettäessä tulee kuitenkin huomioida, että ryömintätilan suhteellinen kosteus yleensä nousee, mikäli korvausilma virtaa sisätiloista ja mikäli korvausilma virtaa perusmuurin alta maakerrosten läpi, nostaa se yleensä suhteellista kosteutta kesäaikana. (RIL 107-2012, 58–59; RIL 255-1-2014, 158–159.)

Tuuletusaukoissa verkot, säleiköt ja putket lisäävät ilmanvastusta, mikä tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Materiaalitoimittajien tulee ilmoittaa tuotekohtainen tehollinen pinta-ala tai virtausvastus. (RIL 107-2012, 59.) Puuinfo on julkaissut vuonna 2011 teknisen tiedotteen tuuletuksista puualapohjista, jossa esitetään ohjeellisia säleikköjen ja verkkojen aiheuttamia pienennyskertoimia tuuletusaukkojen pinta-alaan (Taulukko 4). Taulukkoa voidaan hyödyntää, mikäli valmistajien tuotekohtaisia tehollisia pinta-aloja ei ole käytettävissä.

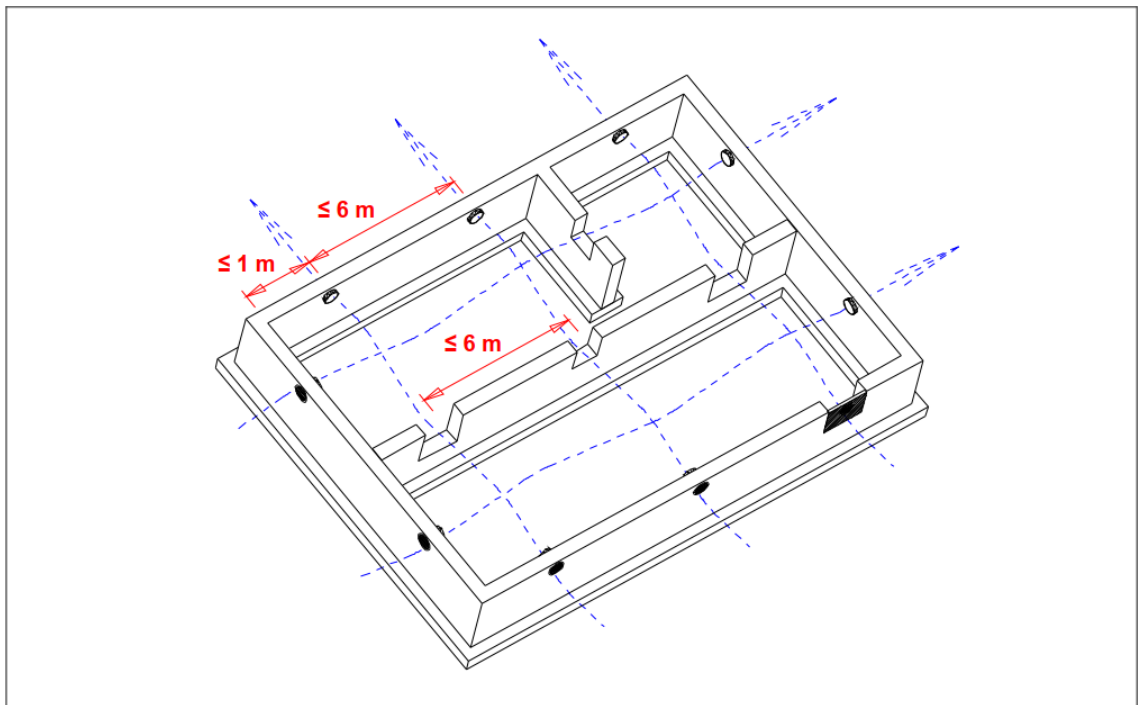
SÄLEIKKÖ TAI VERKKO	AUKON KOKO	KERROIN	
Puristettu peltisäleikkö [1]	200x200	0,23	[1]  [2] 
Puristettu peltisäleikkö [1]	250x250	0,27	
Valettu säleikkö [2]	200x200	0,58	[3]  [4] 
Valettu säleikkö [2]	250x250	0,58	
Hitsattu peltisäleikkö [3]	300x300	0,50	
Hitsattu peltisäleikkö [3]	400x400	0,50	
Tuuletusputki (kulma) [4]		0,15	
Muoviverkko	150x150	0,89	
Metalliverkko	150x150	0,94	

Taulukko 4. Säleikköjen, verkkojen ja putkien aiheuttamat pienennyskertoimet (Puuinfo 2011)



Tehollinen vähimmäiskoko tuuletusaukoilla on  $150 \text{ cm}^2$  ja aukon alareunan tulee olla vähintään 150 mm korkeudella ympäröivästä maanpinnasta. Suunnittelussa on myös huomioitava, että kasvillisuus ei saa peittää tuuletusaukkoja. (RIL 107-2012, 58.)

Enimmäisväli tuuletusaukoilla on 6 metriä. Tuuletusaukkojen perusmuurissa sekä väliseinäsokkelissa tulisi sijaita samalla virtausreitillä (Kuva 9). (RIL 107-2012, 58.)



Kuva 9. Tuuletusaukkojen sijoittelun periaate (Puuinfo 2011)

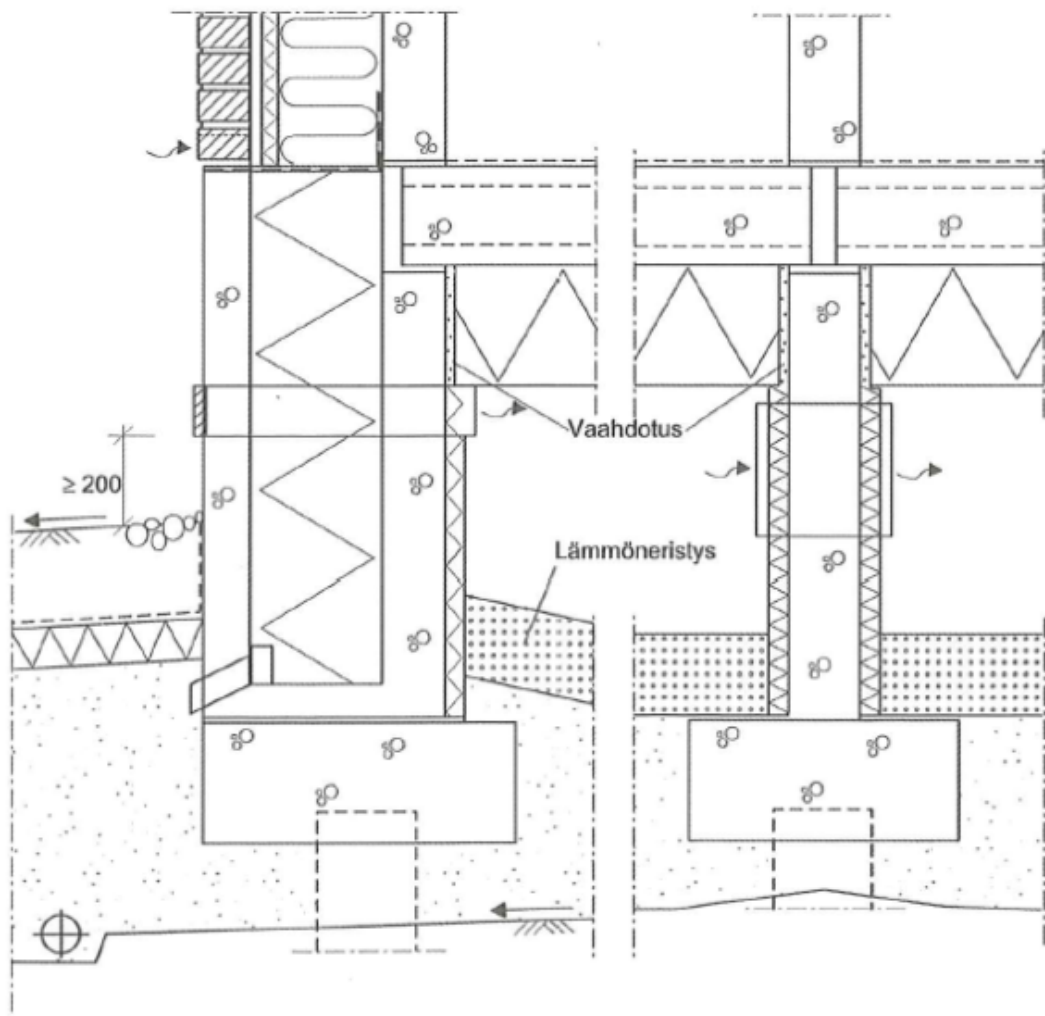
Tuuletuksen kannalta peruspilarit ovat ryömintätilassa parempi ratkaisu kuin väliseinäsokkelit. Väliseinäsokkeleita käytettäessä tuuletusaukoja täytyy olla pinta-alaltaan kaksi kertaa enemmän kuin ympärismuurissa. (RIL 255-1-2014, 159.)

## 6.5 Lämmöneristys

Lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo ryömintätilaan rajoittuvassa alapohjassa on  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , kun lasketaan lämpimän tai kylmän tilan rakennuksen vaipan lämpöhäviötä (Ympäristöministeriö 1010/2017, 3:24§). Kesäaikaista kosteuden tiivistymisen riskiä ryömintätilan pinnoilla voidaan hillitä maapohjan eristämällä.

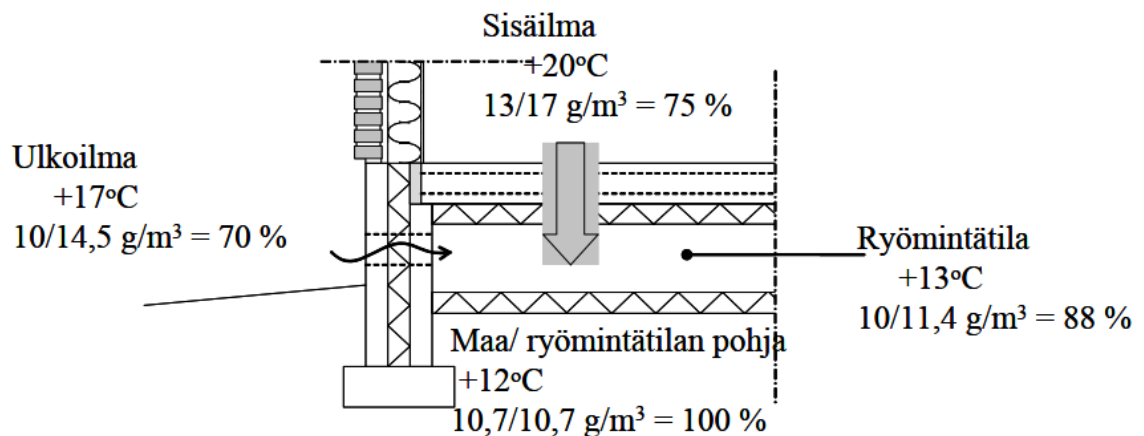
Maapohja voidaan päällystää esimerkiksi kevytsorakerroksella. Tällöin ulkoa tulevan tuuletusilman lämpöenergia ei siirry maapohjaan, jolloin ryömintätilan ilma pysyy lämpimänä ja maapohja viileänä. Tällöin ilman vesihöyrypitoisuuden kylästysvajaus säilyy ja maapohja ei pysty haihduttamaan kosteutta yhtä paljon ryömintätilaan. (RIL 255-1-2014, 158.) Maapohjan lämmöneristeen lämmönvastus olisi suositeltavaa olla vähintään noin  $1,4 \text{ m}^2\text{K/W}$  (Vinha ym. 2013, 333).

Betonirakenteinen alapohja tulee lämmöneristettäväksi kokonaan tai osittain alapuolelta (RIL 250-2020, 140). Betoni pysyy tällöin lämpimänä ja kuivana. Lämmöneristys tuulettuvassa alapohjassa tulee jatkaa myös betonisten perusmuurien pinnoille, jotta kylmäsilta vaikutusta ei pääsisi syntymään (Kuva 10) (RIL 255-1-2014, 159–160). Eristeenä tulisi käyttää ohutta solumuovieristelevyä (RIL 250-2020, 144).



Kuva 10. Tuulettuvan alapohjan lämmöneristämisen periaate (RIL 255-1-2014)

Alapohjarakenne suositellaan eristettävän määräyksiä noudattaen, sillä liian hyvä eristys tekee rakenteen alaosa viileämmän. Tämä johtaa siihen, että rakenteen alaosa tulee myös kosteampi. (RIL 255-1-2014, 159.) Lämmöneristeen lisääminen lattiarakenteeseen saattaa nostaa ryömintätilan kosteuspitoisuuden kriittisen korkeaksi tavanomaisina kesinä, mikä mahdollistaa mikrobin kasvun. Erityisen sateisina kesinä lämmöneristeen lisääminen muuttaa entisestään olosuhteita mikrobikasvustolle ryömintätalassa otollisemmiksi, sekä pidentää ajanjaksoa, jolloin olosuhteet kasvuille ovat suotuisat. Ulkoilmalla tuulettuva ryömintätalainen alapohjarakenne on mikrobin kasvun suhteen riskirakenne nykyisilläkin lämmöneristävyksillä toteutettuna. (Vinha ym. 2008, 33.) Kuvassa 11 on esitetty ryömintätalassa olosuhteita tavanomaisena kesänä, kun lämmöneristystä on lisätty.



Kuva 11. Alapohjan lämmönvastuksen lisääminen vaikutus ryömintätalassa olosuhteisiin kesällä (Vinha ym. 2008)

Kuvasta 11 huomataan, että suhteellinen kosteus ryömintätalassa on suurempi lämmöneristystä parantaessa, kuin tavanomaisella lämmönerityksellä (Kuva 1).

## 6.6 Ryömintätalassa korkeus ja kulkuyhteys

Ryömintätalassa tulee olla keskimäärin vähintään 0,8 metriä korkea (Ympäristöministeriö 782/2017, 5:20§). Vähimmäiskorkeudella on tavoite varmistaa, että ryömintätalassa korkeus on riittävä tarkastus- ja huoltotöitä varten. Vähimmäiskorkeudesta 0,8 metriä voidaan poiketa esimerkiksi alapohjaa kannattelevien palkkien kohdalla. Tällöin palkkien vaikutus tulee kuitenkin ottaa huomioon tuuletuksen suunnittelussa. Jos tuuletuksessa on huollettavaa talotekniikkaa, suositeltu korkeus on vähintään 1,2 metriä. (RIL 107-2012, 56.)

Ryömintätilan koko alueelle tulee järjestää pääsy. Ensisijaisesti pääsy tulee järjestää ulkokautta ryömintätilaan, mutta tarvittaessa tehdään huoltoluukku sisätiloihin. Tässä tapauksessa tulisi huoltoluukku sijoittaa toisarvoisiin tiloihin esimerkiksi varastoon, ja välttää sijoittamasta huoltoluukku asuntoihin. Rakenneliittymien tulee olla kaasutiiviitä sijoittaessa huoltoluukku sisätiloihin. Huoltoluukun sijainti ja yksityiskohdat tulee suunnitella siten, että hulevedet eivät pääse kulkeutumaan ryömintätilaan. (Ympäristöministeriö 2020, 33.)

## **6.7 Materiaalit**

Lämpiminä vuodenaikoina ryömintätilassa voi vallita pitkään homeenkasvulle suotuisat olosuhteet. Tämän vuoksi ryömintätilassa tulisi käyttää materiaaleja, jotka kestävät ajoittaisen korkean suhteellisen kosteuden. (RIL 255-1-2014, 158.) Rakennusmateriaaleja on jaettu homehtumisherkkyysluokkiin HHL1 – HHL4 suomalaisessa homemallissa, jossa HHL1 on homehtumisherkkydeltään hyvin herkkä ja HHL4 on kestävä (RIL 255-1-2014, 61). Rakennusjätettä, muottilautoja, multaa, tai muuta orgaanista materiaalia ei ryömintätilaan saa jäädä (RIL 107-2012, 56).

## **6.8 Radon**

Ryömintätalaisissa alapohjaratkaisuissa radonin kulkeutuminen sisätiloihin estetään riittävällä tuuletuksella, sekä alapohjaliittymien että läpivientien huolellisella tiivistämisellä. Ryömintätilaan ei tarvita rakennuspohjan tuuletusjärjestelmää (RT103123 Radonin torjunta, 3.) Alapohjaliittymien ja läpivientien riittävällä tiivistyksellä estetään myös mikrobikasvuston kulkeutuminen sisätiloihin (RIL 107-2012, 56).

## **7 Suomalainen homemalli**

Suomalainen homemalli on TTY:n ja VTT:n kehittämä työkalu homehtumisriskin arviointiin, joka on tällä hetkellä pisimmälle kehitetty homehtumisriskin arviointityökalu maailmassa. Suomalainen homemalli pohjautuu homemalliin, jonka VTT

on aiemmin kehittänyt puumateriaaleille. Rakennusmateriaalien pinnoilla tapahtuvaa homeenkasvua voidaan arvioida mallin avulla muuttuvissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa ajan funktiona. (Tampereen yliopisto.)

Suomalaisessa homemallissa materiaalin homehtumista kuvaavana vertailusuu- reena käytetään homeindeksiä M, joka kuvaa homeen määrän lisääntymistä ma- teriaalin pinnalla ja vaihtelee välillä 0–6 (Taulukko 5). Malli laskee homeindeksin tunnin välein määritettyjen kosteuden arvojen ja lämpötilan perusteella, ja ottaa myös huomioon homeen kasvun taantumisen liian kylmissä tai kuivissa olosuh- teissa. (Tampereen yliopisto.)

Home- indeksi M	Havaittu homeenkasvu	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

Taulukko 5. Homeen määrän lisääntymistä materiaalin pinnalla kuvaava homein- deksi (Tampereen yliopisto)

Eri homelajeja homeindeksi ei ota huomioon, vaan kuvaa materiaalin pinnoilla tapahtuvaa homeenkasvua ylipäätään. Tämän vuoksi homemallin avulla ei voida arvioida, kuinka terveydelle vaarallisia materiaalissa kasvavat homeet ovat. (Tampereen yliopisto.)

Materiaalit jaetaan niiden homehtumisherkkyiden perusteella neljään luokkaan HHL1 – HHL4 (Taulukko 6), sekä homehtumisherkkyysluokasta riippuvaan taan- tumaluokkaan HTL2 – HTL4 (Taulukko 7). Joidenkin taulukossa esitettyjen ma- teriaalien esimerkiksi tiilien ja muovipohjaisten materiaalien kuulumista tiettyyn

homehtumisherkkyyssluokkaan ei ole varmistettu kokeiden avulla. (RIL 255-1-2014, 60–61.)

Homehtumisominaisuuksia materiaaleissa voidaan arvioida homeen kasvun liikkeelle lähdön, homeen taantumisen ja homehtumisen maksimitason avulla. Yleensä mitä nopeammin homeenkasvu lähtee materiaalissa liikkeelle, sitä korkeammaksi homeindeksi voi kohota ja sitä nopeammin home taantuu kasvuympäristön muuttuessa homeen kannalta epäedulliseksi. Poikkeuksia tähän kuitenkin on esimerkiksi taulukossa 6 esitetty kevytbetoni. (RIL 255-1-2014, 61.)

Homehtumisherkkyyssluokka		Rakennusmateriaalit
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitalistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, kipsilevy, vaneri, lastulevy, bitumoidut/käsitellyt huokoiset kuitulevyt
HHL3	Kohtalaisen herkkä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni*, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiili
HHL4	Kestävä	Alkalinen uusi betoni, lasi ja metallit, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

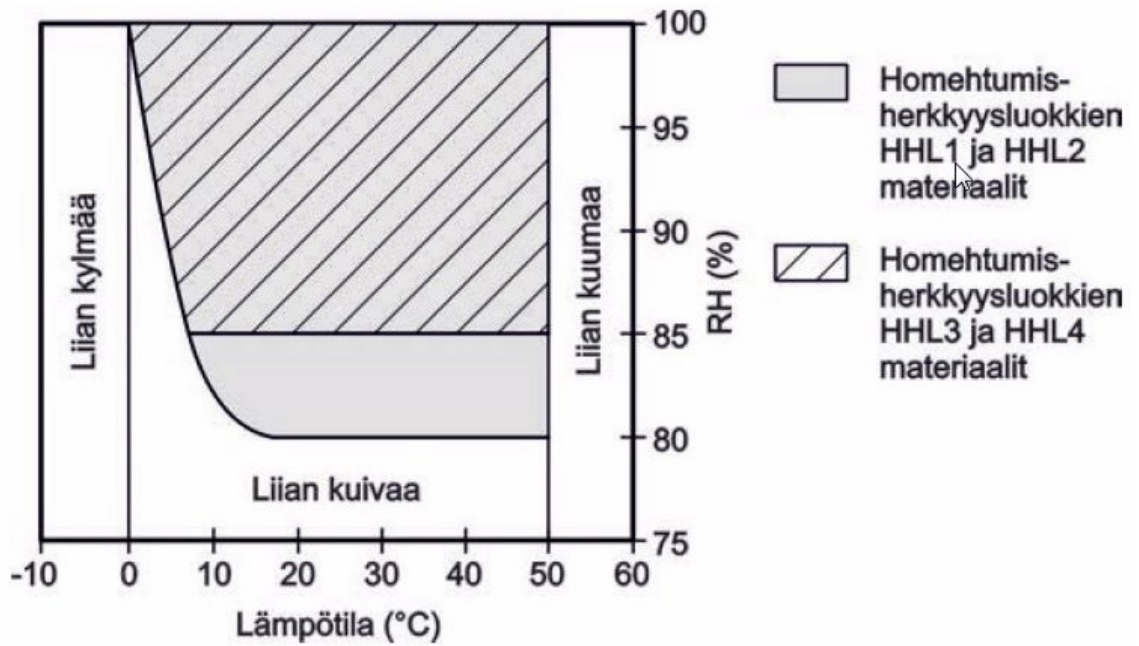
\* Kevytbetoni kuuluu homehtumisominaisuuksiltaan kahteen eri homehtumisherkkyyssluokkaan. Homeen kasvunopeus vastaa homehtumisherkkyyssluokkaa HHL2, mutta homeindeksin maksimiarvo jää homehtumisherkkyyssluokan HHL3 tasolle.

Taulukko 6. Rakennusmateriaalien jakautuminen homehtumisherkkyyssluokkiin (Tampereen yliopisto)

Homehtumis-herkkyyssluokka	Homeen taantumaluokka
HHL1	HTL2 Merkittävä taantuma
HHL2	HTL3 Kohtalainen taantuma
HHL3	HTL4 Vähäinen taantuma
HHL4	HTL4 Vähäinen taantuma

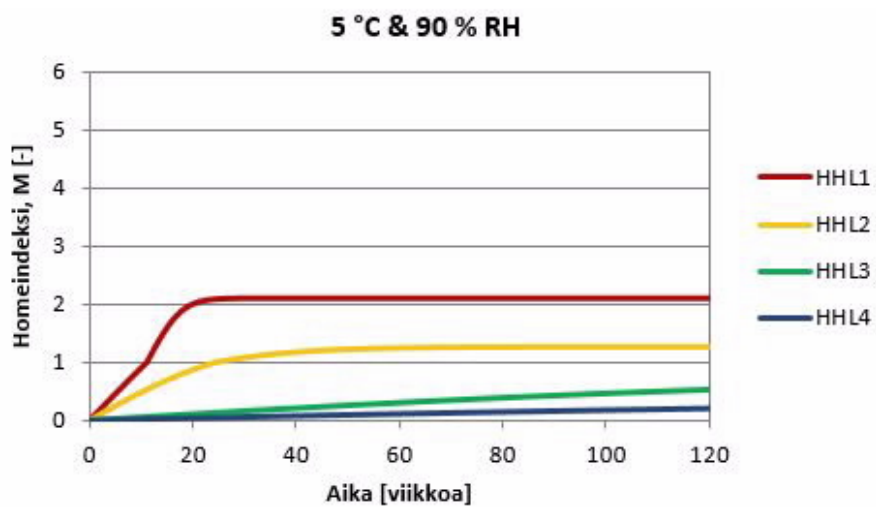
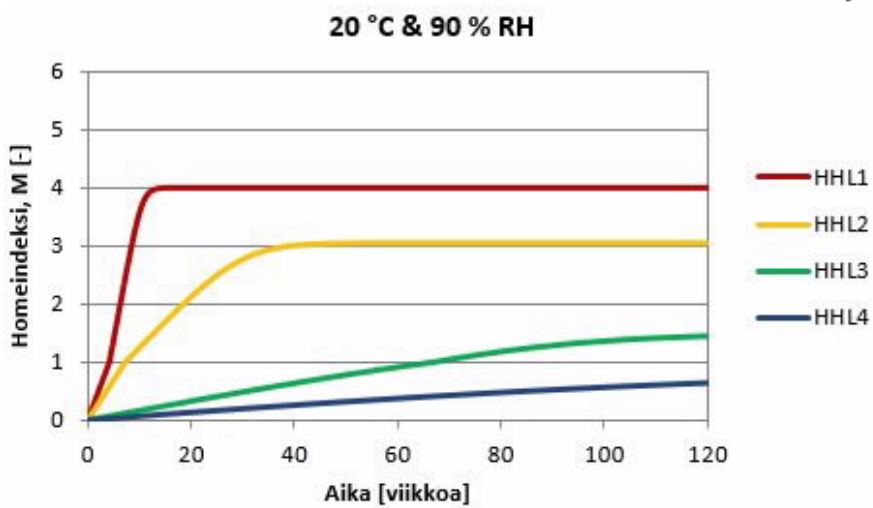
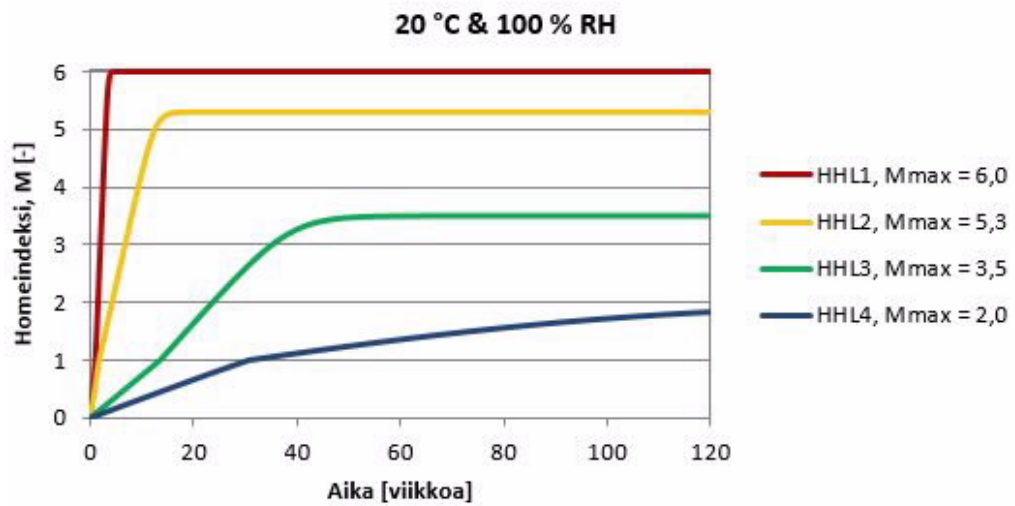
Taulukko 7. Homehtumisherkkyyssluokkaa vastaava homeen taantumaluokka (Tampereen yliopisto)

Lämpötila ja suhteellinen kosteus vaikuttavat homeindeksin maksimiarvoon ja kasvunopeuteen. Suhteellisen kosteuden pudotessa alle 80/85 %:iin tai lämpötilan pudotessa alle 0 °C, homeen kasvu pysähtyy ja homeen taantuminen alkaa. Tätä havainnollistaa kuva 12. (RIL 255-1-2014, 62.)



Kuva 12. Suotuisat lämpö- ja kosteusolosuhteet eri homehtumisriskiluokissa homeen kasvun kannalta (Tampereen yliopisto)

Kuvassa 13 on havainnollistettu homehtumisherkkyyssuokkien vaikutusta homeen kasvunopeuteen ja homeindeksin maksimiarvoon vakio-olosuhteissa.



Kuva 13. Homehtumisherkkyyssluokkien vaikutukset homeen kasvunopeuteen ja homeindeksin maksimiarvoon vakio-olosuhteissa (Tampereen yliopisto)



Homeen kasvu rakenteissa esiintyy tyypillisesti materiaalien välissä, joten materiaalien vaikutus toisen homeutumisherkyyteen tulisi tuntea homeutumisherkyyttä arvioidessa. Yleensä rajapinnan homeutumisriskiä tulisi tarkastella herkemmän materiaalin mukaan. Homeutumiselle herkempi materiaali saattaa lisätä homeen kasvua myös vähemmän herkässä materiaalissa. Homeen kasvun tapahtuessa yleensä materiaalien pinnoilla, tulee myös homeindeksin arvo laskea pinnan olosuhteista. Ympäröivän ilman lisäksi myös materiaaliominaisuudet, kuten materiaalin ominaislämpö- ja kosteuskapasiteetti vaikuttavat olosuhteisiin materiaalin pinnassa hidastaen lämpötila ja RH-olosuhteiden muutosta. (RIL 255-1-2014, 62–64.)

Homeen kasvulle annettavat raja-arvot riippuvat tarkasteltavan kohdan sijainnista rakennuksessa. Vaipparakenteiden sisäpinnan lähellä homeen kasvua ei sallita missään olosuhteissa, mutta ulkoilmaa ja maata vasten olevissa pinnoissa homeen kasvu yleensä sallitaan, koska sitä on ulkoilmassa ja maaperässä muutenkin. (RIL 255-1-2014, 64; RIL 250-2020, 116.)

Suositus Suomen ilmasto-olosuhteissa homeindeksin maksimiarvolle kantavissa rakenteissa, lämmöneristekerroksessa ja sen sisäpuolella olevissa materiaalikerroksissa on yksi. Tämä tarkoittaa sitä, että homeen kasvua ei näissä kohdissa sallita. Perusteita tähän arvoon on useita, muun muassa laskennallisen tarkastelun epävarmuustekijät, laskennan yksinkertaistukset, kantavien rakenteiden vaihtamisen hankaluus, homeiden kasvaminen avohuokoisten lämmöneristemateriaalien sisällä ja se, että homemalli ei kuvaa homeutumisen terveysriskiä. Esimerkiksi kivipohjaisissa materiaaleissa elävien homeiden aineenvaihduntatuotteet saattavat olla huomattavasti toksisempia kuin puumateriaaleissa elävien homeiden. Homeen kasvulle on myös tyypillistä se, että kerran homehtumaan päässyt materiaali lähtee homehtumaan herkemmin uudestaan. (RIL 255-1-2014, 64–65.)

Raja-arvoja toimintakriteereitä kuvaaville vertailusuureille tulee asettaa siten, että rakenteen tai rakennuksen toiminta halutulla tavalla varmistetaan, kuitenkin ollen kohtuullisin kustannuksin saavutettavissa. Esimerkiksi ulkoilmaolosuhteiden mahdollistaessa tarkasteltavan ilmiön syntyminen hyvin herkästi, yhtä tiukkoja raja-arvoja ei välttämättä voi käyttää kuin vastaavassa rakenteessa vähemmän

kriittisissä ilmasto-olosuhteissa. (RIL 255-1-2014, 62–64.) Tuulettuvassa alapohjassa mikrobikasvu sallitaan ryömintätilassa sekä tuulensuojan tai umpisoluisen lämmöneristeen ulkopinnassa. (RIL 250-2020, 120).

## 8 Rakenteen lämmönläpäisykertoimen laskeminen

Rakenteiden lämmönläpäisykerroin lasketaan eurooppalaisen standardin SFS-EN ISO 6946 mukaisesti. Standardi on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. (SFS-EN ISO 6946: 2017, 1.)

### Lämmönjohtavuus

Laskennassa tulee käyttää lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja  $\lambda = \lambda_U = \lambda_d = \lambda_{\text{design}}$ , joita löytyy esimerkiksi standardista SFS-EN ISO 10456. Ilmoitettuja lämmönjohtavuuden arvoja  $\lambda_D = \lambda_{\text{Declared}}$  ei tule käyttää ilman niiden muuntamista suunnitteluarvoksi. Näitä arvoja voivat olla esimerkiksi valmistajien antamat arvot.  $\lambda_{\text{Declared}}$  -arvon muuntaminen suunnitteluarvoksi on esitetty standardissa SFS-EN ISO 10456: 2017, eikä sitä tässä opinnäytetyössä käsitellä. (Rafnet 2020a, 6.)

### Lämmönvastus

Lämmönvastus  $R$  on lämmönjohtavuuden käänteisarvo, joka ottaa huomioon myös materiaalikerroksen paksuuden lasketaan kaavalla 2 (SFS-EN ISO 6946: 2017, 16).

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

$R$  lämmönvastus [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

$d$  materiaalikerroksen paksuus [ $\text{m}$ ]

$\lambda$  lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo [ $\text{W}/\text{mK}$ ]

### Pintavastukset

Ulkoilmaan rajautuville rakenneosille saadaan pintavastukset standardista SFS-EN ISO 6946 (Taulukko 8).

Surface resistance $m^2 \cdot K/W$	Direction of heat flow		
	Upwards	Horizontal	Downwards
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

NOTE 1 The surface resistances apply to surfaces in contact with air. No surface resistance applies to surfaces in contact with another material.

NOTE 2 The values for internal surface resistance are calculated for  $\varepsilon = 0,9$  and with  $h_{r0}$  evaluated at 20 °C. The value for external surface resistance is calculated for  $\varepsilon = 0,9$ ,  $h_{r0}$  evaluated at 10 °C, and for  $v = 4$  m/s.

Taulukko 8. Rakenneosan sisä- ja ulkopuolen pintavastukset (SFS-EN ISO 6946: 2017)

### Kokonaislämmönvastus

Rakennusosan kokonaislämmönvastus  $R_{tot}$  voidaan laskea kaavalla 3 mikäli ainekerrokset ovat tasapaksuja, lämpövirtaan nähden kohtisuoria ja lämpötekniisesti tasa-aineisia (SFS-EN ISO 6946: 2017, 16).

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se} \quad (3)$$

$R_{tot}$  tasomaisen rakenteen kokonaislämmönvastus [ $m^2K/W$ ]

$R_{si}$  sisäpinnan pintavastus [ $m^2K/W$ ]

$R_1, R_2, \dots$  tasa-aineisten ainekerrosten lämmönvastus [ $m^2K/W$ ]

$R_{se}$  ulkopinnan pintavastus [ $m^2K/W$ ]

### Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerroin  $U$  voidaan laskea rakenteen kokonaislämmönvastuksen  $R_{tot}$  käänteislukuna (Kaava 4) (SFS-EN ISO 6946: 2017, 15).

$$U = 1/R_{tot} \quad (4)$$

### Rinnakkaiset rakennekerrokset

Jos rakenneosassa on lämpövirran suuntaan nähden lämmönjohtavuudeltaan erilaisia rinnakkaisia ainekerroksia täytyy rakenteen kokonaislämmönvastus  $R_{tot}$  laskea lämmönvastuksen yläliikiarvon  $R_{tot;upper}$  ja alaliikiarvon  $R_{tot;lower}$  keskiarvona kaavalla 5 (SFS-EN ISO 6946: 2017, 17).

$$R_{tot} = \frac{R_{tot;upper} + R_{tot;lower}}{2} \quad (5)$$

Tämä tulisi kyseeseen esimerkiksi rakenteessa, jossa rinnakkaiset kerrokset olisivat puurunko ja villa. Koska tarkasteltavissa betonisissa tuulettuvissa alapohjarakenteissa ei ole rinnakkaisia kerroksia, ei tässä opinnäytetyössä syvennyttä yllä olevan kaavan laskentaan tämän enempää.

### Lämmönläpäisykertoimen korjaustermi

Ylä- ja alalikiarvon suhteen ollessa suurempi kuin 1,5, ei voida kaavaa 5 käyttää U-arvon laskennassa. Tämä voisi tulla kyseeseen esimerkiksi rakenteessa, jossa on metallisia kiinnikkeitä. Tällöin tulee laskea lämmönläpäisykertoimen korjaustermi  $\Delta U$ , joka lisätään aiemmin laskettuun lämmönläpäisykertoimen arvoon (Kaava 6) (SFS-EN ISO 6946: 2017, 17).

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r \quad (6)$$

$\Delta U$  lämmönläpäisykertoimen korjaustermi [W/m<sup>2</sup>K]

$\Delta U_f$  mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä [W/m<sup>2</sup>K]

$\Delta U_g$  ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä [W/m<sup>2</sup>K]

$\Delta U_r$  käännytyistä katoista aiheutuva korjaustekijä [W/m<sup>2</sup>K]

Lämmönläpäisykertoimen korjaustermin laskentaa ei käsitellä tarkemmin tässä opinnäytetyössä. Laskenta on esitetty standardin SFS-EN ISO 6946 liitteessä F.

## 9 Tuulettuvan alapohjan lämmönläpäisykerroin

Tuulettuvan alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskentaan voidaan käyttää yksinkertaistettua laskentatapaa, mikäli tuuletusaukkojen yhteenlaskettu ala on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta. Yksinkertaistetussa laskentatavassa kerrotaan sisätilan ja ryömintätilan välisen lattiarakenteen laskettu lämmönläpäisykerroin kertoimella 0,9. Kerroin ottaa huomioon ryömintätilan ulkoilmaa korkeamman lämpötilan sekä ryömintätilan alapuolisen maan lämmönvastuksen.

(C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos 2012, 32.) Ohjeistus yksinkertaiselle laskentatavalle on esitetty C4 Suomen rakentamismääräyskokoelman luonnoksessa, joten ohjeistus ei ole virallinen, vaikkakin yleisesti käytetty.

Ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin voidaan kuitenkin laskea tarkemmin standardin SFS-EN ISO 13370 mukaisesti. Kyseinen standardi antaa kaksi vaihtoehtoista laskentatapaa, jotka kummatkin esitetään tässä opinnäytetyössä luvuissa 9.1 ja 9.2.

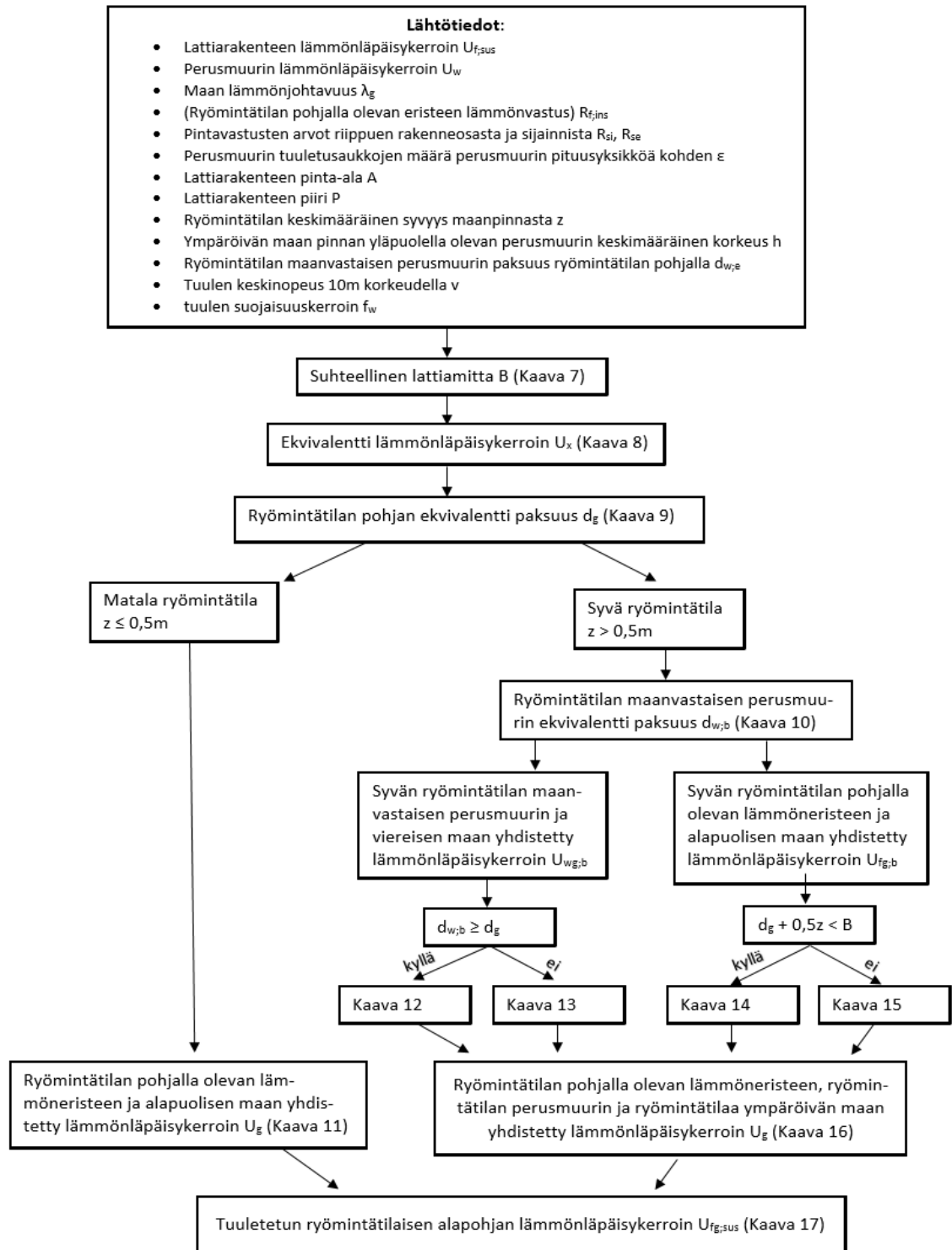
Luvun 9.1 laskentatapaa voidaan käyttää painovoimaisesti tuulettuviin alapohjiin. Laskentatapa vastaa C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012 luonnoksen mukaista laskentatapaa tuulettuvalle alapohjalle. Jos ryömintätila on koneellisesti tuuletettu tai ilmanvaihtuvuus on tarkasti määritetty, tulee käyttää luvun 9.2 mukaista laskentatapaa.

Vaikka luvun 9.2 mukaisella laskentatavalla voidaan laskea myös painovoimaisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykerroin, suosittelen kuitenkin käyttämään luvun 9.2 mukaista laskentatapaa vain koneellisesti tuulettujen alapohjien lämmönläpäisykertoimen laskentaan ja painovoimaisesti tuuletetuissa ratkaisuissa käyttämään luvun 9.1 mukaista laskentatapaa. Tämä siitä syystä, että luvun 9.1 mukainen laskentatapa vastaa C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012 luonnoksen mukaista laskentatapaa. Laskentatavat on opinnäytetyössä otoskoitu tämän mukaisesti. Koneellisen tuuletuksen tapauksessa on myös mahdollista laskea ryömintätilan ilman vuosittainen keskilämpötila, joka esitetään luvussa 9.2.

## **9.1 Painovoimaisesti tuulettuva alapohja**

Painovoimaisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykerroin tulee laskea standardin SFS-EN ISO 13370:2017 mukaisesti. Laskentatapa vastaa C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012 luonnoksen mukaista laskentatapaa, joten tähän laskentaan on otettu tarkennuksia myös kyseisestä ohjeesta. Kuvassa 14 on esitetty lämmönläpäisykertoimen laskennan kulku, kun tuuletus tapahtuu painovoimaisesti.

**Painovoimaisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykerroimen  $U_{fg,sus}$  laskenta**



Kuva 14. Painovoimaisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskenta

## Suhteellinen lattiamitta

Lämmönsiirron maassa tapahtuva kolmiulotteisuus otetaan huomioon suhteellisella lattiamitalla B (Kaava 7) (SFS-EN ISO 13370: 2017, 19).

$$B = \frac{A}{0,5P} \quad (7)$$

B suhteellinen lattiamitta [m]

A lattiarakenteen pinta-ala [m<sup>2</sup>]

P lattiarakenteen piiri [m]

Piiri ja pinta-ala lattiarakenteelle lasketaan sisäpintojen mukaan. Myös rakennuksen osalle voidaan laskea suhteellinen lattiamitta. Rakennuksen vaipan ulkopuolella olevia lämmittämättömiä tiloja ei oteta piirin tai pinta-alan laskennassa huomioon. Esimerkiksi rivitaloaluoneiston lattiarakenteen pinta-ala lasketaan huoneiston sisämitoilla, johon lisätään puolet huoneiston välisten seinien paksuudesta. (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos 2012, 26.)

## Ekvivalentti lämmönläpäisykerroin

Painovoimaisesti tuuletetun ryömintätilan ekvivalentti lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 8 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 24).

$$U_x = \frac{2hU_w}{B} + 1450 \frac{\varepsilon v f_w}{B} \quad (8)$$

$U_x$  painovoimaisesti tuuletetun ryömintätilan ekvivalentti lämmönläpäisykerroin, jossa otetaan huomioon ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin ja ryömintätilan ilmatilan lämmönvastus [W/m<sup>2</sup>K]

$h$  ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin keskimääräinen korkeus [m]

B suhteellinen lattiamitta [m]

$U_w$	ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin lämmönläpäisykerroin, joka lasketaan luvussa 8 esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti [ $W/m^2K$ ]
$\epsilon$	perusmuurissa olevien tuuletusaukkojen pinta-ala perusmuurin pituusyksikköä kohden [ $m^2/m$ ]
$v$	tuulen keskinopeus 10 m korkeudella [ $m/s$ ]
$f_w$	tuulen suojaisuuskerroin [-]

Jos tuulen keskinopeutta ( $v$ ) ei ole tiedossa, voidaan käyttää arvoa 3 m/s. Tuulen suojaisuuskertoimen arvo valitaan taulukosta 9. (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos 2012, 36.)

Rakennuksen sijainti	Esimerkki	$f_w$
suojaisa	kaupungin keskusta	0,02
tavanomainen (osittain suojattu)	lähiöalue tai ympärillä puustoa	0,05
avoin paikka	peltoaukea	0,10

Taulukko 9. Rakennuksen sijainnista riippuvat tuulen suojaisuuskertoimen arvot (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos)

### **Ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin**

Ryömintätilan pohjan ekvivalentti paksuus lasketaan kaavalla 9 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 23).

$$d_g = d_{w,e} + \lambda_g (R_{si} + R_{f;ins} + R_{se}) \quad (9)$$

$d_g$	ryömintätilan ekvivalentti paksuus [m]
$d_{w,e}$	ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin paksuus ryömintätilan pohjalla [m]
$\lambda_g$	maan lämmönjohtavuus [ $W/(mK)$ ]
$R_{si}$	ryömintätilan pohjan pintavastus [ $m^2K/W$ ]



$R_{se}$  maan pinnan pintavastus ulkona [ $m^2K/W$ ]

$R_{f,ins}$  ryömintätilan pohjalla olevan eristeen lämmönvastus, joka lasketaan luvun 8 mukaisesti [ $m^2K/W$ ]

Ryömintätilan pohjan pintavastuksen arvona voidaan käyttää lattiarakenteen sisäpuolen pintavastuksen arvoa (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 33).

Ellei tarkempia laskelmia tai kokeita maan lämmönjohtavuudesta ( $\lambda_g$ ) ole tehty, käytetään laskennassa seuraavia arvoja (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 26):

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| - savi, salaojitettu hiekka ja sora              | $\lambda_g = 1,5 \text{ W/(mK)}$ |
| - hiesu, salaojittamaton hiekka ja sora, moreeni | $\lambda_g = 2,0 \text{ W/(mK)}$ |
| - kallio   | $\lambda_g = 3,5 \text{ W/(mK)}$ |
| - jos maalaji ei tiedossa                        | $\lambda_g = 2,0 \text{ W/(mK)}$ |

Ryömintätilan pohjalla olevan salaojituskerroksen lämmönjohtavuutena käytetään ympäröivän maalajin lämmönjohtavuutta (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos 2012, 26).

Ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin ekvivalentti paksuus  $d_{w;b}$  lasketaan kaavalla 10 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 26).

$$d_{w;b} = \lambda_g (R_{si} + R_{w;b} + R_{se}) \quad (10)$$

$d_{w;b}$  ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin ekvivalentti paksuus [m]

$\lambda_g$  maan lämmönjohtavuus [ $W/(mK)$ ]

$R_{si}$  perusmuurin sisäpuolen pintavastus [ $m^2K/W$ ]

$R_{se}$  maan pinnan pintavastus ulkona [ $m^2K/W$ ]

$R_{w;b}$  ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin lämmönvastus, joka lasketaan luvun 8 mukaisesti [ $m^2K/W$ ]

Perusmuurin sisäpuolen pintavastuksena voidaan käyttää ulkoseinärakenteen sisäpuolen pintavastuksen arvoa (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos 2012, 36).

Ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan lämmönläpäisykerroimen  $U_g$  laskenta eroaa jonkin verran riippuen onko ryömintätilan pohja keskimäärin enintään 0,5 m maanpintaa alempana vaiko tätä syvemmällä.

### **Matala ryömintätila ( $z \leq 0,5\text{m}$ )**

Jos ryömintätilan pohja on keskimäärin enintään 0,5 m ympäröivää maanpintaa alempana ( $z \leq 0,5 \text{ m}$ ) voidaan  $U_g$  -arvo laskea kaavalla 11 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 23).

$$U_g = \frac{2\lambda_g}{\pi B + d_g} \ln \left( \frac{\pi B}{d_g} + 1 \right) \quad (11)$$

$U_g$  ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]

$\lambda_g$  maan lämmönjohtavuus [ $\text{W}/(\text{mK})$ ]

$B$  suhteellinen lattiamitta [m]

$d_g$  ryömintätilan pohjan ekvivalentti paksuus [m]

$z$  ryömintätilan pohjan keskimääräinen syvyys maan pinnasta [m]

### **Syvä ryömintätila ( $z > 0,5\text{m}$ )**

Syvän ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin ja viereisen maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin  $U_{wg;b}$  lasketaan kaavalla 12, jos  $d_{w;b} \geq d_g$  (SFS-EN ISO 13370: 2017, 26).

$$U_{wg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5d_g}{d_g + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_{w;b}} + 1 \right) \quad (12)$$

Jos taas  $d_{w;b} < d_g$ , niin käytetään kaavaa 13 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 26).

$$U_{wg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5d_{w;b}}{d_{w;b}+z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_{w;b}} + 1 \right) \quad (13)$$

$U_{wg;b}$	syvän ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin ja viereisen maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin [W/(m <sup>2</sup> K)]
$\lambda_g$	maan lämmönjohtavuus [W/(mK)]
$B$	suhteellinen lattiamitta [m]
$d_g$	ryömintätilan pohjan ekvivalentti paksuus [m]
$z$	ryömintätilan pohjan keskimääräinen syvyys maan pinnasta [m]
$d_{w;b}$	ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin ekvivalentti paksuus [m]

Kaavassa 12 käytetty ryömintätilan pohjan ekvivalentti paksuus  $d_g$  on standardissa SFS-EN ISO 13370 tunnuksella  $d_f$  (=kellarin lattian ekvivalentti paksuus). Tässä opinnäytetyössä laskennassa käytetyssä kaavassa 12 on käytetty arvoa  $d_g$ , sillä painovoimaisesti tuuletetun ryömintätilan tapauksessa  $d_f = d_g$ .

Tämän jälkeen lasketaan syvän ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja alapuolisen maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin  $U_{fg;b}$ . Jos ryömintätilan pohja on lämpöeristämätön tai vähän lämpöeristetty ( $d_g + 0,5 z < B$ ), voidaan käyttää kaavaa 14 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 26).

$$U_{fg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi B + d_g + 0,5z} \ln \left( \frac{\pi B}{d_g + 0,5z} + 1 \right) \quad (14)$$

Jos taas ryömintätilan pohja on hyvin lämmöneristetty ( $d_g + 0,5 z \geq B$ ) käytetään kaavaa 15 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 26).

$$U_{fg;b} = \frac{2\lambda_g}{0,457B + d_g + 0,5z} \quad (15)$$

$U_{fg;b}$	syvän ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja alapuolisen maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin [W/(m <sup>2</sup> K)]
$\lambda_g$	maan lämmönjohtavuus [W/(mK)]

B	suhteellinen lattiamitta [m]
$d_g$	ryömintätilan pohjan ekvivalentti paksuus [m]
z	ryömintätilan pohjan keskimääräinen syvyys maan pinnasta [m]

Tämän jälkeen voidaan laskea ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen, ryömintätilan perusmuurin ja ryömintätilaa ympäröivän maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin  $U_g$  ryömintätilan pohjan ollessa yli 0,5 m syvyydellä ympäröivästä maanpinnasta ( $z > 0,5$  m) kaavalla 16 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 49).

$$U_g = U_{fg;b} + \frac{zPU_{wg;b}}{A} \quad (16)$$

$U_g$	ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2K)$ ]
$U_{fg;b}$	syvän ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja alapuolisen maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2K)$ ]
$U_{wg;b}$	syvän ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin ja viereisen maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2K)$ ]
A	ryömintätilan lattiarakenteen pinta-ala [ $m^2$ ]
P	ryömintätilan lattiarakenteen piiri [m]
z	ryömintätilan pohjan keskimääräinen syvyys maan pinnasta [m]

### **Painovoimaisesti tuulettuvan alapohjan lämmönläpäisykerroin**

Painovoimaisesti tuulettun ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin  $U_{fg;sus}$  lasketaan kaavalla 17 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 22).

$$\frac{1}{U_{fg;sus}} = \frac{1}{U_{f;sus}} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (17)$$

$U_{fg;sus}$	tuulettun ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2K)$ ]
--------------	--

$U_{f,sus}$	lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin (sisätilan ja ryömintätilan välinen), joka lasketaan luvussa 8 esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti [ $W/(m^2 K)$ ]
$U_g$	ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan sekä syvässä ryömintätilassa myös ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin yhdistetty lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2K)$ ]
$U_x$	ryömintätilan ekvivalentti lämmönläpäisykerroin, jossa otetaan huomioon ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin ja ryömintätilan ilmatilan lämmönvastus [ $W/(m^2K)$ ]

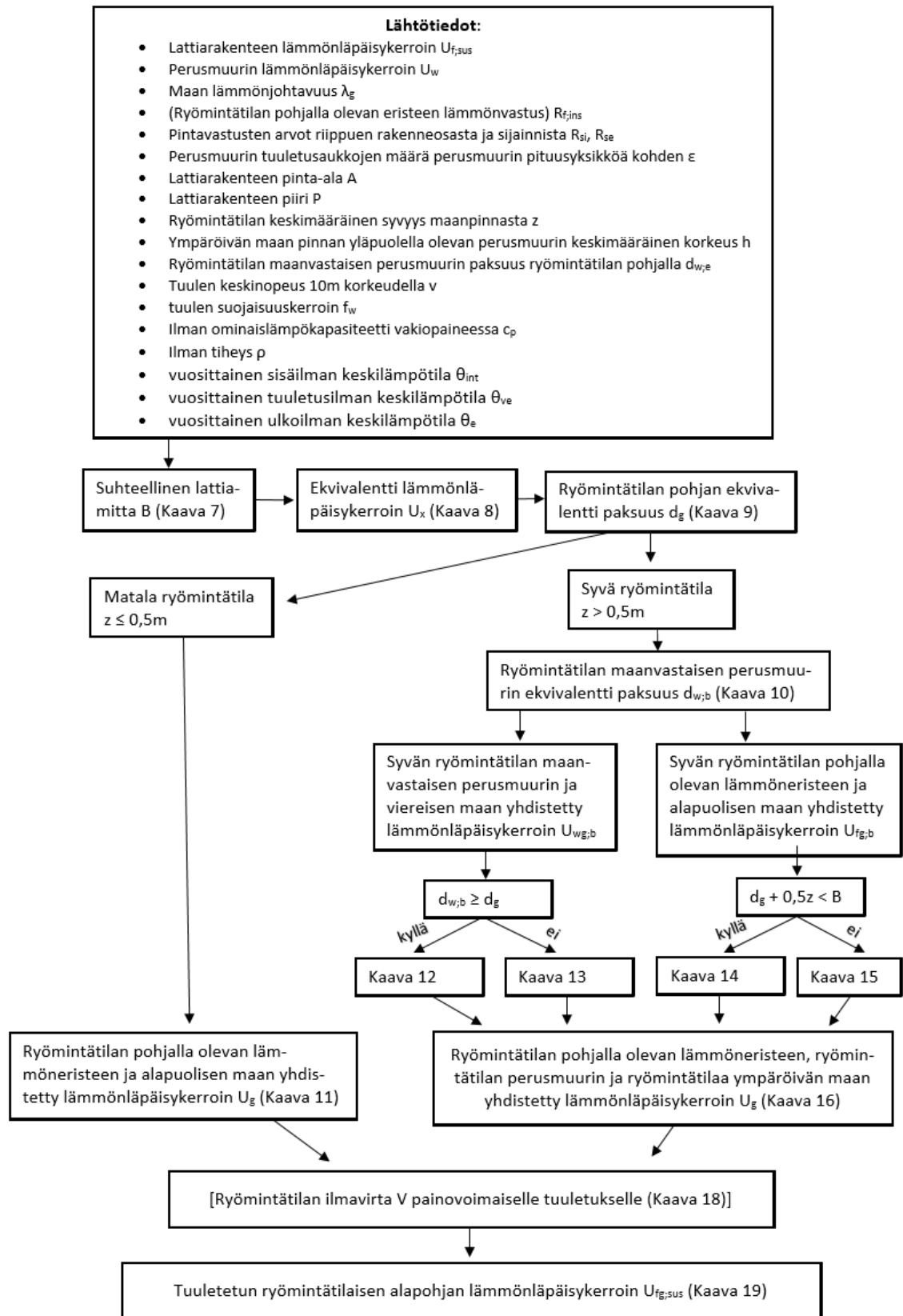
Lattiarakenteen alapinnan pintavastuksen arvona voidaan käyttää lattiarakenteen sisäpuolen pintavastuksen arvoa (C4 Suomen rakentamismääräyskoelma luonnos 2012, 33).

## 9.2 Koneellisesti tuulettuva alapohja

Tuuletetun alapohjan ilmanvaihtuvuuden ollessa määritetty tulee lämmönläpäisykerroin laskea standardin SFS-EN ISO 13370 liitteen G mukaisesti. Laskentatapa on ensisijaisesti koneellisesti tuuletuille alapohjille, mutta voidaan käyttää myös painovoimaisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskentaan.

Kuvassa 15 on esitetty koneellisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskennan kulku.

## Koneellisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykertoimen $U_{fg,sus}$ laskenta



Kuva 15. Koneellisesti tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskenta

## Ryömintätilan ilmavirta

Ilmavirta  $V$  luonnollisesti tuulettulle ryömintätilalle lasketaan kaavalla 18 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 50).

$$V = 0,59 \times \varepsilon \times v \times f_w \times P \quad (18)$$

$V$	ryömintätilan ilmavirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$\varepsilon$	perusmuurissa olevien tuuletusaukkojen pinta-ala perusmuurin pituusyksikköä kohden [ $\text{m}^2/\text{m}$ ]
$v$	tuulen keskinopeus 10 m korkeudella [ $\text{m}/\text{s}$ ]
$f_w$	tuulen suojaisuuskerroin [-]
$P$	rakennuksen piiri [ $\text{m}$ ]

Jos tuulen keskinopeutta ( $v$ ) ei ole tiedossa, voidaan käyttää arvoa 3 m/s. Tuulen suojaisuuskertoimen arvo valitaan taulukosta 8. (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma luonnos 2012, 36.)

## Koneellisesti tuulettuvan alapohjan lämmönläpäisykerroin

Koneellisesti tuulettun ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin  $U_{fg;sus}$  lasketaan kaavalla 19 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 50).

$$U_{fg;sus} = U_{f;sus} \times \left( \frac{A \times U_g + h \times P \times U_w + V \times c_p \times \rho \times (\theta_{int} - \theta_{ve}) / (\theta_{int} - \theta_e)}{A \times U_{f;sus} + A \times U_g + h \times P \times U_w + V \times c_p \times \rho} \right) \quad (19)$$

$U_{fg;sus}$	tuulettun ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]
$U_{f;sus}$	lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin (sisätilan ja ryömintätilan välinen), joka lasketaan luvussa 8 esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]
$A$	ryömintätilan lattiarakenteen pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$U_g$	ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan sekä syvässä ryömintätilassa myös ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin yhdistetty lämmönläpäisykerroin kohdan luvun 9.1 mukaisesti laskettuna [ $W/(m^2K)$ ]
$h$	ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin keskimääräinen korkeus [m]
$P$	rakennuksen piiri [m]
$U_w$	ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin lämmönläpäisykerroin, joka lasketaan luvussa 8 esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti [ $W/m^2K$ ]
$V$	ryömintätilan ilmavirta [ $m^3$ ]
$c_p$	ilman ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa [ $J/kgK$ ]
$\rho$	ilman tiheys [ $kg/m^3$ ]
$\theta_{int}$	vuosittainen sisäilman keskilämpötila [ $^{\circ}C$ ]
$\theta_{ve}$	vuosittainen tuuletusilman keskilämpötila [ $^{\circ}C$ ]
$\theta_e$	vuosittainen ulkoilman keskilämpötila [ $^{\circ}C$ ]

### Ryömintätilan keskimääräinen lämpötila

Ryömintätilan ilmavirran ollessa tiedossa voidaan myös laskea ryömintätilan vuosittainen keskilämpötila kaavalla 20 (SFS-EN ISO 13370: 2017, 49).

$$\theta_{us} = \frac{A \times U_{f;sus} \times \theta_{int} + V \times c_p \times \rho \times \theta_{ve} + (A \times U_g + h \times P \times U_w) \times \theta_e}{A \times U_{f;sus} + V \times c_p \times \rho + A \times U_g + h \times P \times U_w} \quad (20)$$

$\theta_{us}$	vuosittainen ryömintätilan keskilämpötila [ $^{\circ}C$ ]
$\theta_{int}$	vuosittainen sisäilman keskilämpötila [ $^{\circ}C$ ]
$\theta_{ve}$	vuosittainen tuuletusilman keskilämpötila [ $^{\circ}C$ ]



$\theta_e$	vuosittainen ulkoilman keskilämpötila [°C]
$U_{f,sus}$	lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin (sisätilan ja ryömintätilan välinen), joka lasketaan luvussa 8 esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti [W/(m <sup>2</sup> K)]
$U_g$	ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan yhdistetty lämmönläpäisykerroin [W/(m <sup>2</sup> K)]
$U_w$	ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin lämmönläpäisykerroin, joka lasketaan luvussa 8 esitetyn laskentamenetelmän mukaisesti [W/m <sup>2</sup> K]
$V$	ryömintätilan ilmavirta [m <sup>3</sup> /s]
$h$	ryömintätilan keskimääräinen korkeus maanpinnasta [m]
$A$	ryömintätilan lattiarakenteen pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
$P$	rakennuksen piiri [m]
$c_p$	ilman ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa [J/kgK]
$\rho$	ilman tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]

## 10 Diffuusiotarkastelu vesihöyryn osapaineella

Ilman vesihöyrypitoisuutta voidaan kuvata vesihöyrypitoisuutena tai vesihöyryn osapaineena diffuusiotarkasteluissa (Rafnet 2020b, 29). Fickin lakiin perustuen vesihöyryn diffuusiovirtaus  $g$  ainekerroksen läpi voidaan esittää käyttäen pitoisuutena vesihöyrypitoisuutta kaavalla 21 (Rafnet 2020b, 30).

$$g = -\delta_v \frac{dv}{dx} \quad (21)$$

$g$	diffuusiovirtaus [kg/(m <sup>2</sup> s)]
$\delta_v$	materiaalin vesihöyrynläpäisevyys vesihöyrypitoisuuseron suhteen [m <sup>2</sup> /s]

dv vesihöyryn pitoisuusero matkalla dx [g/m<sup>3</sup>]

dx tarkasteltava matka [m]

Joka voidaan muuttaa muotoon (22), kun vesihöyrypitoisuudet kerroksen eri puolilla ovat  $v_1$  ja  $v_2$ , sekä  $v_1 > v_2$  (Rafnet 2020b, 30).

$$g = \delta_v \frac{v_1 - v_2}{d} \quad (22)$$

$v_1 \dots v_2$  vesihöyrypitoisuudet materiaalikerroksen eri puolilla [kg/m<sup>3</sup>]

Diffuusiovirtaus voidaan esittää myös vesihöyryn osapaineen avulla kaavalla 23 (Rafnet 2020b, 30).

$$g = \delta_p \frac{p_{v1} - p_{v2}}{d} \quad (23)$$

g diffuusiovirtaus [kg/(m<sup>2</sup>s)]

$\delta_p$  materiaalin vesihöyrynläpäisevyys vesihöyryn osapaineen suhteen [kg/(msPa)]

$p_{v1} \dots p_{v2}$  vesihöyryn osapaineet kerroksen eri puolilla [Pa]

d tarkasteltava matka [m]

Rakennekerroksen paksuuden ja vesihöyrynläpäisevyyden perusteella voidaan laskea rakennekerroksen vesihöyrynvastus kaavalla 24 (Rafnet 2020b, 30).

$$Z = \frac{d}{\delta} \quad (24)$$

Z rakennekerroksen vesihöyrynvastus

d rakennekerroksen paksuus

$\delta$  rakennekerroksen vesihöyrynläpäisevyys

Vesihöyryn osapaineella laskettuna kaava 24 muuttuu muotoon (25) (Rafnet 2020b, 30):

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p} \quad (25)$$

$Z_p$	rakennekerroksen vesihöyrynvastus [ $\text{m}^2\text{sPa/kg}$ ]
$d$	rakennekerroksen paksuus [m]
$\delta_p$	rakennekerroksen vesihöyrynläpäisevyys [ $\text{kg}/(\text{msPa})$ ]

Tämän jälkeen voidaan laskea diffuusiovirtaus  $g$  osapaine-eroilla kaavalla 26. Kaavassa on oletus, että kosteus ei tiivisty rakenteeseen (Rafnet 2020b, 31).

$$g = \frac{p_{vs} - p_{vu}}{\Sigma Z_p} \quad (26)$$

$g$	diffuusiovirtaus [ $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ ]
$p_{vs}$	vesihöyryn osapaine sisäilmassa [Pa]
$p_{vu}$	vesihöyryn osapaine ulkoilmassa [Pa]
$\Sigma Z_p$	koko rakenteen vesihöyrynvastus [ $\text{m}^2\text{sPa/kg}$ ]

Diffuusiolaskelmilla voidaan myös arvioida kosteuden tiivistymisen riskiä rakenteisiin. Laskentaa varten tarvitaan lämpötilat sekä suhteellisen kosteuden arvot eri puolilla rakennetta. Näiden reunaehtojen avulla ratkaistaan rakenteen lämpötilajakaumakerrosten lämmönvastusten perusteella kaavalla 27. (Rafnet 2020b, 31.)

$$t_x = t_s - \frac{\Sigma R_x}{R_T} (t_s - t_u) \quad (27)$$

$t_x$	lämpötila kohdassa $x$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_s$	sisäilman lämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_u$	ulkoilman lämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\Sigma R_x$	lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan $x$ [ $\text{m}^2\text{C/W}$ ]
$R_T$	koko rakenteen lämmönvastus [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

Tämän jälkeen lasketaan vesihöyryn kyllästysosapaine halutussa lämpötilassa kaavalla 28 (Björkholtz 1997, 44).

$$p_{vk} = 101,325 \times 10^3 \times e^{(70,4347 - \frac{7362,7}{T} + 6,95208 \times 10^3 \times T - 9 \times \ln T)} \quad (28)$$

T lämpötila kelvinasteina [K]

Vesihöyryn osapaine halutussa rakenteen kohdassa voidaan arvioida kaavan 29 avulla (Rafnet 2020b, 31).

$$p_{vx} = p_{vs} - \frac{\sum Z_{px}}{\sum Z_p} (p_{vs} - p_{vu}) \quad (29)$$

$p_{vx}$  vesihöyryn osapaine kohdassa x [Pa]

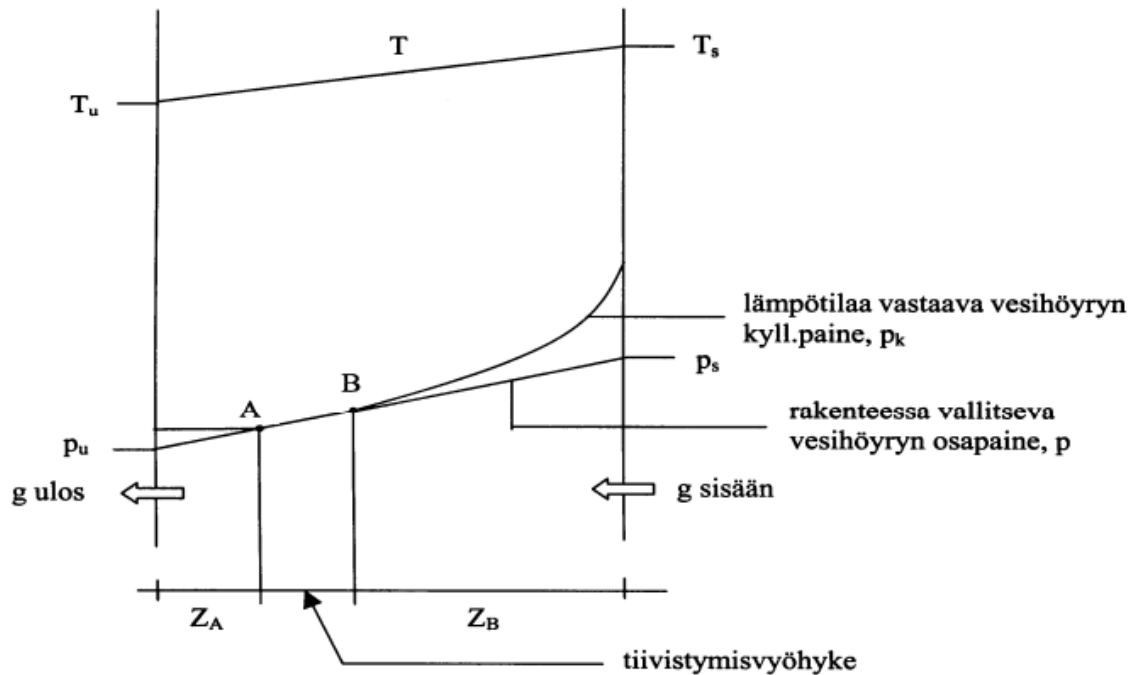
$p_{vs}$  vesihöyryn osapaine sisäilmassa [Pa]

$p_{vu}$  vesihöyryn osapaine ulkoilmassa [Pa]

$\sum Z_{px}$  sisäpinnasta kohtaan x olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa [ $m^2sPa/kg$ ]

$\sum Z_p$  koko rakenteen vesihöyrynvastus [ $m^2sPa/kg$ ]

Kun rakenteen kyllästysosapainejakauma lämpötilojen perusteella ja rakenteen vesihöyryn osapainejakauma kerrosten vesihöyrynvastuksen avulla on laskettu, tarkastetaan pyrkiikö vesihöyryn osapaine ylittämään kyllästysosapainetta jossakin rakenteen kohdassa kuvan 16 mukaisesti. (Rafnet 2020b, 31-32.)



Kuva 16. Rakenteessa vallitsevan vesihöyryn osapaineen vertailu kyllästysosapaineeseen (Rafnet 2020b)

Mikä rakenteessa vallitseva vesihöyryn osapaine ylittää lämpötilaa vastaavan vesihöyryn kyllästyspaineen, on rakenteessa kosteuden tiivistymisen riski.

## 11 WUFI Pro 5.3 tarkastelu

### 11.1 WUFI Pro 5.3

WUFI Pro 5.3 on tarkoitettu rakennuksen vaipan lämpö- ja kosteustekniseen tarkasteluun epästationäärisissä olosuhteissa. Ohjelmalla voidaan tutkia sisäisen kondenssin riskiä erityyppisissä rakenteissa, rakenteiden kosteuspitaisuuksia pitkällä aikavälillä, rakenteeseen joutuneen kosteuden tai alkukosteuden kuivumisaikoja ja viistosateen merkitystä rakennekomponentteihin.

WUFI ottaa lämmönsiirron laskennassa huomioon johtumisen, lyhytaaltoisen auringonsäteilyn, yöaikaisen pitkäaaltoisen säteilyjäähdyttymisen, sekä kosteuden faasimuutosten aiheuttaman lämmön sitoutumisen ja siirtymisen kosteuden mukana. Lämmön siirtymistä konvektiolla WUFI ei ota huomioon.

Kosteudensiirrossa WUFI huomioi veden kapillaarin siirtymisen, sekä vesihöyryn ja liuoksen diffuusion. Kosteudensiirrossa ei huomioida ilmavirtauksia, gravitaatiota, veden paine-eroja tai elektrokineettisiä ja osmoottisia vaikutuksia.

WUFI:sta voidaan määrittää suoraan paikkakunnan mukaiset reunaehdot lämpötilalle, suhteelliselle kosteudelle, viistosateelle ja säteilylle. Reunaehdot on määritetty jokaiselle ajanhetkelle meteorologisten tietojen pohjalta. Laskennassa voidaan kuitenkin käyttää myös säätiedostoja. (Harrila, 4.)

### **11.2 Laskennan reunaehdot ja tavoite**

Laskennan tavoitteena on tarkastella kosteusteknisesti kahta erilaista betonista tuulettuvaa alapohjarakennetta. Kosteuden kondensoitumista tarkastellaan erityisesti rakenteen alapinnassa, jonne oletettavasti ryömintätilan kosteus kerääntyy. Tästä syystä WUFI:n laskentamallissa laitetaan ylimääräinen monitorointipiste rakenteen alapintaan. Kriittisemmän rakenteen alapinnan monitorointipisteen suhteellisen kosteuden tiedot tunneittain kolmen vuoden ajalta on tarkoitus viedä suomalaisen homemallin laskentapohjaan, jotta voidaan arvioida homeen kasvun mahdollisuutta rakenteessa.

### **11.3 Tutkittavat rakenteet**

Tutkittaviksi rakenteiksi valittiin kaksi erilaista betonista tuulettuvaa alapohjarakennetyyppiä AP1 ja AP2. Rakennetyypit on esitetty liitteissä 1 ja 2. Molemmissa rakenteissa kantava rakenteena on ontelolaatta. Merkittävin yksittäinen muuttuja rakenteissa on eristekerroksen sijainti. AP1-rakennetyypissä eristekerros sijaitsee nykysuositusten mukaisesti ontelolaatan alapinnassa ja AP2-rakennetyypissä ontelolaatan päällä.

Rakenteet eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eivät ole samoja ja AP2 rakenteessa on niin sanottu kelluva laatta-rakenne, jonka eristekerrokseksi valittiin xps-eriste. AP1 rakenteessa eristekerroksena on EPS.

### **11.4 Laskennan lähtötiedot**

Laskentaa varten materiaaleista määritettiin seuraavat ominaisuudet:

- tiheys [kg/m<sup>3</sup>]
- huokoisuus [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]
- ominaislämpökapasiteetti [J/(kgK)]
- kuivan materiaalin lämmönjohtavuus [W/mK]
- kuivan materiaalin diffuusiovastuskerroin [-]

Materiaaliominaisuuksia etsittiin TTY:n julkaisusta: Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Lisäksi käytettiin WUFI:n omaa rakennekirjastoa sekä Sitowise Oy:n tekemiä rakenteita. Liitteissä 1 ja 2 on esitetty laskennassa käytetyt materiaaliominaisuuksien arvot, sekä lähteet mistä arvot on saatu.

Monitorointipisteitä rakenteisiin laitettiin kaksi rakenteen ulkopintaan, yksi jokaiseen materiaalien väliseen rajapintaan sekä yksi monitorointipiste sisäpintaan.

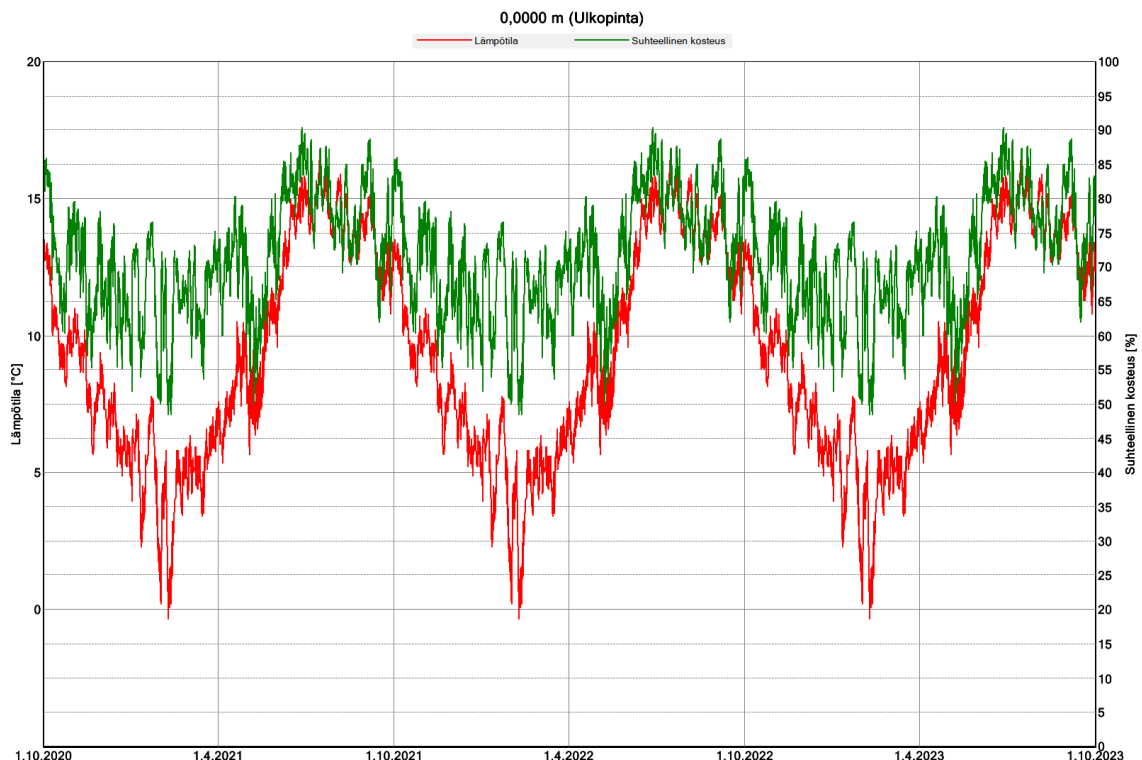
Sadekuorma kertoimiksi määritettiin molempiin 0, lyhytaaltainen absorptiokerroin, sekä sateen absorptiokerroin jätettiin määrittämättä. Ryömintätilan sisä- ja ulkopinnan lämmönvastukset määritettiin Rakentamismääräyskokoelma C4 luonnoksen mukaan. Alkutilanteen suhteelliseksi kosteudeksi valittiin 65 %, laskennan kokonaiskestoksi kolme vuotta ja aika-askeleet tunnin välein mukaillen Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusta, jossa tarkasteltiin vakiotehoisen kuivanapitolämmityksen vaikutusta hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan (Piironen & Vinha 2010, 49). Komponentin alkulämpötilaksi valittiin 20 °C.

Ryömintätilan olosuhteina simuloinnissa käytettiin säätiedostoa, joka perustuu huonosti tuulettuvan puurakenteisen alapohjan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoihin, jotka ovat mitattu todellisessa kohteessa vuoden ajalta (Mäkelä 2016, 31). Tämän tiedoston käyttämiseen ryömintätilan olosuhteina päädyttiin muutamasta syystä. Yleisesti rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa tulisi käyttää rakenteen kannalta kriittisiä ilmasto-olosuhteita. Suomen nykyisessä ja tulevassa ilmastossa kosteusteknisesti mitoittavat rakennusfysikaaliset testivuodet on määritetty FRAME-projektissa (Tampereen yliopisto). Rakennusfysikaalisten testivuosien dataa voidaan käyttää kuitenkin vain ulkoilman olosuhteina, joten se ei sovellu ryömintätilan olosuhteiksi. Myös ulkoilman olosuhteiden muuttaminen

ryömintätilan olosuhteiksi on hyvin hankalaa, koska pitäisi tietää tuuletuksen il-mavirtaukset sekä maapohjan lämpö ja kosteusolosuhteet. Lisäksi ulkoilman huomioon ottaminen WUFI Pro-ohjelmalla simuloidessa olisi ollut mahdotonta. Huonosti tuuletuttuvan alapohjan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoja käyttämällä simuloinnissa ovat tulokset mielestäni varmallalla puolella suunnitelta-essa nykymääräykset täyttävää uudiskohdetta. Lisävarmuus laskennassa on hy-väksi myös, koska varmuuskertoimia ei rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa ole. Ryömintätilan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat on esitetty liitteessä 3. Sisäilman kosteuslisä määritettiin RIL 107-2012 kosteusluokan 2 mukaan ja sisäilman lämpötilaksi valittiin 21 °C.

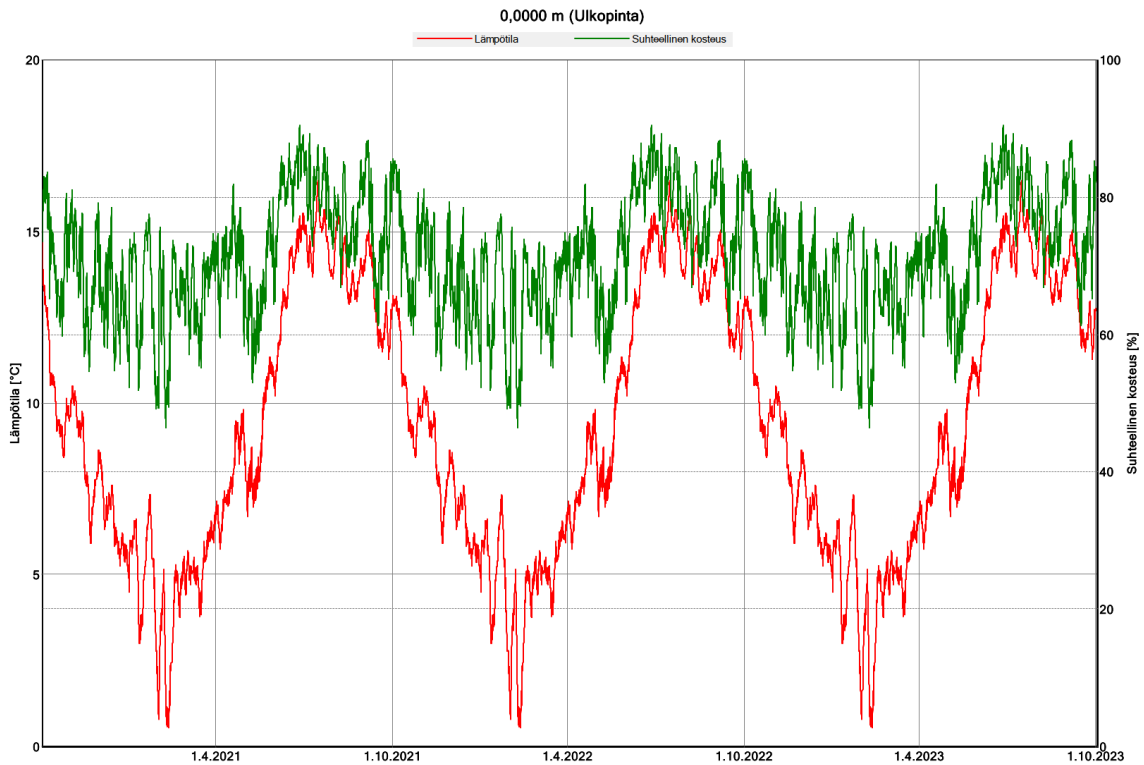
### 11.5 Laskentatulosten vertailu

Laskennan tarkoituksena oli tarkastella etenkin rakenteen ulkopinnan ominai-suuksia. Tarkastelupisteiksi valittiin molemmista rakenteista ulkopinnan tarkaste-lupisteet. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty molempien rakenteiden ulkopinnan tarkas-telupisteiden suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuvaajat.



Kuva 17. AP1: Suhteellinen kosteus ja lämpötila rakenteen ulkopinnassa



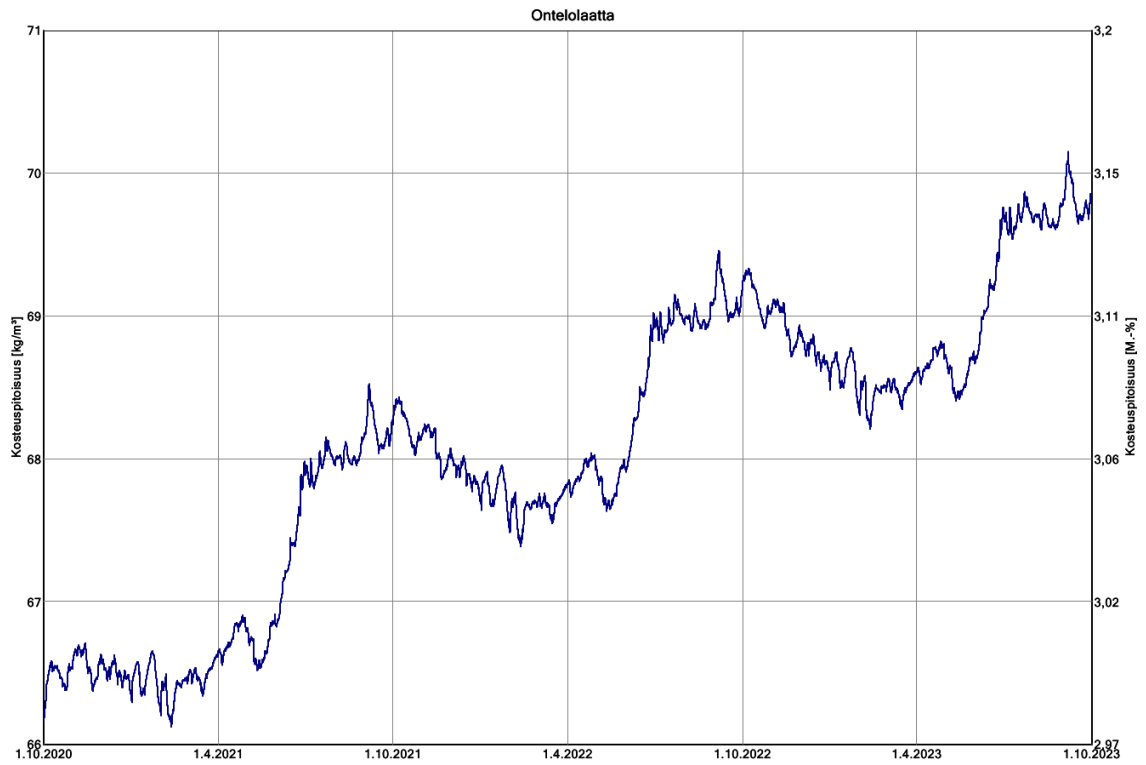


Kuva 18. AP2: Suhteellinen kosteus ja lämpötila rakenteen ulkopinnassa

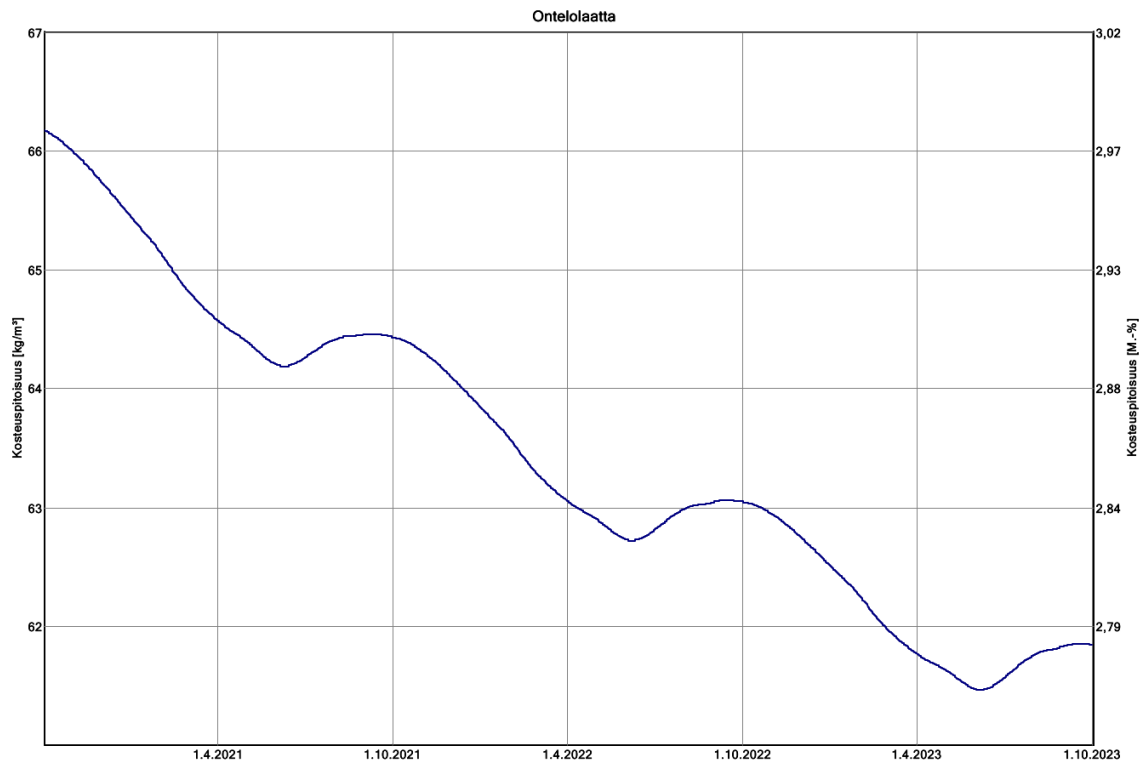
Laskentatuloksista voidaan havaita, että molemmissa rakenteissa havaitaan ke-sääaikaan yli 80 % suhteellisen kosteuden arvoja, mutta kastepistettä ei saavuteta kummassakaan rakenteessa. Simuloinnissa on kuitenkin epävarmuustekijöitä, kuten esimerkiksi ryömintätilan olosuhteet eivät välttämättä vastaa todellista ti-lannetta. AP1-rakenteen ulkopinnassa lämpötila näyttäisi talviaikaan menevän ajoittain alle 0 °C, vaikka olettavasti tavanomaisissa ryömintätiloissa lämpötila ei tämän alle laske (RIL 255-1-2014, 158). Lisäksi vastoin oletusta AP1-raken-teessa lämpötila laskee alhaisemmaksi kuin AP2-rakenteessa, vaikka AP1-ra-kenteen lämmönläpäisykerroin on pienempi.

Nämä havainnot kyseenalaistavat laskentatulosten luotettavuuden, vaikkakin mielestäni suhteellisen kosteuden arvoja voidaan pitää rakenteen kosteustekni-sen toiminnan kannalta todellista tilannetta kriittisempinä. Tuloksissa merkittävää oli myös kosteuden kertyminen ontelolaattaan AP2-rakenteessa laskennassa al-kuhetkestä loppuun asti (Kuva 18). AP1-rakenteessa sen sijaan kosteuspitöisuus laskee koko tarkastelujakson ajan (Kuva 19). Oletettavasti tämä johtuu AP2-ra-

kenteessa ontelolaatan päällä olevan XPS-eristeen korkeasta diffuusionvastuskerroimesta, joka on 150. Laskentatuloksista voidaan tehdä oletus, että riskiä rakenteen ulkopinnassa kosteuden kertymiselle ei ole.



Kuva 19. AP2: OL32 kerroksen kosteuspiitoisuus



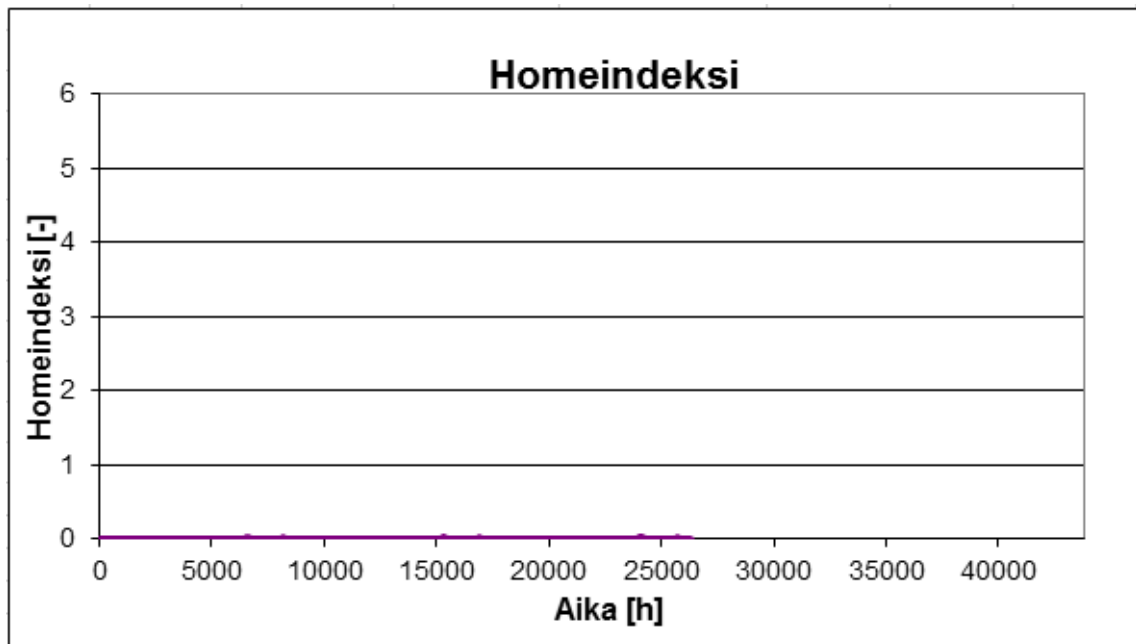
Kuva 20. AP1: OL37 kerroksen kosteuspitoisuus

## 11.6 Homeutumisherkkyden arviointi

Rakenteiden ulkopinnassa mitattujen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvojen perusteella kummassakaan rakenteessa ei havaita homeutumisen riskiä. Tämä johtuu siitä, että rakenteiden ulkopinnan materiaalit ovat homeutumisherkkyysluokassa 3, joten vaadittaisiin pidempiaikaisia jaksoja yli 85 % suhteellista kosteutta (RIL 255-1-2014, 61).

Varmistuksena AP1 ulkopinnan monitorointipisteen lämpötilan ja sekä suhteellisen kosteuden arvot kolmen vuoden ajalta tunnin välein simuloituna vietiin suomalaisen homemallin laskentapohjaan. Homeen kasvunopeuden, sekä maksimimäärän herkkyysluokaksi valittiin 3 ja taantumaluokaksi 0,1. Kyseiset arvot laskentapohjassa määräytyivät EPS-kerroksen mukaisesti, jonka ulkopinnassa homeutumisherkkyttä tarkasteltiin.

Laskentapohjan tulosten perusteella homeen kasvua ei pääse pinnalla tapahtumaan lähes ollenkaan (Kuva 20). Homeindeksi arvo tarkasteluajavälillä jää arvoon 0,004. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että rakenteen ulkopinnassa homeutumiseriskiä ei ole.



Kuva 21. Homeindeksi AP1 rakenteen ulkopinnassa

## 12 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli helpottaa ja selkeyttää tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteusteknistä suunnittelua, tarkastella kosteuden kertymistä ja homeen kasvun mahdollisuutta tuulettuvassa alapohjarakenteessa sekä arvioida WUFI Pro 5.3 -ohjelman käytännöllisyyttä suunnittelussa. Työn toimeksiantaja oli Sitowise Oy.

Opinnäytetyöhön kerättiin tämänhetkisen tiedon pohjalta käytännön ohjeita ja määräyksiä tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun, jonka jälkeen keskityttiin lämpö- ja kosteusteknisiin laskentatarkasteluihin. Kosteuden kertymisen tarkastelua varten mallinnettiin WUFI Pro 5.3 -ohjelmalla kaksi eri ryömintätalallista alapohjatyyppeä ja kriittisemmän alapohjarakenteen ulkopinnan kosteusolosuhteita arvioitiin TTY:n ja VTT:n suomalaisen homemallin avulla.

Työn tuloksena laadittiin ryömintätilan lämmönläpäisykertoimen laskentaan sekä diffuusion tarkasteluun laskentapohjat, joita voidaan myöhemmin hyödyntää tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteusteknisessä suunnittelussa. Laskentapohjat jäävät tilaajayrityksen käyttöön, eikä niitä tässä opinnäytetyössä julkaista.

Lämpö- ja kosteusteknisessä simuloinnissa haasteita tuli muutamastakin syystä. Suurimpana haasteena ryömintätilaisen alapohjan mallintamisessa on tuuletukseen määrittäminen. Tuuletukseen vaikuttaa suuresti tuuletusaukkojen sijainti ja koko sekä rakennuksen geometria. WUFI Pro 5.3 -ohjelmalla ei pystytty tuulettusta ryömintätilaan määrittämään. Tämän vuoksi käytettiin säätiedostoa, jonka olosuhteet olivat saatu huonosti tuulettuvan puurakenteisen alapohjan mittausdatasta. Ryömintätilan olosuhteet ovat simuloinnissa todennäköisesti todellista tilannetta kriittisemmät. Vaikka todellista tilannetta kriittisemmillä olosuhteilla saadaan lisävarmuutta lämpö- ja kosteustekniseen toimivuuteen, ei kuitenkaan laskentamallilla pystytty määrittelemään tuulettuvan alapohjan riskikohtia rakennuksessa, joita voisivat olla esimerkiksi väliseinäsokkeleiden aiheuttamien tuuletuskatveet tai kylmäsilat. Lisäksi mallintamalla tuuletus voitaisiin paremmin arvioida maasta nousevan kosteuden vaikutus alapohjan lämpö- ja kosteustekniseen toimivuuteen sekä maapohjan eristyksen vaikutuksen kosteusoloihin. Jatkossa tuulettuvia alapohjia voisi mielestäni tutkia ohjelmalla, jolla pystyy mallintamaan ilmavirtauksia, esimerkiksi COMSOL multiphysics -simulointiohjelmistolla.

Maapohjasta haihtuva kosteuden määrä muodostui haasteelliseksi määrittää, jos pohjatutkimustietoa rakennuspohjasta ei ole. Maapohjasta haihtuvaa kosteutta käsiteltiin opinnäytetyössä tämän vuoksi vain pintapuolisesti ja asiaan tulisi perehtyä tarkemmin, jotta suunnittelija pystyisi esimerkiksi korjauskohteissa tekemään arvion maapohjasta nousevan kosteuden määrästä.

Alapohjan rakennetyyppien lämpö- ja kosteussimuloinnissa keskityttiin erityisesti alapohjan alapinnan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arviointiin. WUFI Pro 5.3 -ohjelmassa oli hyvää sen käyttämisen yksinkertaisuus ja itse laskennan nopeus, joka oli muutamia minuutteja verrattuna FEM -laskentaohjelmien huomattavasti pidempiin laskenta-aikoihin. Lisäksi ohjelmasta pystyi taulukoimaan laskentadataa vaivattomasti jatkokäsittelyä varten. Kuitenkin aiemmin mainituista syistä johtuen laskennassa käytettävät ulkopuolen olosuhteet eivät välttämättä vastaa todellisuutta ja WUFI:n käyttöä tulee harkita kohteesta riippuen. Muun lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun rinnalla WUFI Pro 5.3 on kuitenkin kätevä työkalu yksinkertaisten lämpö- ja kosteusolojen simulointiin, vaikkakin se soveltuisi paremmin tuulettumattomien rakenteiden tarkasteluun. Uskon, että tuloksia

voidaan hyödyntää tuulettuvien alapohjien suunnittelussa ottaen huomioon kuitenkin simulointivirheiden mahdollisuuden ja suhtautumalla tuloksiin varauksella.

Opinnäytetyötä varten tehtyä lämpö- ja kosteussimulointia pidän hyvänä arviona rakenteen lämpö- ja kosteusteknisestä toimivuudesta ja voidaan olettaa, että betoninen tuulettuva alapohja nykyisten määräysten ja suositusten mukaisesti toteutettuna on lämpö- ja kosteusteknisesti toimiva rakenneratkaisu.

Vaikka tarkastelupisteessä homeindeksi ei noussut korkeaksi mietin kuitenkin mahdollisuutta, että orgaanisen aineen jäädessä ryömintätilan pohjalle on mikro-bien kasvu mahdollista, jolloin liitosten tiiveys on tärkeässä roolissa. Jatkossa voisi myös tarkastella mitä tapahtuisi, jos ryömintätilan koneellinen ilmanvaihto lakkaa toimimasta.

Opinnäytetyötä tehdessä kertyi paljon tietoa rakennusfysikaalisista ilmiöistä ja suunnittelussa huomioon otettavista asioista. Uskon että rakennusfysikaalisesta tietotaidosta on hyötyä tulevaisuuden hankkeissa. Mielestäni opinnäytetyöni selvittää tuulettuvan alapohjan lämpö- ja kosteusteknistä suunnittelua, sekä rakennuksen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa.

## Lähteet

Björkholtz D. 1997. Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka. Saarijärvi: Rakennustieto Oy.

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys. Luonnos. Ohjeet 2012.

Edilex. 2020. Rakentamismääräykset. <https://www.edilex.fi/rakentamismaaraykset>. Luettu 1.9.2020.

Harrila A. Wufi 3.3 -Pro. Käyttöohje ja esimerkkilaskelmat.

Mäkelä L. 2016. Puurakenteisen ulkoseinä- ja alapohjarakenteen liittymän rakennusfysikaalinen toiminta ja mahdollinen mikrobikasvuston synty. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Piironen J. & Vinha J. 2010. Vakiotehoisen kuivanapitolämmityksen vaikutus hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/vakiotehoisen-kuivanapitolammityksen-vaikutus-hirsimoekien-lampoe-ja-kosteustekniseen-toimintaan\(0d4bbc08-2e62-47bb-915b-de8976110157\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/vakiotehoisen-kuivanapitolammityksen-vaikutus-hirsimoekien-lampoe-ja-kosteustekniseen-toimintaan(0d4bbc08-2e62-47bb-915b-de8976110157).html). Luettu 1.9.2020.

Puuinfo. 2011. Tuuletettu puualapohja. Tekninen tiedote. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/tuuletettu-puualapohja.pdf>. Luettu 3.8.2020.

Rafnet. Lämpö, luonnos. 2020a. Rafnet-ryhmä.

Rafnet. Kosteus, luonnos. 2020b. Rafnet-ryhmä.

Rantala, J. & Leivo, V. 2000. Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/maanvaraisten-alapohjarakenteiden-kosteuskayttaytyminen\(b021e34e-e6c5-47a8-ace3-ac5e6f5fe36d\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/maanvaraisten-alapohjarakenteiden-kosteuskayttaytyminen(b021e34e-e6c5-47a8-ace3-ac5e6f5fe36d).html). Luettu 29.7.2020.

Rantala, J. & Leivo, V. 2002. Maanvastaiset alapohjarakenteet. Kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/maanvastaiset-alapohjarakenteet--kosteustekninen-mitoittaminen-ja-korjaaminen\(d9768b57-eb7b-4f97-8757-6cc406a13eb8\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/maanvastaiset-alapohjarakenteet--kosteustekninen-mitoittaminen-ja-korjaaminen(d9768b57-eb7b-4f97-8757-6cc406a13eb8).html). Luettu 29.7.2020.

RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 250-2020. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Hansaprint Oy.

RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 103123. 2019. Radonin torjunta. RT-ohjekortti. Rakennustieto.

SFS-EN ISO 13370. 2017. Rakennuksen lämpöominaisuudet. Lämpöhäviöt maaperän kautta. Laskentamenetelmät. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.

SFS-EN ISO 6946. 2017. Rakenne- ja rakennusosat. Lämmönvastus ja lämmönläpäisykerroin. Laskentamenetelmät. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.

Tampereen yliopisto. FRAME. <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/frame/> Luettu 20.10.2020.

Tampereen yliopisto. Suomalainen homemalli. <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/> Luettu 4.8.2020.

Vinha, J. Lindberg, R. Pentti, M. Mattila, J. Lahdensivu, J. Heljo, J. Suonketo, J. Leivo, V. Korpi, M. Aho, H. Lähdesmäki, K. Aaltonen, A. 2008. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimusselostus. Tampereen teknillinen yliopisto.

Vinha, J. Laukkarinen, A. Mäkitalo, M. Nurmi, S. Huttunen, P. Pakkanen, T. Kero, P. Manelius, E. Lahdensivu, J. Köliö, A. Lähdesmäki, K. Piironen, J. Kuhno, V. Pirinen, M. Aaltonen, A. Suonketo, J. Jokisalo, J. Teriö, O. Koskenvesa, A. &



Palolahti, T. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti. Tampereen teknillinen yliopisto.

Ympäristöministeriö. 2020. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta.

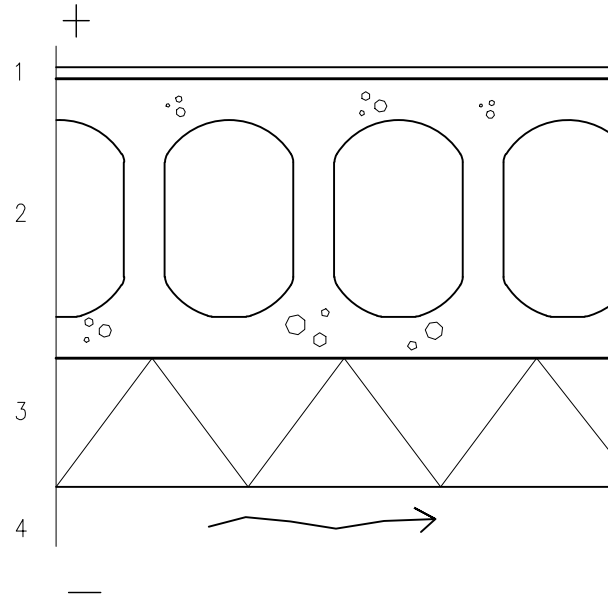
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1010/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010> Luettu 23.7.2020.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 782/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>. Luettu 26.8.2020.

Ympäristöministeriö. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Turenki: Hansaprint Oy.

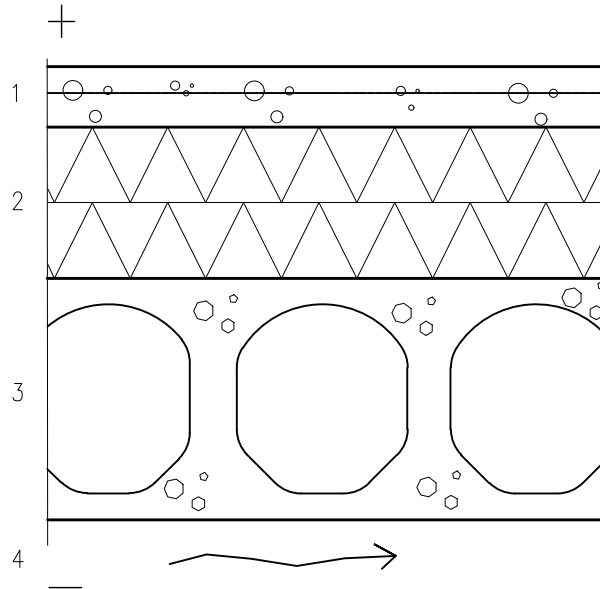
Ympäristöministeriö. Tasauslaskentaopas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen.

Rakennuskohde

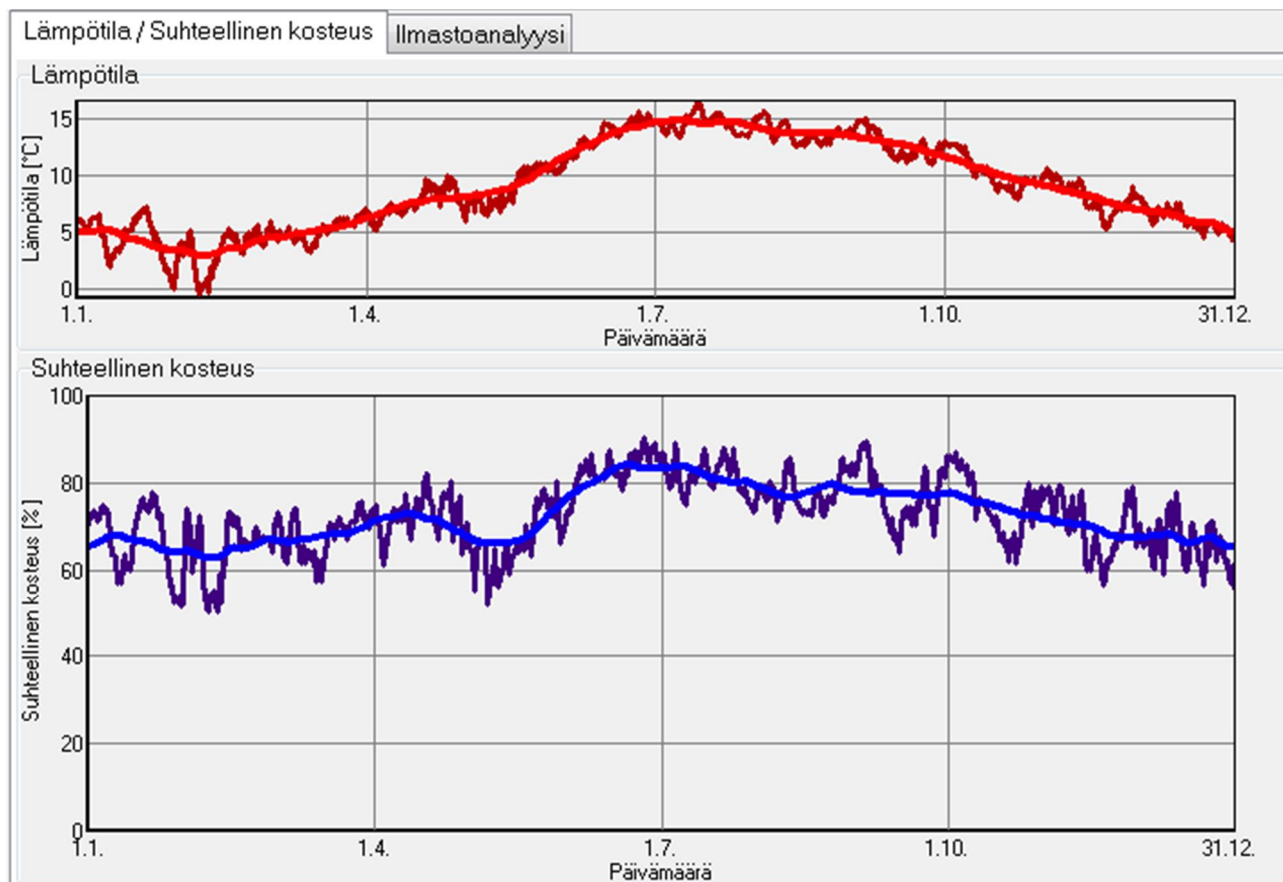
 Sisältö  
 Ontelolaatta-alapohja, tuuletettu  
 Alapuolinen solupolystyreenieriste  
 Tasoite


dimensio [mm]		tuote	tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	huokoisuus [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	ominaislämpökapasiteetti, kuiva [J/kgK]	lämmönjohtavuus, kuiva +10°C [W/mK]	vesihöyryn diffuusionvastus kerroin [-]	lähde
20	1	Tasoite	1890	0,2	850	1,6	58	WUFI:n kirjasto
370	2	Ontelolaatta	2220	0,18	850	1,6	25	Sitowise Oy, RIL255-1-2014
170	3	Solupolystyreeni, kiinnitetty ontelolaattaan	30	0,95	1500	0,036	60	Vinha ym. 2013.
≥ 1200	4	Tuuletettu alustatila						

Rakennuskohde

 Sisältö  
 Ontelolaatta-alapohja, tuuletettu  
 Kelluva pintalaatta


dimensio [mm]	tuote	tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	huokoisuus [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	ominaislämpökapasiteetti, kuiva [J/kgK]	lämmönjohtavuus, kuiva +10°C [W/mK]	vesihöyryn diffuusionvastus kerroin [-]	lähde
80	1 Betoni C35 /45	2300	0,18	850	1,6	130	WUFI:n kirjasto
100+100	2 XPS, puolipontti	60	0,95	1500	0,037	150	Vinha ym. 2013.
320	3 Ontelolaatta	2220	0,18	850	1,6	25	Sitowise Oy, RIL255-1-2014
≥ 1200	4 Tuuletettu alustatila						



## Projektitiedot

Projektin nimi AP1  
Projektin numero

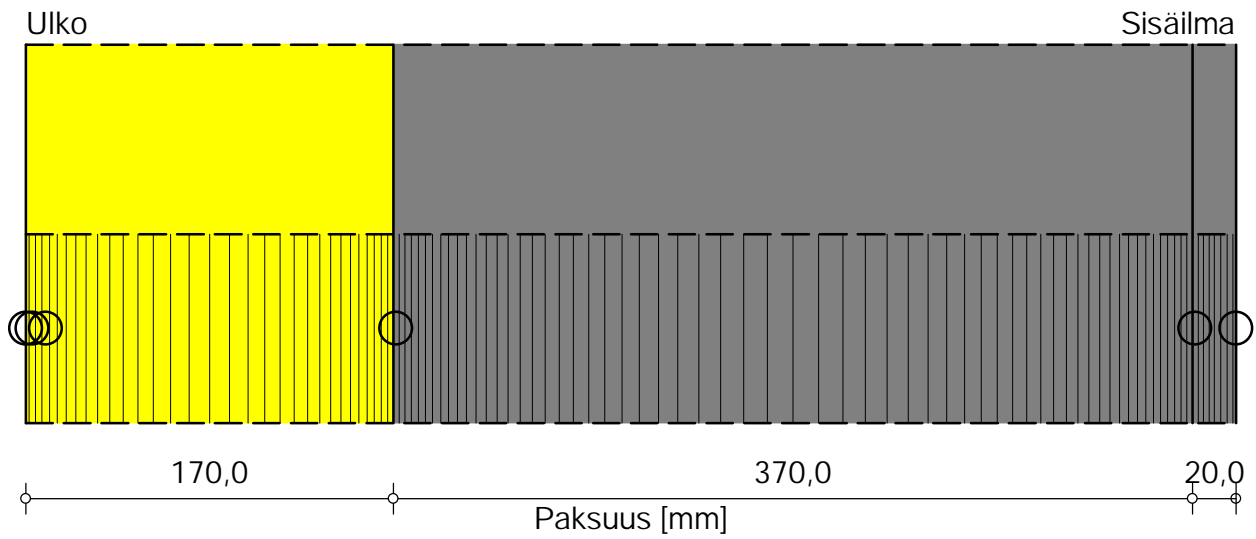
Asiakas  
Yhteyshenkilö Atte Kurko  
Paikka/P.nro.  
Katuosoite

Puhelin  
Fax  
s-posti

Vastuhenkilö  
Huomioita  
Päivämäärä 24.8.2020

## Rakennekomponentit

Tapaus: #1



○ - Monitorointipisteet

## Materiaalit :

- \*EPS (Lämmönj...: 0.036 W/mK - Tiheys: 30 kg/m<sup>3</sup>)

- \*Ontelolaatta



- Betoni tasoite, pintakerros

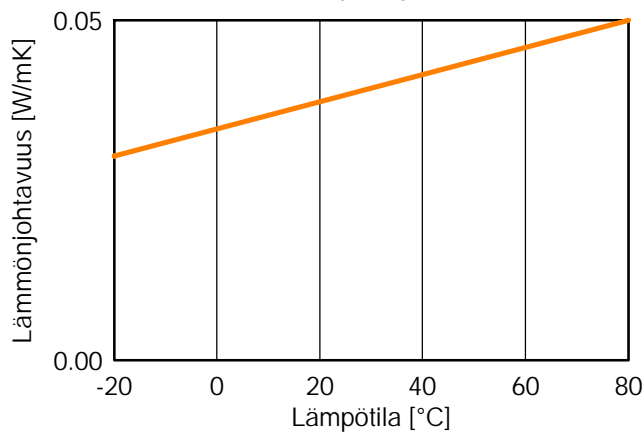
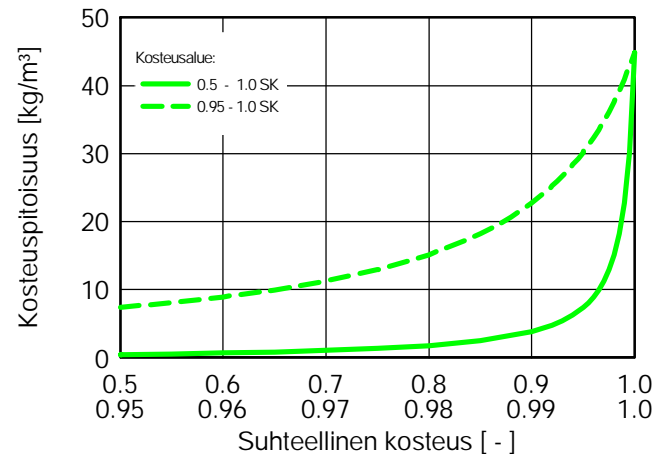
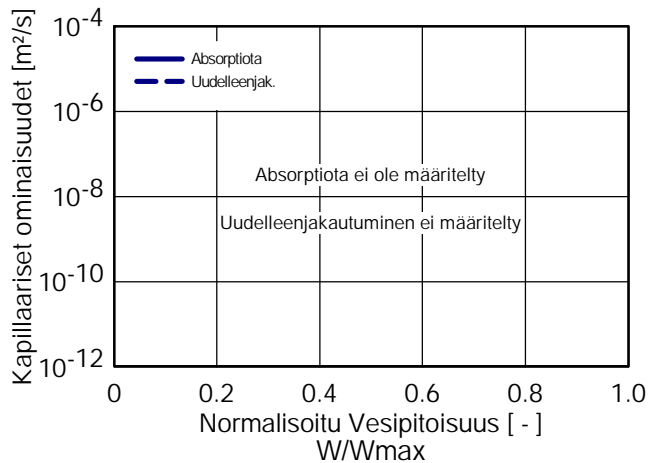
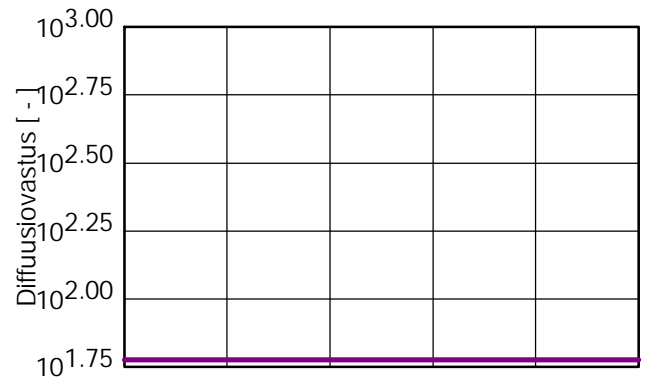
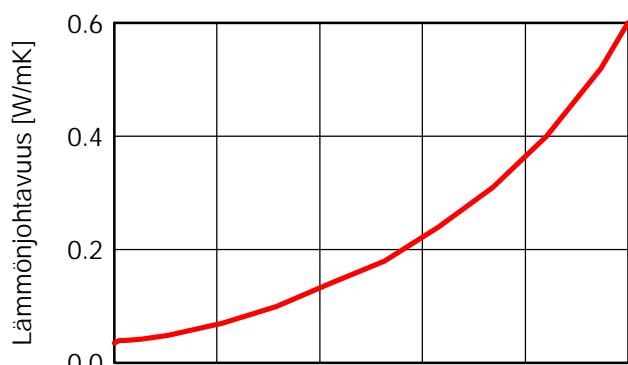
Kokonaispaksuus: 0,56 m

R-arvo: 4,82 m<sup>2</sup>K/WU-arvo: 0,196 W/m<sup>2</sup>K

Materiaali : \*EPS (Lämmönj...: 0.036 W/mK - Tiheys: 30 kg/m<sup>3</sup>)

### Laskentaparametrien yhteenveto

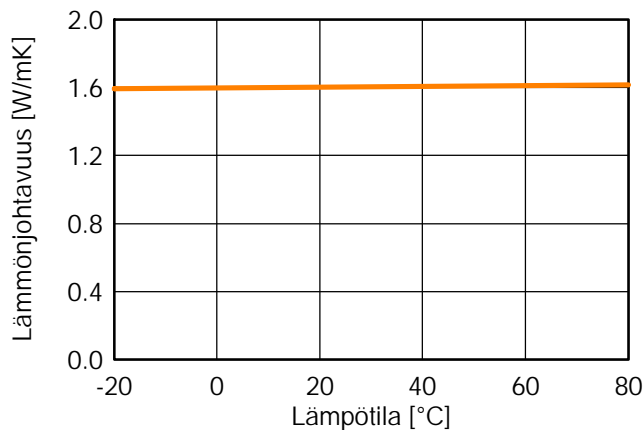
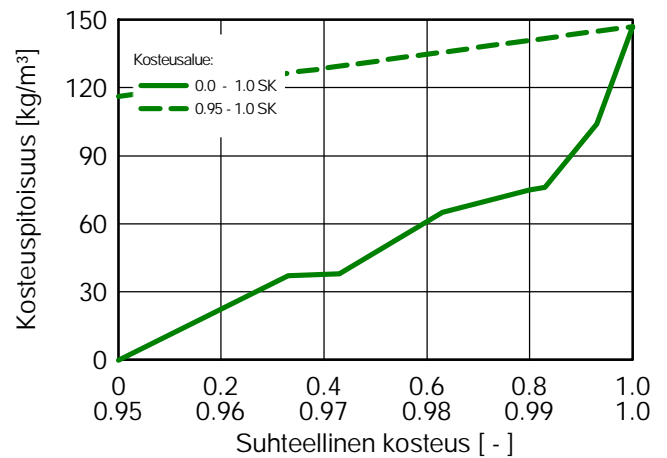
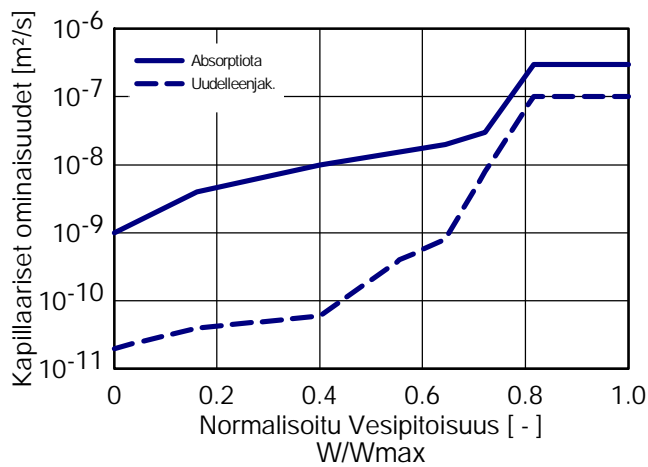
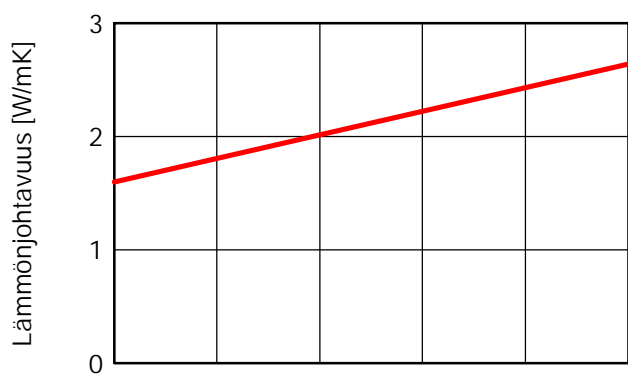
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]	30,0
Huokoisuus	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,95
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	1500,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva ,10°C	[W/mK]	0,036
Vesihöyryn diffuusiovastuserroin	[ - ]	60,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



Materiaali : \*Ontelolaatta

## Laskentaparametrien yhteenveto

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]	2220,0
Huokoisuus	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	850,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva ,10°C	[W/mK]	1,6
Vesihöyryn diffuusiovastuserroin	[ - ]	25,0
Lämmönjohtavuuden kosteusrippuvuus	[%/M.-%]	8,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002

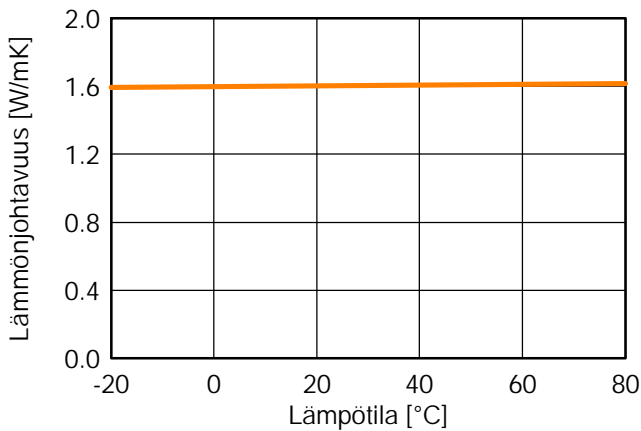
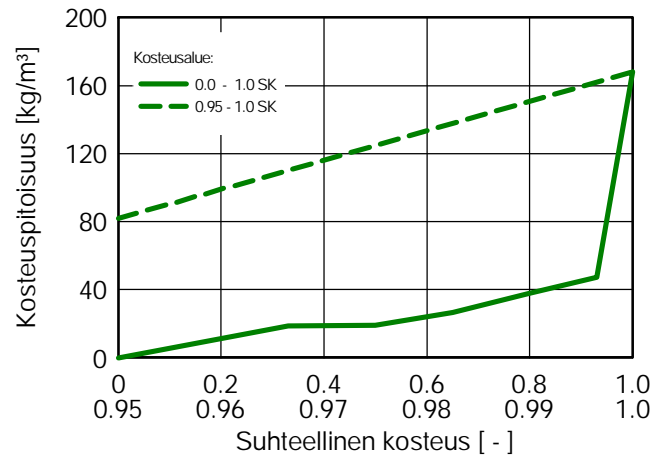
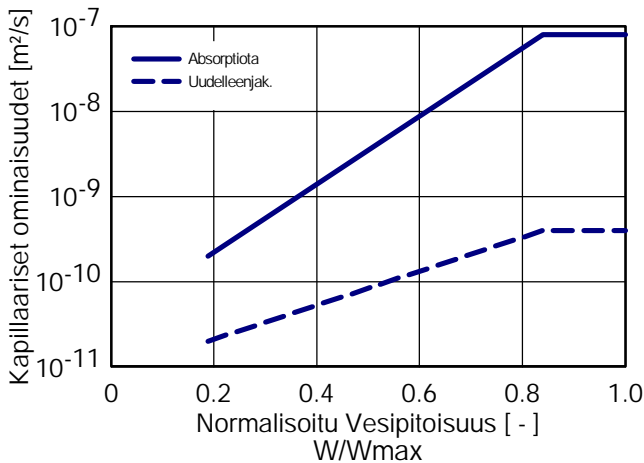
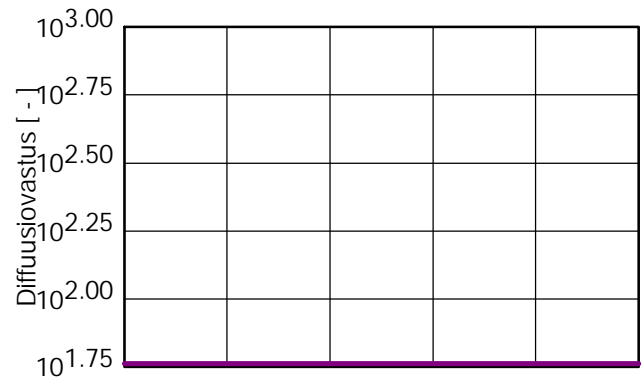
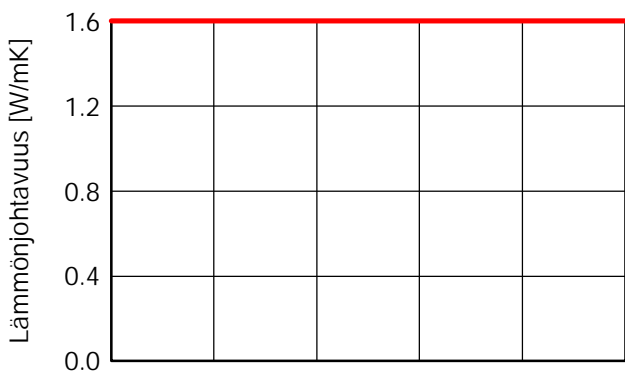




Materiaali : Betoni tasoite, pintakerros

### Laskentaparametrien yhteenveto

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]	1890,0
Huokoisuus	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,2
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/kgK]	850,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva ,10°C	[W/mK]	1,6
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[ - ]	58,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



## Reunaehdot

### Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: alapohjan ryömintätilan olosuhteet.wac  
Ilmansuunta / Kallistuskulma: Pohj. / 0 °

### Sisäpuoli (oikea)

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

## Pinnan siirtokerroimet

### Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn		[m <sup>2</sup> K/W]	0,10 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Ei absorptiota/emissiota	[ - ]	----
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Ei absorptiota/emissiota	[ - ]	----
Sateen absorptiokerroin	Ei absorptiota	[ - ]	----
Explisiittinen säteilytase			ei

### Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus		[m <sup>2</sup> K/W]	0,17
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----

## Viimeisen laskennan tulokset

## Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	24.8.2020 19:30:38
Laskennan kesto	0 min,49 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

## Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,0 -0,93
Virrat s (kr,dr)	[kg/m <sup>2</sup> ]	-0,0 0,68
Tase 1	[kg/m <sup>2</sup> ]	-1,61
Tase 2	[kg/m <sup>2</sup> ]	-1,61

Kosteuspitoisuus [kg/m<sup>2</sup>]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	25,16	23,55	23,34	25,17

Kosteuspitoisuus [kg/m<sup>3</sup>]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*EPS (Lämmönj.: 0.036 W/mK - Tihey	0,85	1,01	0,80	1,18
*Ontelolaatta	66,18	61,85	61,47	66,18
Betoni tasoite, pintakerros	26,50	24,88	20,80	27,44

## Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m <sup>2</sup> ]	-225,09
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m <sup>2</sup> ]	-225,49
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m <sup>2</sup> ]	-0,93
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,68

## Hygroterminen lähde

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

## Projektitiedot

Projektin nimi AP2  
Projektin numero

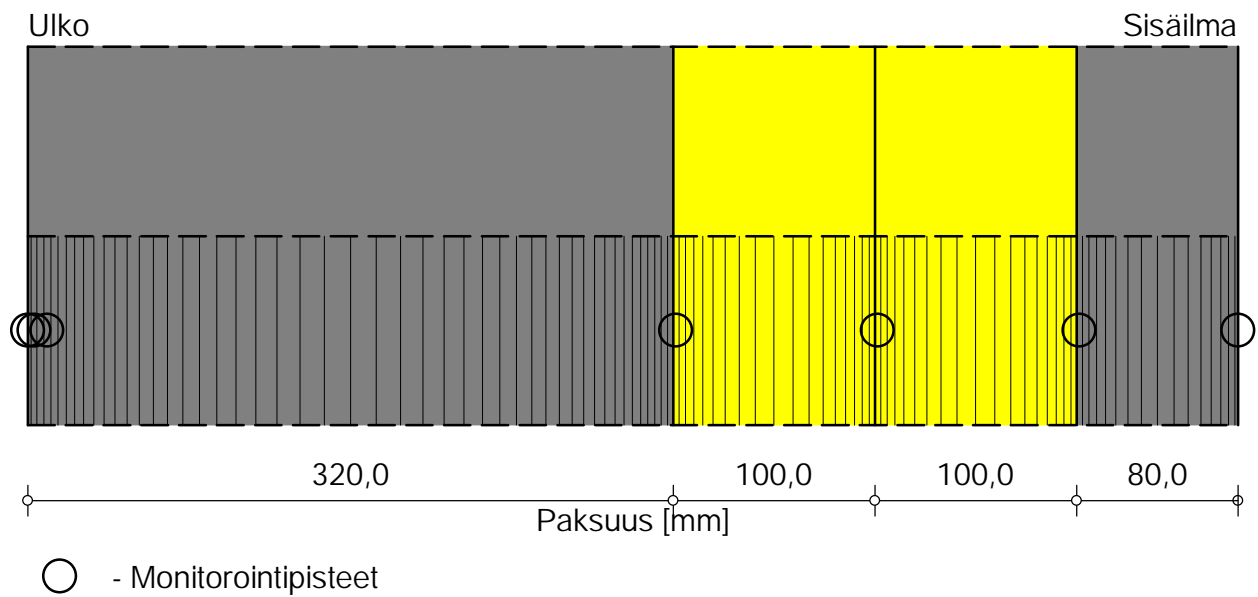
Asiakas  
Yhteyshenkilö Atte Kurko  
Paikka/P.nro.  
Katuosoite

Puhelin  
Fax  
s-posti

Vastuhenkilö  
Huomioita  
Päivämäärä 24.8.2020

## Rakennekomponentit

Tapaus: #1



## Materiaalit :



- \*Ontelolaatta



- \*XPS (Lämmönj.: 0,037 W/mK)



- \*XPS (Lämmönj.: 0,037 W/mK)



- Betoni, C35/45

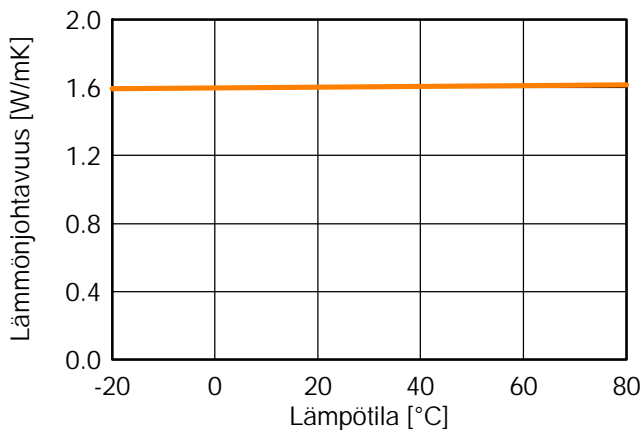
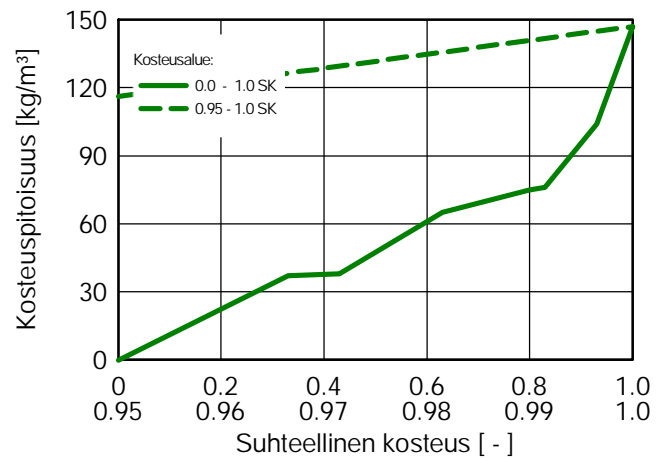
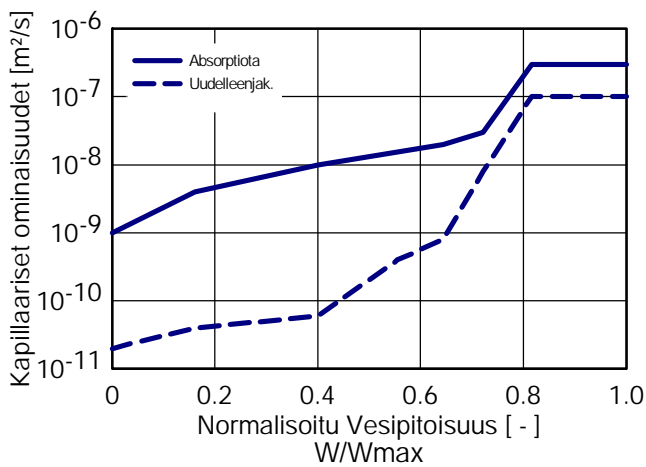
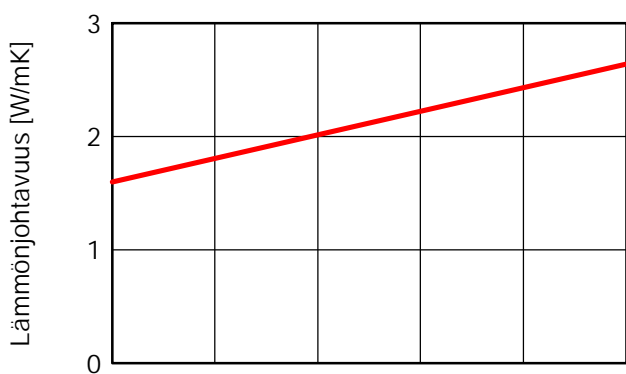
Kokonaispaksuus: 0,6 m

R-arvo: 5,76 m<sup>2</sup>K/WU-arvo: 0,166 W/m<sup>2</sup>K

Materiaali : \*Ontelolaatta

## Laskentaparametrien yhteenveto

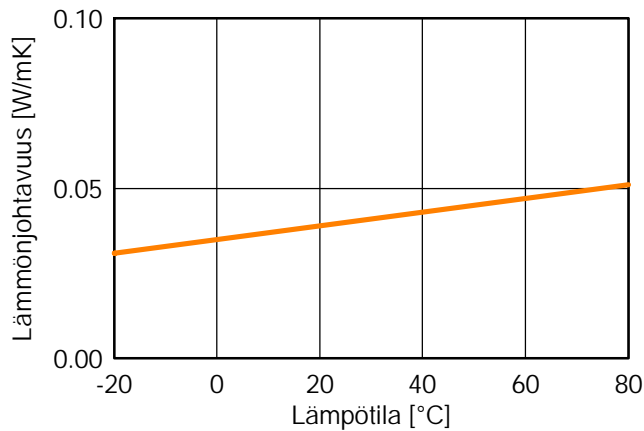
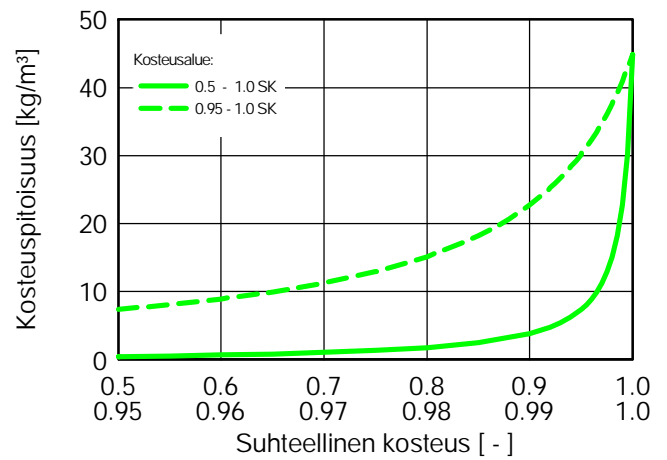
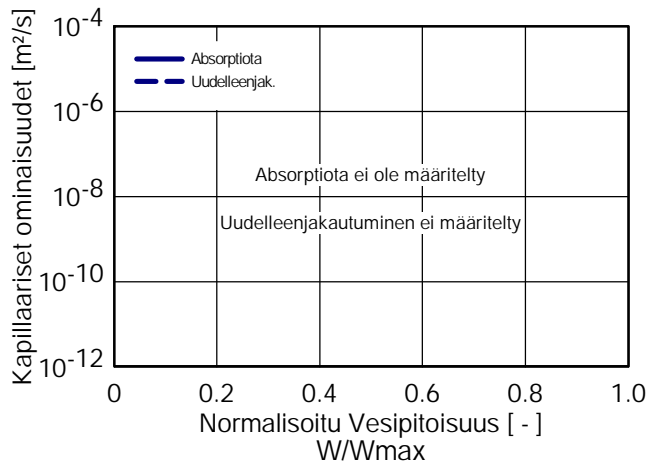
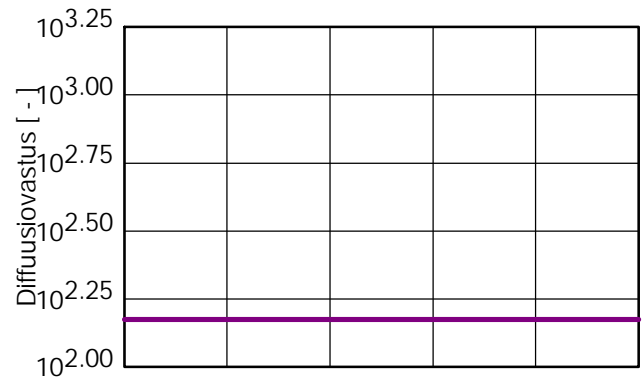
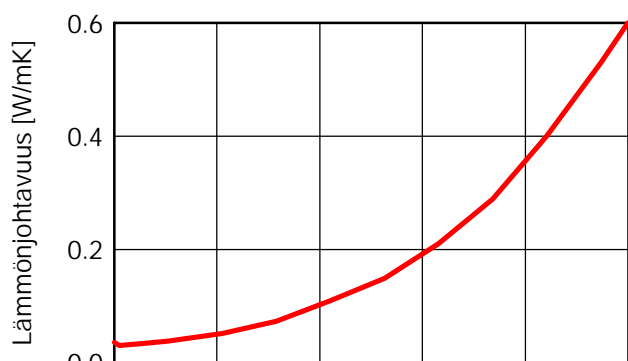
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]	2220,0
Huokoisuus	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,18
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	850,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva ,10°C	[W/mK]	1,6
Vesihöyryn diffuusiovastuserroin	[ - ]	25,0
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



Materiaali : \*XPS (Lämmönj.: 0,037 W/mK)

### Laskentaparametrien yhteenveto

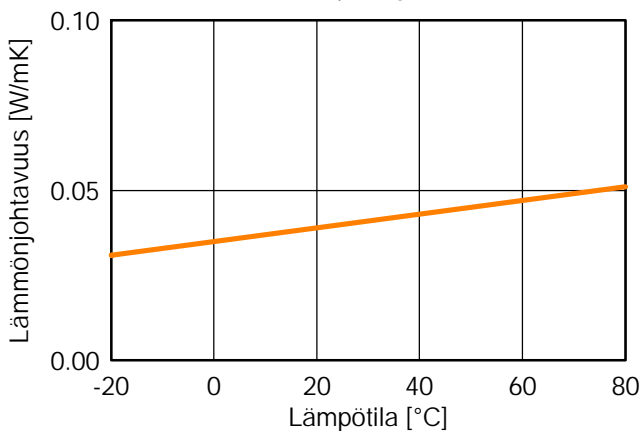
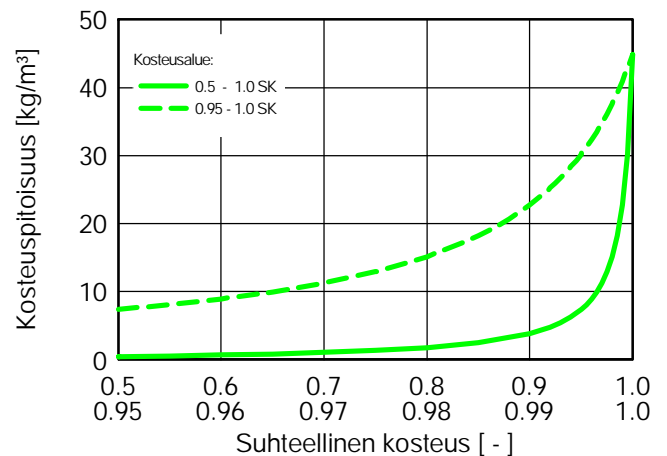
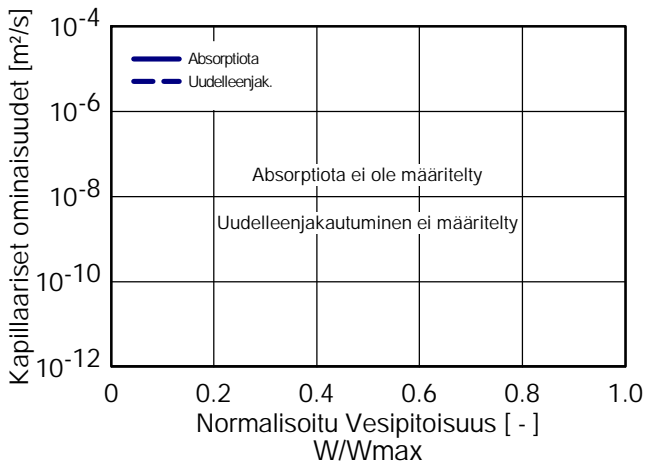
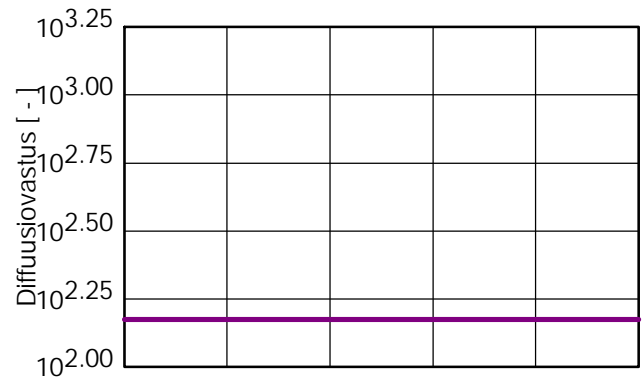
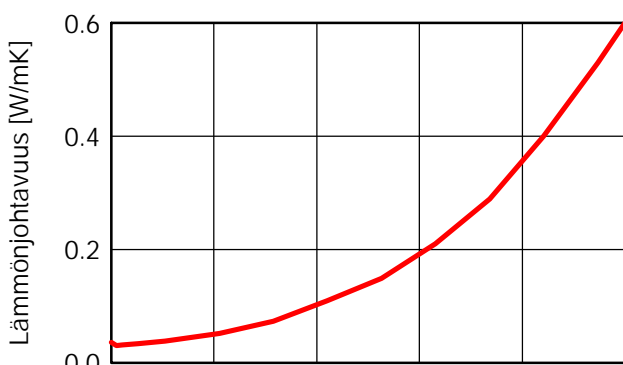
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]	60,0
Huokoisuus	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,95
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	1500,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva ,10°C	[W/mK]	0,037
Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin	[ - ]	150,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



Materiaali : \*XPS (Lämmönj.: 0,037 W/mK)

### Laskentaparametrien yhteenveto

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]	60,0
Huokoisuus	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,95
Ominaislämpökapiteetti, Kuiva	[J/kgK]	1500,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva ,10°C	[W/mK]	0,037
Vesihöyryn diffuusiovastuserroin	[ - ]	150,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002

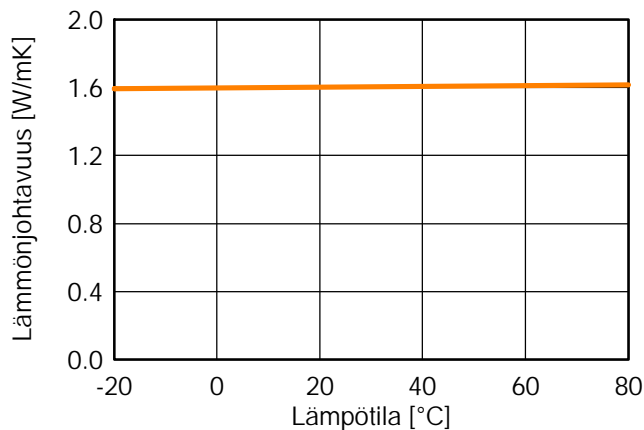
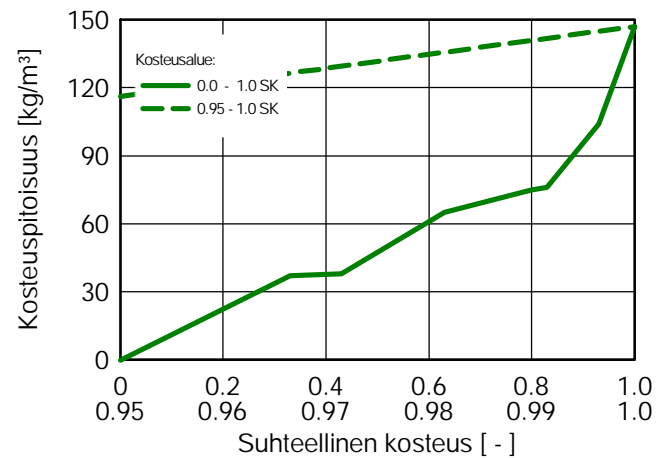
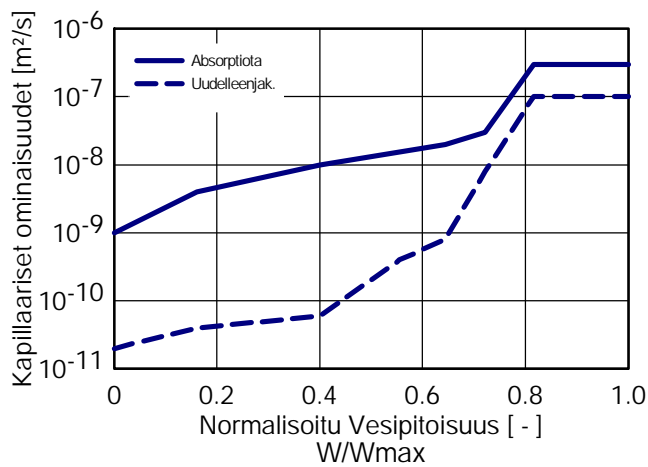
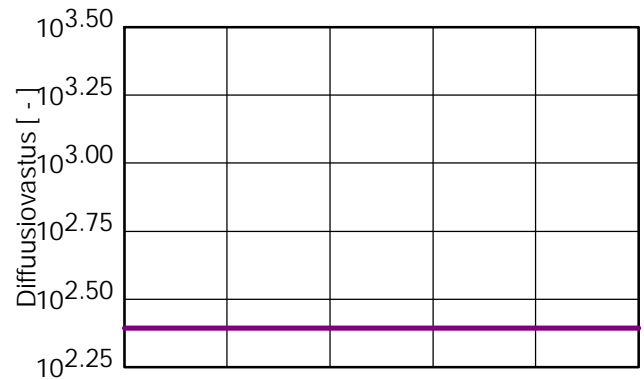
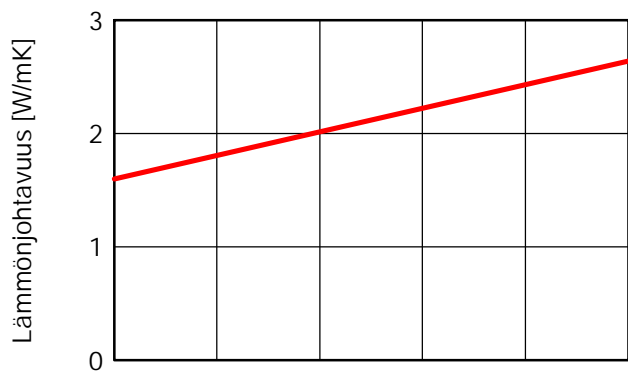




Materiaali : Betoni, C35/45

## Laskentaparametrien yhteenveto

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Raakatiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]	2220,0
Huokoisuus	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,18
Ominaislämpökapaiteetti, Kuiva	[J/kgK]	850,0
Lämmönjohtavuus, Kuiva ,10°C	[W/mK]	1,6
Vesihöyryn diffuusiovastuserroin	[ - ]	248,0
Lämmönjohtavuuden kosteusriippuvuus	[%/M.-%]	8,0
Lämmönjohtavuuslisä, f(T)	[W/mK <sup>2</sup> ]	0,0002



## Reunaehdot

### Ulkopuoli (vasen)

Sijainti: alapohjan ryömintätilan olosuhteet.wac  
Ilmansuunta / Kallistuskulma: Pohj. / 0 °

### Sisäpuoli (oikea)

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

## Pinnan siirtokerroimet

### Ulkopuoli (vasen)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus - sisältää pitkäaaltoisen säteilyn		[m <sup>2</sup> K/W]	0,10 kyllä
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----
Lyhytaaltainen absorptiokerroin	Ei absorptiota/emissiota	[ - ]	----
Pitkäaaltoinen säteilyn emissiokerroin	Ei absorptiota/emissiota	[ - ]	----
Sateen absorptiokerroin	Ei absorptiota	[ - ]	----
Explisiittinen säteilytase			ei

### Sisäpuoli (oikea)

Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Arvo
Lämmönvastus		[m <sup>2</sup> K/W]	0,17
Sd-arvo	Ei pinnoitetta	[m]	----

## Viimeisen laskennan tulokset

## Laskennan tilanne

Simulointi: Aika ja päivämäärä	24.8.2020 19:57:56
Laskennan kesto	0 min,48 s
Laskennan alku/loppu	1.10.2020 / 1.10.2023
Konvergointivirheiden lukumäärä	0

## Tarkista numeroiden esitystapa

Virrat u (kl,dl)	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,66 0,16
Virrat s (kr,dr)	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,28 -0,04
Tase 1	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,58
Tase 2	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,58

Kosteuspitoisuus [kg/m<sup>2</sup>]

	Alku	Loppu	Min.	Max.
Kokonaiskosteus	26,64	27,23	26,11	27,32

Kosteuspitoisuus [kg/m<sup>3</sup>]

Kerros/Materiaali	Alku	Loppu	Min.	Max.
*Ontelolaatta	66,18	69,87	66,12	70,15
*XPS (Lämmönj.: 0,037 W/mK)	0,85	0,91	0,85	1,01
*XPS (Lämmönj.: 0,037 W/mK)	0,85	0,67	0,67	0,85
Betoni, C35/45	66,18	58,97	54,76	66,18

## Virtojen aikaintegraali

Lämpövirta, vasen puoli	[MJ/m <sup>2</sup> ]	-198,72
Lämpövirta, oikea puoli	[MJ/m <sup>2</sup> ]	-193,78
Kosteusvirrat, vasen puoli	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,84
Kosteusvirrat, oikea puoli	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,25

## Hygroterminen lähde

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