



# Hirsirakenteisen tuulettuvan alapohjarakenteen tarkastelu

Alina Saarikko

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

SAARIKKO, ALINA

Hirsirakenteisen tuulettuvan alapohjarakenteen tarkastelu

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Huhtikuu 2020

---

Opinnäytetyössä tarkastellaan kahta erilaista hirsirakenteista tuulettuvaa alapohjatyyppejä. Vanhojen alapohjarakenteiden suurimpina puutteina ovat rakenteen heikko lämmöneristävyys, ilmatiiveys ja palonkesto. Ryömintätilaisen alapohjan toiminta vaihtelee huomattavasti vuodenaikojen mukaan. Opinnäytetyössä käsitellään rakenteiden toimintaan vaikuttavia erilaisia rakennusfysikaalisia ilmiöitä ja rakennusmateriaalien kosteus- ja lämpötekniisiä ominaisuuksia. Molempien alapohjatyyppeiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa tarkastellaan Wufi Pro 5.3 -simulointiohjelmalla. Lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan tuulettuvan alapohjarakenteen toimintaperiaatteita, vauriomekanismeja, liitoksien tiiviyyttä ja palosuojauksia. Opinnäytetyössä saatuja tuloksia hyödynnetään 12 hirsirakenteisen 1920-luvulla rakennetun asuintalon peruskorjauksen suunnittelussa.

Lämpö- ja kosteusteknisten laskelmien perusteella tulokseksi saatiin rakenteen kokonaiskosteuskuvaajat ja materiaaliakohtaisia kuvaajia, joiden perusteella voitiin varmistaa suunniteltujen alapohjan rakennetyyppien toimivuus. Laskennassa käytettiin ilmastotiedostoa, joka sisältää ryömintätilaisen alapohjan kosteuden ja lämpötilan arvoja, joissa on korkeat kosteusrasitukset ja heikko ilmanvaihto. Rakenteiden heikkoa lämmöneristävyyttä, ilmatiiviyyttä ja palonkestoa saatiin parannettua uuden rakennetyypin myötä ja homeindeksitarkastelulla pystyttiin toteamaan, että homeen kehittyminen rakenteeseen on melko epätodennäköistä. Lisäksi korjaustoimenpiteillä pystytään lisäämään ilmanvaihtuvuutta tilassa ja vähentämään alapohjarakenteeseen kohdistuvia kosteusrasituksia.

Työn toimeksiantajana oli rakennetun ympäristön suunnittelua ja konsultointipalveluja tarjoava Sitowise Oy.

---

Asiasanat: rossipohja, hirsirakennus, korjausrakentaminen

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

SAARIKKO, ALINA  
Examination of a Log-Structured Ventilation-Based Floor

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 9 pages  
April 2020

---

This thesis investigates two different ventilation-based floors. The most significant problems in the base floor structures of buildings are low thermal insulation capacity, bad air tightness and fire endurance. This study discusses different physical phenomena in building, and the moisture and heat features of different materials, which have an effect on how the structures behave. The heat and moisture behavior of structures was calculated with Wufi Pro 5.3, which is a program for moisture and heat simulation. The working principle of base floors, their damage mechanisms, and fire resistance are also reviewed. The results of this study will be utilized in the planning of repairs to 12 buildings made of log. All the buildings were built in the 1920s.

After calculating, Wufi Pro 5.3 gives different graphs representing the figures on factors such as total water content and water content in individual layers. Climate data, which was used in calculating the structure, showed truly challenging circumstances. Results of the physical calculations indicate that the planned base floor type is useful. The renovation of the structures will bring better thermal insulation capacity, better air tightness and fire endurance. The review also revealed that the probability of mold growth is low. In addition, ventilation is improved, and the extra moisture can be removed.

The thesis was commissioned by Sitowise, which is focused in design and consulting in construction industry.

---

Key words: ventilation-based floor, log structure, renovation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET .....	7
3	KOHDE .....	8
	3.1 Alapohjan nykytilanne .....	8
	3.2 Uusi alapohjarakenne .....	9
4	RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA .....	10
	4.1 Toiminta yleisesti.....	10
	4.2 Kosteusrasitukset.....	11
	4.2.1 Vauriomekanismit.....	11
	4.2.2 Ilmanvaihto ryömintätilassa .....	12
	4.3 Maapohjan vaikutus .....	13
5	LÄMPÖ .....	15
	5.1 Lämmön siirtyminen.....	15
	5.2 Lämmönläpäisykerroin .....	15
6	KOSTEUS RAKENTEISSA.....	16
	6.1 Kosteuden olomuodot .....	16
	6.2 Kosteuden siirtyminen rakenteissa.....	17
	6.2.1 Konvektio.....	17
	6.2.2 Diffuusio .....	17
	6.2.3 Kapillaarinen vedenliike.....	18
	6.2.4 Kosteuden kondensoituminen .....	18
	6.3 Kosteusvaurion syntyminen .....	19
	6.3.1 Suomalainen homemalli .....	19
	6.3.2 Homehtumisen todennäköisyys tutkittavassa rakenteessa	20
7	LASKENTA .....	22
	7.1 Wufi.....	22
	7.2 Laskennan materiaaliominaisuudet.....	22
	7.3 Ilmasto-olosuhteet.....	23
	7.4 Tulosten tulkinta .....	24
8	MATERIAALIOMINAISUUDET .....	26
	8.1 Hygroskooppinen kosteus.....	26
	8.1.1 Hygroskooppinen tasapainokosteus.....	26
	8.2 Tiheys .....	26
	8.3 Huokoisuus .....	27
	8.4 Ominaislämpökapasiteetti .....	27
	8.5 Lämmönjohtavuus.....	27

8.6	Diffuusiovastuskerroin.....	27
9	PALOTURVALLISUUS .....	28
9.1	Yleistä paloturvallisuudesta.....	28
9.2	Materiaalien palonkesto .....	30
10	LIITOKSET .....	32
11	POHDINTA .....	34
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	38
	Liite 1. Alkuperäiset rakenteet	
	Liite 2. Laskennassa käytetyt ympäristön kosteuden ja lämpötilan arvot	
	Liite 3. Rakenteiden kokonaiskosteuskuvaajat	
	Liite 4. Uudet rakenteet	
	Liite 5. Maapohjan rakenteet	

## 1 JOHDANTO

Toimeksiantajalla Sitowise Oy:lla oli opinnäytetyön aloittamisen aikaan käynnissä projekti vuonna 1922 valmistuneiden hirsirunkoisten rakennusten korjauksesta, jossa tilaajana oli Helsingin kaupungin asunnot Oy. Kohteen rakennuksiin oltiin tekemässä laajamittaista saneerausta ja opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia uuden alapohjarakenteen toimivuutta.

Opinnäytetyössä tutkitaan ja varmistetaan laskennallisesti hirsirunkoisen tuulettuvan alapohjan toiminta eri näkökulmista. Pääpaino on alapohjarakenteen kosteus- ja lämpöteknisessä toiminnassa, mutta opinnäytetyössä tarkastellaan myös alapohjan paloteknistä toimintaa, viranomaismääräyksiä, seinäliittymien tiiveyttä sekä rossipohjan toimintaa yleisellä tasolla. Opinnäytetyön tavoitteena on varmistaa laskennallisesti, että suunnitellut alapohjan rakennetyypit ovat kosteus- ja lämpöteknisesti oikeanlaisia, sekä paloturvallisuus- ja viranomaisvaatimukset täyttäviä alapohjarakenteita. Alapohjarakenteen tarkastelussa huomioidaan myös nykyiset alapohjaan kohdistuvat kosteusrasitukset ja niiden vähentäminen, sekä alapohjan tuuletuksen parantaminen. Alapohjia tarkasteltiin sillä oletuksella, että niiden kohdalla ei ole korkean kosteusrasituksen tiloja, kuten pesuhuonetta tai saunaa.

Kosteus- ja lämpötekkinen tarkastelu tehdään Wufi Pro 5.3 lämmön- ja kosteusensiirron simulointiohjelmalla, joka on Saksalaisen Fraunhofer-Institut für Bauphysikin kehittämä. Rakennusfysikaalinen simulointi on tarkin keino saada tietoa rakenteen toiminnasta. Lähtötietoja laskentaa varten tarvitaan melko paljon ja tuotetoimittajien tuotekohtaiset tiedot eivät yleensä ole riittäviä.

## 2 VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET

Rakentamismääräyskokoelmaan on vuonna 2013 lisätty ensimmäiset ainoastaan korjausrakentamista koskevat määräykset. Asetuksessa on säädetty minimaatimukset energiatehokkuuden parantamiselle, kun tehdään luvanvaraista korjaus- tai muutostyötä. Rakennuksen energiatehokkuutta pyritään parantamaan vain silloin, kun muutenkin korjataan tai uusitaan jokin rakennusosa tai tekninen järjestelmä. Suunnittelutyössä tehdyillä valinnoilla pyritään vähentämään rakennuksen energiankulutusta pitkällä aikavälillä, koska rakennusten lämmitykseen kuluu noin 25% Suomessa käytetystä energiasta. (Ojanen, Nykänen & Hemmilä 2017, 12.)

Ympäristöministeriön 4/13 asetuksessa rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä §4 mukaan, alapohjien energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan. Ulkoseinille ja yläpohjalle vaatimukset on esitelty tarkemmin. (Ympäristöministeriö, 2017.)

### 3 KOHDE

Kohde, jonka alapohjarakenteita tässä opinnäytetyössä tutkitaan, on vuonna 1922 rakennettu 12 rakennuksen kortteli. Kohde sijaitsee Helsingissä.

Rakennukset ovat hirsirunkoisia asuinrakennuksia, jotka on perustettu kivilatomuksin perusmaan ja kallion varaan. Tuulettuvien alapohjien alustilat ovat noin 1000-1500mm korkuisia maapohjaisia kellaritiloja. Rakennuksiin on tehty useita korjaus- ja kunnostustoimenpiteitä, joista merkittävimmät tämän opinnäytetyön kannalta ovat rakennuksien alapohjatilojen salaojittaminen ja alapohjan lämmöneristysten lisäys. Salaojitukset on tehty 1980-luvulla ja nykyisten salaojien toiminnassa on havaittu puutteita. Alapohjiin on lisätty lämmöneristystä vuonna 1986.

Helsingin kaupungin asunnot Oy:n vuonna 2018 teettämässä asukaskyselyssä on havaittu alapohjiin liittyen seuraavaa: lattiat ovat kallellaan ja kylmät ja kellaritilat ovat ahtaat ja kosteat.

#### 3.1 Alapohjan nykytilanne

Nykyisessä rakenteessa kellareiden tuulettuvissa alustiloissa on maapohja, johon on 1980-luvun korjauksien yhteydessä levitetty hienoa soraa. Alustilat ovat toimineet asukkaiden varastoina ja niissä on havaittu korkeita kosteusrasituksia, sekä puutteita tilan tuuletuksessa. Osa vanhoista tuuletushormeista on poistettu käytöstä tai otettu muuhun käyttöön ja osa tuuletusaukoista on suljettu puisilla luukuilla.

Rakennuksissa esiintyy kahta erilaista alapohjatyyppeä. Alapohjatyyppeä 1 (AP1) on pääasiallinen alapohjan rakenne kaikissa rakennuksissa. Alapohjatyyppeä 2 (AP2) on rakennuksien keskiosassa hormimuurauksien kohdalla oleva alapohjarakenne. Molemmissa alapohjarakenteissa kantavana rakenteena on hirsirunko ja lämmöneristeenä on käytetty erilaisia eloperäisiä materiaaleja, kuten sahanpuurua, kutterinlastua ja olkia. Nykyisessä alapohjarakenteessa ilmatiiveys, lämmöneristävyys ja palonkesto ovat heikkoja. Nykytilanteen mukaiset alapohjarakenteet ovat liitteessä 1.

### **3.2 Uusi alapohjarakenne**

Uusien alapohjarakenteiden lähtökohtana on parantaa vanhan rakenteen puutteita eli ilmatiiveyttä, lämmöneristystä ja palonkestoa. Uudessa alapohjarakenteessa huomioidaan myös lattian pinnan kallistuskorjaukset nykyistä runkoa oikaisemalla ja tukemalla. Uudet alapohjarakenteet on esitelty tarkemmin liitteessä 4.

## 4 RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA

### 4.1 Toiminta yleisesti

Ryömintätillaisella alapohjalla tarkoitetaan alapohjarakennetta, jonka alapuolella on tuulettuva ryömintätila. Alapohja, sokkeli ja maapohja rajaavat ryömintätilan. Tuulettuminen tapahtuu yleensä sokkelissa olevien tuuletusaukkojen kautta painovoimaisesti. Ryömintätillaista alapohjaa voidaan kutsua myös tuulettuvaksi alapohjaksi tai rossipohjaksi. (RIL-255-1-2014, 157-158.)

Ryömintätilan lämpö- ja kosteusoloihin vaikuttaa moni asia. Maapohjan kosteusolojen ja pinnan rakennekerroksien vaikutus on suuri. Ryömintätila on suoraan kosketuksessa kosteaan maapohjaan, joka on itsessään hyvin merkittävä kosteusrasitus alapohjarakenteelle. Maapohjalla on myös suuri lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus, jonka takia maa reagoi hitaasti ulkoilman lämpötilojen muutokseen. Tämän takia ryömintätilan kosteusolot muuttuvat paljon myös vuodenajan vaihtuessa.

Kesällä ja keväällä ryömintätilan maapohja on talven jäljiltä viileämpi kuin tuuletusaukkojen kautta tuleva ilma. Ryömintätilaan tuleva ilma jäähtyy ja nostaa tilan suhteellista kosteutta. Joissakin tapauksissa tuulettaminen ei enää poistakaan kosteutta ryömintätilasta vaan voi jopa lisätä sitä. Tilanne tasoittuu vasta kun ryömintätila ja sen maapohja ovat lämmenneet tarpeeksi ja tuloilmassa on taas kylästysvajautta. Lämpiminä kausina ryömintätilassa voi vallita ajoittain siis homeenkasvulle suotuisat olosuhteet.

Talvella tilanne on päinvastainen. Ryömintätila on vielä ulkoilmaa lämpimämpi ja tilaan tulevan viileän ilman suhteellinen kosteus pienenee ja tuuletusilman avulla pystytään poistamaan kosteutta ryömintätilasta. (RIL-255-1-2014, 157-159.)

## 4.2 Kosteusrasitukset

Ryömintätilan kosteusrasituksista merkittävin on maaperä. Maaperästä voi nousta kapillaarisesti pohjavettä ylöspäin ja lähellä olevat vesistöt voivat aiheuttaa veden liikkeen maaperässä painovoimaisesti. Maaperässä liikkuvia vesiä pyritään hallitsemaan kapillaarikatkoilla, salaojituksella ja joissakin tapauksissa vedenpaine-eristyksellä. Maaperästä haihtuvaa kosteutta vähennetään tuuletamalla tilaa ja joskus maan pinnalle voidaan levittää myös vesihöyryä läpäisemättömä muovi. Ensisijaisesti kosteuskuormaa pyritään kuitenkin vähentämään muilla keinoilla, koska muovin alla suhteellinen kosteus on kuitenkin jatkuvasti korkea ja se luo otolliset olosuhteet mikrobikasvuston syntymiselle.

Salaojituksilla ja sadevesiviemäreillä pyritään ohjaamaan pois myös alapohjaa rasittavat sade- ja sulamisvedet. Ryömintätilan maapohja tulisi aina muotoilla salaojia kohti viettäväksi. (Vinha, Laukkarinen, Mäkitalo, Nurmi, Huttunen, Pakkanen, Kero, Manelius, Lahdensivu, Köliö, Lähdesmäki, Piironen, Kuhno, Piriinen, Aaltonen, Suonketo, Jokisalo, Teriö, Koskenvesa, Palolahti 2013, 207.)

Vähäistä kosteusrasitusta alapohjarakenteelle tuottaa myös rakennuskosteus, jota hallitaan lähinnä käyttämällä kuivia rakennusaineita ja asianmukaisella kosteudenhallinnalla työmaalla. (Puuinfo, 2011.)

Tarkasteltavassa alapohjassa kosteuslähteitä pyritään pienentämään rakennuksien salaojitusten ja sadevesijärjestelmien uusimisella, sekä maapohjan kapillaarikatkolla.

### 4.2.1 Vauriomekanismit

Puurakenteiset alapohjarakenteet sisältävät yleensä helposti vaurioituvia materiaaleja. Puu rakennusmateriaalina on alttiimpi home- ja lahovaurioille kuin esimerkiksi betoni. Puurakenteista alapohjaa on myös haastavampi saada ilmatiiviiksi kuin betonirakenteista. Jos alapohjarakenne ei ole täysin ilmatiivis voi maaperästä kulkeutua epäpuhtauksia huonetilaan.

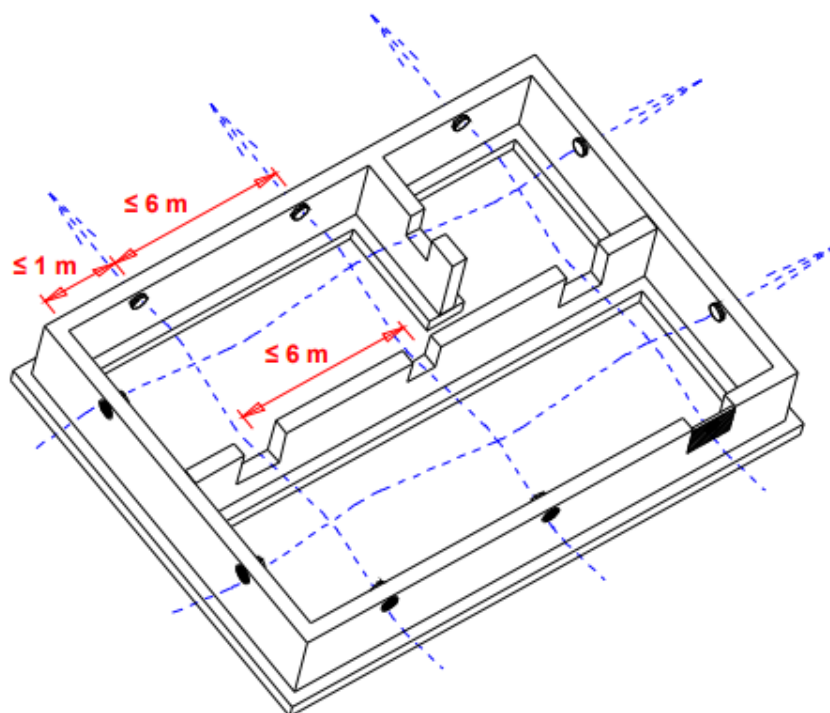
Mikäli tuulettuvan alapohjarakenteen tuuletusluukut on tukittu tai ne ovat unohtuneet talven jäljiltä kiinni, saattaa ryömintätilaan aiheutua kosteusvaurioita. (Lehto 2011, 10-11.)

#### 4.2.2 Ilmanvaihto ryömintätilassa

Koska tutkittavassa alapohjarakenteessa ryömintätila on osittain maanpinnan alapuolella olevaa maapohjaista kellaritilaa, ilmanvaihtuvuus ryömintätilassa on heikompi kuin tilanteessa, jossa ryömintätila olisi ympäröivää maanpintaa ylempanä (RIL-255-1-2014, 157).

Tuuletusaukkojen määrässä on huomioitava, että rakenne tuulettuu riittävästi, mutta liiallinen perusmuurin aukottaminen johtaa alapohjarakenteen lämmöneristyskyvyn heikentymiseen. Minimimääränä tavanomaisella tapauksella voidaan pitää, että tuuletusaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala perusmuurissa on 1‰ eli 0,1% alapohjan pinta-alasta ja väliseinäsokkeleissa vähintään kaksinkertainen perusmuureissa oleviin aukkoihin verrattuna. (RIL-255-1-2014, 157-159.) Esimerkiksi suurimman rakennuksen alapohjan pinta-ala on noin 240m<sup>2</sup>. Laskennallisesti tarkasteltaessa kyseisen rakennuksen tuuletusluukkujen yhteenlaskettu vähimmäispinta-ala tulisi olla 0,24 m<sup>2</sup>. Tuuletusaukkoihin asennettujen verkkojen ja säleikköjen vaikutus pinta-alaan huomioidaan pienennyskertoimien avulla. Verkkoja ja säleikköjä suositellaan käytettävän pieneläinten ja roskien pääsyn estämiseksi ryömintätilaan. Tuuletusaukkojen lisäksi rakennuksen keskialueelle voidaan sijoittaa tuuletusputki, joka johdetaan katolle. Tuuletusaukot tulisi sijoittaa samalle virtauslinjalle. Kuvassa 1 on esitetty tuuletusaukkojen periaatteellinen sijoittelu. (Puuinfo 2011.)

Tutkittavassa kohteessa tuuletus on tapahtunut perusmuurissa olevien erillisten aukkojen kautta. Aukot ovat osittain verkotettuja ja osittain peitetty puisilla luukuilla. Nykyistä aukotusta ei ole järkevää lähteä muuttamaan, mutta tuuletusaukot kunnostetaan ja käytöstä poistetut ilmanvaihtohormit otetaan uudelleen käyttöön ilmanvaihtuvuuden parantamiseksi.

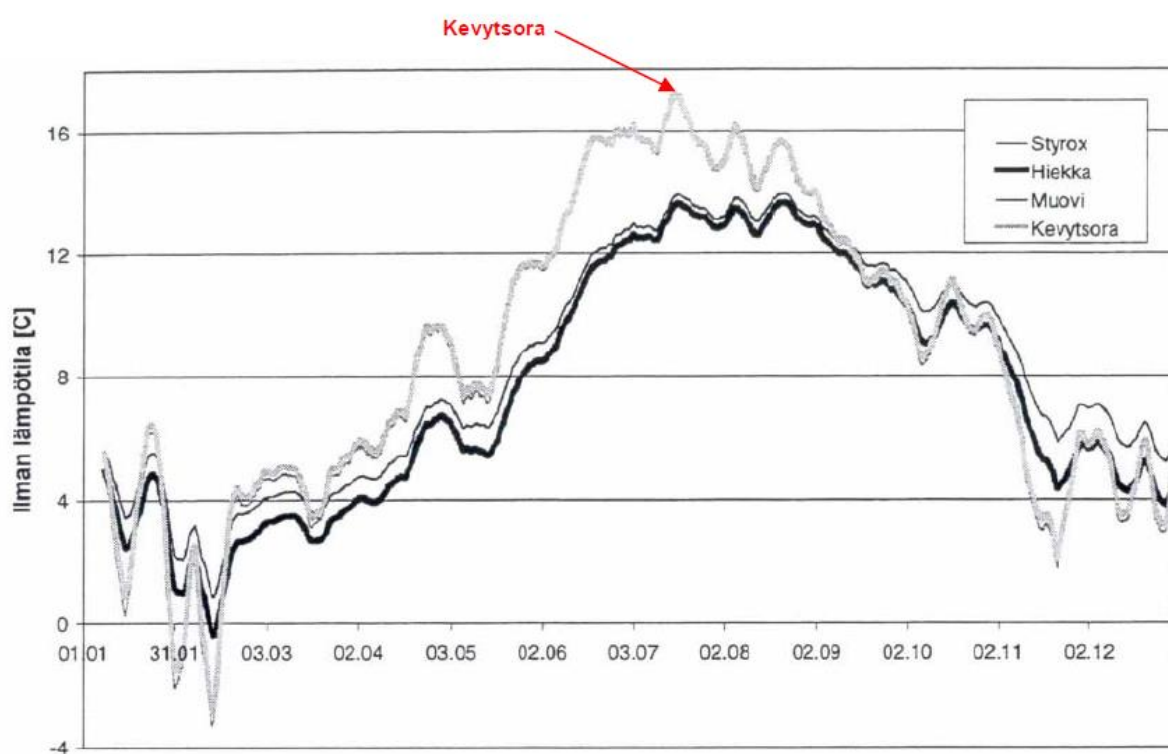


KUVA 1. Tuuletusaukkojen sijoittelun periaate. (Puuinfo 2011)

### 4.3 Maapohjan vaikutus

Ryömintätilan maapohjasta haihtuu paljon kosteutta ja maapohja reagoi hitaasti ympäristön lämpötilan muutoksiin. Ryömintätilan maanpinnan lämmöneristyksellä maan lämpötila saadaan pidettyä suurimman osan vuodesta pienempänä kuin ryömintätilan lämpötila, jolloin kosteuden haihtuminen maaperästä vähenee. Kesällä lämmöneristys nopeuttaa ryömintätilan lämpenemistä, kun kylmä maaperä ei voi viilentää sitä. Ryömintätilan lämpötilan noustessa sen suhteellinen kosteus laskee. Ryömintätilan suuri suhteellinen kosteus on ongelma yleensä keväällä tai kesällä, joten lämmöneristyksen viilentävä vaikutus ryömintätilassa talvisin ei ole kosteusteknisesti ongelma. Perusmaan lämmöneristykseenä voidaan käyttää esimerkiksi kevytsorakerrosta tai polystyreenilevyä. Lämmöneriste voi siis samalla toimia myös kapillaarikatkona tai vesihöyrynvastuksena. Eri materiaalien vaikutus perusmaan lämmöneristeinä ryömintätilan lämpötilaan on nähtävillä kuvassa 2. (Puuinfo 2011.)

Tutkittavan kohteen maapohjalle levitetään noin 250 mm kerros kevytsoraa. Kevytsora toimii samalla myös kapillaarikatkona. Kevytsora erotetaan muista materiaaleista suodatinkankailla molemmin puolin. Lopulliset maapohjan pintarakenteet on esitetty liitteessä 5.



KUVA 2. Ilman lämpötila ryömintätilassa eri pohjaratkaisuilla. (Puuinfo 2011)

## 5 LÄMPÖ

### 5.1 Lämmön siirtyminen

Lämpö voi siirtyä rakenteissa ja ilmassa kolmella tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla.

Lämmön johtuminen voi tapahtua kiinteissä aineissa tai nesteessä. Lämpö on atomien tai molekyylien värähtelyliikettä ja johtumisessa liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen. Lämpö pyrkii tasaantumaan lämpimästä kohti kylmempää.

Kun energia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä, puhutaan säteilystä eli emissiosta. Rakennusfysiikassa säteilyä on kahdenlaista: lyhytaaltoista auringonsäteilyä ja pitkäaaltoista kappaleiden säteilyä.

Kaasun tai nesteen virtauksen mukana lämpö siirtyy konvektiolla. Konvektio voi olla pakotettua, jolloin välittäjäaine liikkuu jonkun ulkoisen voiman pakottamana tai luonnollista, jolloin lämpötilaerojen aiheuttama tiheusero siirtää ilmaa. (Siikainen 2014, 40-41.)

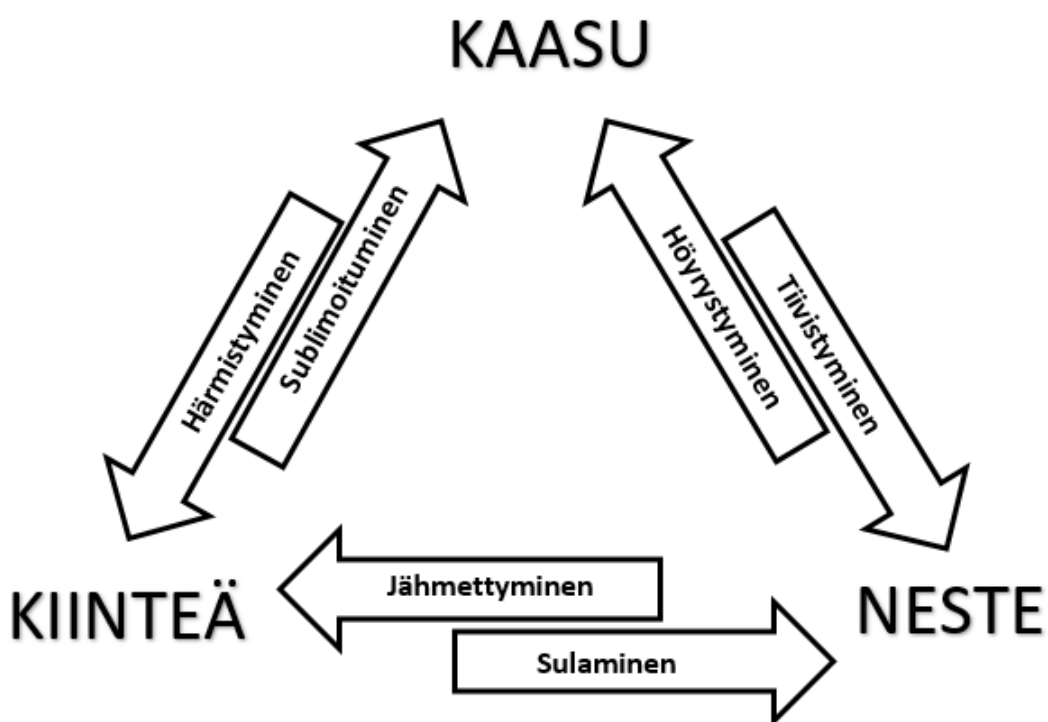
### 5.2 Lämmönläpäisykerroin

Rakenteiden U-arvo eli lämmönläpäisykerroin kertoo jatkuvuustilassa rakennekerroksen läpäisevän lämpövirran tiheyden, kun lämpötilaero rakenneosan eri puolilla on yksikön suuruinen. U-arvon yksikkö on  $W/(m^2K)$ . Rakenteen kokonaislämmönvastus  $R_T$  huomioi rakennusosan lämmönvastuksen lisäksi molempien puolien pintavastukset. Pintavastukset määritellään sisä- ja ulkopinnalle erikseen ja siihen vaikuttaa lämpövirran suunta. Rakenteen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on vastaavan rakenteen kokonaislämmönvastuksen käänteisluku. (Siikainen 2014, 46-51.)

## 6 KOSTEUS RAKENTEISSA

### 6.1 Kosteuden olomuodot

Kosteus voi esiintyä kolmessa eri olomuodossa: nestemäisenä vetenä, vesihöyrynä tai jäänä. Olomuodot rakenteissa ja niiden pinnoilla vaihtelevat ympäröivän ilman lämpötilan mukaan. Veden eri olomuotojen muutokset on esitetty kuvassa 3. (Pitkäranta 2016, 101.)



KUVA 3. Veden olomuotojen muutokset

## 6.2 Kosteuden siirtyminen rakenteissa

Ilmassa on aina jonkin verran kosteutta. Lämmin ilma voi sitoa itseensä enemmän kosteutta kuin kylmä. Ilmassa olevaa kosteutta voidaan ilmaista absoluuttisena kosteutena, suhteellisena kosteutena tai vesihöyryn osapaineena. (Siikanen 2014, 68.)

Ilman absoluuttinen kosteus kertoo ilman sisältämän vesihöyryn määrän grammoina yhtä kuutiota kohden. Yleisimmin rakennustekniikassa käytetty suure on suhteellinen kosteus (RH), joka on ilmassa olevan vesihöyryn suhde prosentteina ilman lämpötilaa vastaavaan kyllästystilan kosteusmäärään, eli tilaan, jossa tietyssä lämpötilassa on enimmäismäärä vesihöyryä.

Vesihöyryn osapaineella tarkoitetaan painetta, jonka ilmassa oleva vesihöyry saa aikaan. Vesihöyryn osapaineen yksikkö on pascal (Pa). (Siikanen 2014, 69-70.)

### 6.2.1 Konvektio

Kun ilma ja sen sisältämä kosteus liikkuvat paine-erojen vaikutuksesta, puhutaan konvektiosta. Rakennuksessa konvektiota tapahtuu huokoisten ja hyvin ilmaa läpäisevien materiaalien lävitse sekä rakenteiden epätiiviysskohdista. Konvektio voi olla esimerkiksi seinärakenteen sisällä tapahtuvaa luonnollista konvektiota, joka johtuu ilman tiheyseroista tai pakotettua konvektiota, joka syntyy ilmanpaine-erojen takia ja kulkee rakenteessa olevien reikien kautta. (Siikanen 2014, 71-72.)

Materiaalien lävitse tapahtuvan ilmavirtauksen määrä riippuu materiaalin ilmanläpäisevyydestä. Konvektiolla voi joissain tapauksissa olla myös rakennetta kuivattava vaikutus, mutta se voi aiheuttaa myös kosteuden tiivistymistä rakenteeseen, jos ilma viilenee rakenteessa alle kastepisteen. (Pitkäranta 2016, 115.)

### 6.2.2 Diffuusio

Kaikki materiaalit läpäisevät jonkun verran vesihöyryä. Kun kosteus liikkuu vesihöyrynä rakenteen läpi, puhutaan diffuusiosta. Diffuusion suunta on usein lämpimästä tilasta kohti kylmää, koska lämpimään ilmaan mahtuu enemmän kosteutta kuin viileään. Diffuusiossa kosteus pyrkii tasaantumaan rakenteiden läpi kohti

pienempää pitoisuutta. Toisinaan diffuusiota voi tapahtua myös toiseen suuntaan, mikäli viileän ilman kosteuspitoisuus on suurempi kuin lämpimän. (Siikainen 2014, 70-71.)

### **6.2.3 Kapillaarinen vedenliike**

Kun materiaali imee itseensä vapaata vettä huokosalipaineen eli kapillaari-imupaineen erojen vaikutuksesta, puhutaan kapillaarisuudesta. Materiaalin kapillaarisuuteen vaikuttaa huokoskoko ja huokosverkoston yhtenäisyys. Kapillaarinen nousukorkeus kasvaa huokosten pientyessä. (Laine 2010, 17-18) Rakenteen eri ainekerrokset pyrkivät kapillaariseen tasapainokosteuteen. Huokoisilla rakennusmateriaaleilla on kapillaari-imu, joka kuljettaa vettä materiaalin huokosissa. Kapillaarisuuden eteneminen katkaistaan rakenteissa erilaisilla vedeneristeillä kuten kermeillä, muoveilla tai kapillaarikatkokerroksella, joka ei kuljeta vettä kapillaarisesti ylöspäin. (Siikainen 2014, 68)

### **6.2.4 Kosteuden kondensoituminen**

Kun ilman lämpötila laskee, niin suhteellinen kosteus ilmassa nousee, vaikka vesihöyryn määrä ilmassa olisikin sama. Lämpötila voi laskea niin paljon, että suhteellinen kosteus on 100%. Lämpötilan edelleen laskiessa kosteus alkaa tiivistyä eli kondensoitua rakenteiden pinnoille tai rakenteen sisälle. (Laine 2010, 19.) Kondensoitumista tapahtuu helpoimmin kylmälle, tiiviille tai märälle pinnalle (Pitkäranta 2016, 101-102). Kosteuden tiivistymistä voivat aiheuttaa myös kylmäsiilat rakenteessa, höyrynsulun puutteellisuus ja siinä olevat reiät. Kondensoitumisen estämiseksi rakenteista tehdään lämpimältä puolelta mahdollisimman vesihöyrytiiviitä ja rakenteen kylmemmälle puolelle siirryttäessä vesihöyrynvastus pienenee. (Siikainen 2014, 72.)

### **6.3 Kosteusvaurion syntyminen**

Rakenteeseen voi syntyä vaurioita, kun kosteusrasitus on jatkuvaa ja kuivuminen pitkittyy. Tällaisessa tapauksessa rakenteeseen voi alkaa kasvaa mikrobikasvustoa, joka sisäilmaan päästessään on terveydelle haitallista. (Siikainen 2014, 65-66.) Kosteuden lisäksi mikrobikasvuston syntymiseen vaikuttaa myös lämpötila ja materiaali. Eri mikrobilajit vaativat kasvaakseen erilaiset olosuhteet, mutta vähimmäisvaatimus lämpötilalle on +5°C ja suhteelliselle ilmankosteudelle 75-80%. Vähimmäisvaatimusten mukaisten olosuhteiden vallitessa mikrobien kasvaminen on hidasta. Materiaalin vaikutus mikrobien kasvunopeuteen on myös merkittävä. Esimerkiksi puu- ja paperipohjaiset materiaalit ovat herkempiä mikrobikasvuston syntymiselle, kuin homehtumisherkkydeltään kestävämmät materiaalit betoni, lasi tai metalli. (Pitkäranta 2016, 130-134.)

#### **6.3.1 Suomalainen homemalli**

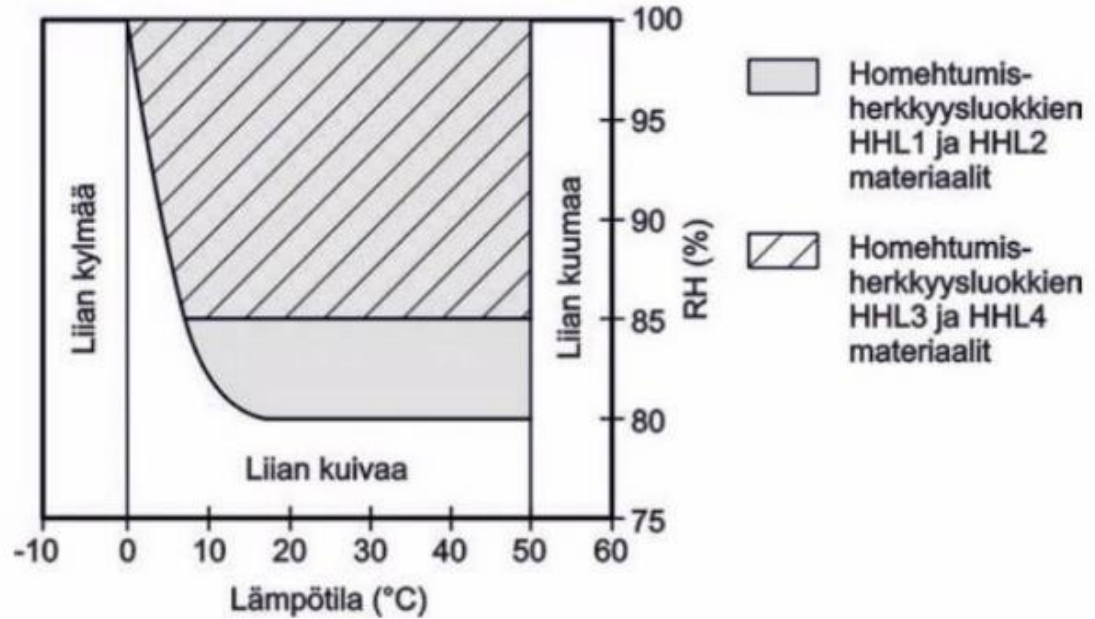
Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Tampereen teknillinen yliopisto TTY ovat yhdessä kehittäneet Suomalaisen homemallin, jonka avulla voidaan tarkastella laskeutumisesta homeen kasvu eri materiaalien pinnoilla. Homemalli jakaa materiaalit eri luokkiin sen homehtumisherkyyden ja homeen taantuman mukaan. Homemallissa käytetään vertailusuurena materiaalin homehtumiselle homeindeksiä M. Homeindeksi vaihtelee välillä 0-6 taulukon 1 mukaisesti. (RIL 255-1-2014, 60.)

TAULUKKO 1. Homeindeksin luokitukset. (RIL-255-1-2014)

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

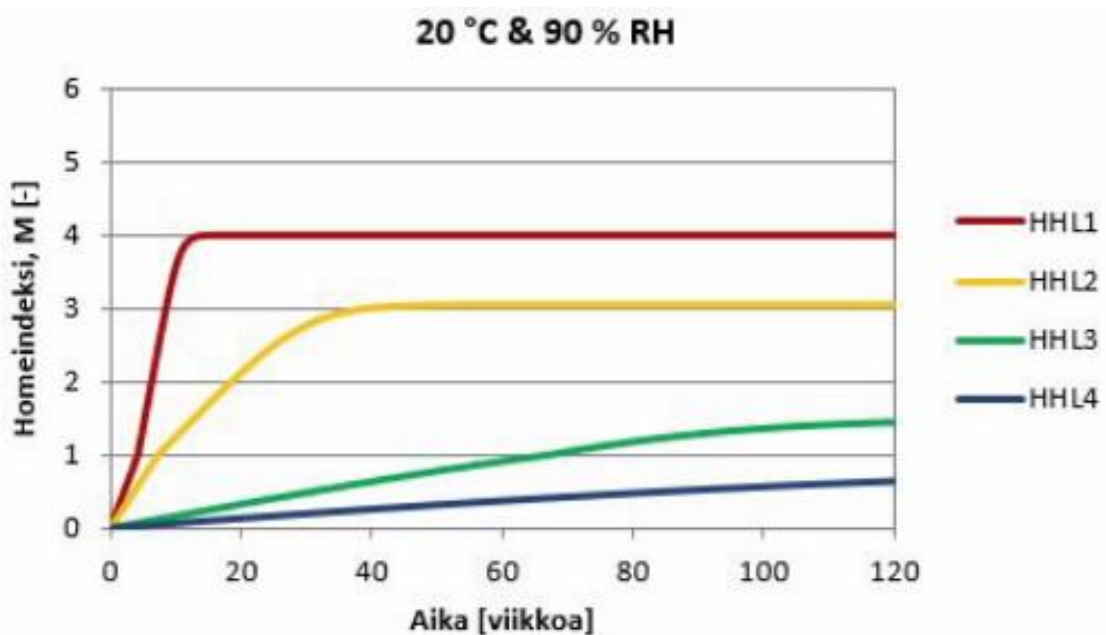
### 6.3.2 Homehtumisen todennäköisyys tutkittavassa rakenteessa

Laskennasta saatujen tulosten mukaan tutkittavissa alapohjarakenteissa suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat suurimmillaan rakenteen ulkopinnassa kesällä. Lämpötilan ollessa noin +17°C suhteellinen kosteus on noin 85%. Uloimpana rakenteessa on tuulensuojapintaista mineraalivillaa, jonka homehtumisherkkyysluokka on HHL 3 eli kohtalaisen kestävä. Kuvan 4 kuvaajan perusteella voidaan katsoa, että todennäköisyys homeen kehittymiselle laskennassa käytetyissä kriittisissä olosuhteissa on hyvin pieni, mutta mahdollinen. Laskennassa käytetyt olosuhteet ovat kuitenkin todellista tilannetta kriittisemmät, joten homeen kehittymistä ei käytännössä pitäisi tapahtua tai ainakin se on hyvin hidasta.



KUVA 4. Homeen kasvun kannalta suotuisat olosuhteet eri homeutumisherkkyyssuokissa. (RIL 255-1-2014.)

Kuvassa 5 on esitetty homeindeksin maksimiarvon määräytyminen eri homeutumisherkkyyssuokkien materiaaleille, kun lämpötila on +20°C ja suhteellinen kosteus 90%. Kuvaajan olosuhteet ovat homeenkasvulla otollisemmat, kuin tutkittavan alapohjarakenteen tilanteessa. Kuvaajan perusteella voidaan päätellä, että rakenteen homeindeksi on maksimissaan 1,5.



KUVA 5. Homeindeksin maksimiarvot (RIL-255-1-2014)

## 7 LASKENTA

### 7.1 Wufi

Alapohjien kosteustekninen laskenta suoritettiin Wufilla, joka on lämmön- ja kosteudensiirron simulointiohjelma. Laskennassa käytettiin Wufi Pro 5.3 versiota. Alapohjarakenteet simuloitiin yksiulotteisina rakennetyyppeinä. Kummassakin tapauksessa tarkastelu tehtiin kahdesta eri kohdasta rakennetta: eristeen kohdalta ja kantavan hirsirungon kohdalta. Laskenta toteutettiin käyttäen kolmen vuoden pituista tarkastelujaksoa.

### 7.2 Laskennan materiaaliominaisuudet

Materiaalien kosteuskäyttäytyminen riippuu niiden materiaaliarvoista. Laskennassa käytetyt materiaaliominaisuudet ja käsitteet on esitelty laajemmin kappalessa 8.

Rakenteessa olevista materiaaleista etsittiin laskentaa varten seuraavia materiaaliominaisuuksien arvoja:

- tiheys [ $\text{m}^3$ ]
- huokoisuus [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]
- ominaislämpökapasiteetti [ $\text{J}/\text{kgK}$ ]
- lämmönjohtavuus [ $\text{W}/\text{mK}$ ]
- vesihöyryn diffuusiovastuskerroin [-]
- tasapainokosteuskäyrät
- kapillaariset ominaisuudet
- kosteudesta riippuva lämmönjohtavuus

Materiaaliarvoja etsittiin Wufin omasta materiaalikirjastosta ja kirjallisuuslähteistä. Laskennassa käytetyt materiaaliarvot ja lähteet on eritelty taulukossa 2. Taulukossa ei ole huomioitu niitä materiaaleja, joiden laskennassa käytetyt arvot otettiin Wufin omasta materiaalikirjastosta.

TAULUKKO 2. Laskennassa käytettyjä materiaaliarvoja

Materiaali	Huokoi- suus [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Lämmönjohta- vuus [W/mK]	Ominaislämpö- kapasiteetti [J/kgK]	Diffuusiovas- tuskerroin -	Lähde
Huokoinen puukuitulevy	0,85	270	0,048	1500	5,5	Vinha ym. 2013
Puu (mänty)	0,90	532	0,1	2700	84	Vinha ym. 2013
Puhallettu puukuitueriste	0,97	37	0,038	2000	1,3	Vinha ym. 2013
Betoni	0,18	2300	1,6	850	130	Vinha ym. 2013
Lattiavaneri (havuvaneri)	0,65	394	0,11	1500	232	Vinha ym. 2013
Tuulensuoja- mineraalivilla	0,94	73	0,031	850	1,4	Vinha ym. 2013
Ilmansulku	0,6	250	0,2	1500	35	Vinha ym. 2013
Puukuitueris- televy	-	0,51	0,039	2000	1,3...2	RIL 255-1- 2014
Tuulensuoja- levy	73	0,94	850	0,031	1,4	Vinha ym. 2013

### 7.3 Ilmasto-olosuhteet

Laskentaa varten ohjelmaan on asetettava ympäristön ilmasto-olosuhteet. Suomen ulkoilman olosuhteista on määritetty rakennusfysikaaliset testivuodet FRAME-projektissa, joka on toteutettu yhteistyössä ilmatieteenlaitoksen ja TTY:n kanssa.

Tutkittavien alapohjarakenteiden laskennassa käytettiin yrityksen käytössä olutta valmista säädädataa, jossa olosuhteet ryömintätilassa ovat todella kriittiset. Sisäilman olosuhteissa hyödynnettiin FRAME-projektissa tuotettua ilmastodataa. Säädädata sisältää suhteellisen kosteuden ja lämpötilan arvoja. Laskennassa sisäilman lämpötilaksi asetettiin +21°C ja sisäilman kosteuslisä kosteusluokan 2 mukaan (RIL107-2012, 24). Kosteuslisällä tarkoitetaan rakennusten käytöstä ja asumisesta huoneilmaan syntyvää ylimääräistä kosteutta, josta seuraa vesihöyrypitoisuusero sisä- ja ulkoilman välille. Kosteusluokkaan kaksi kuuluvat esimerkiksi asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, sairaalat sekä urheiluhallit.

Kosteusluokan 2 rakennuksissa kosteuslisä on  $5\text{g}/\text{m}^3$ . (RIL-255-1-2014.)

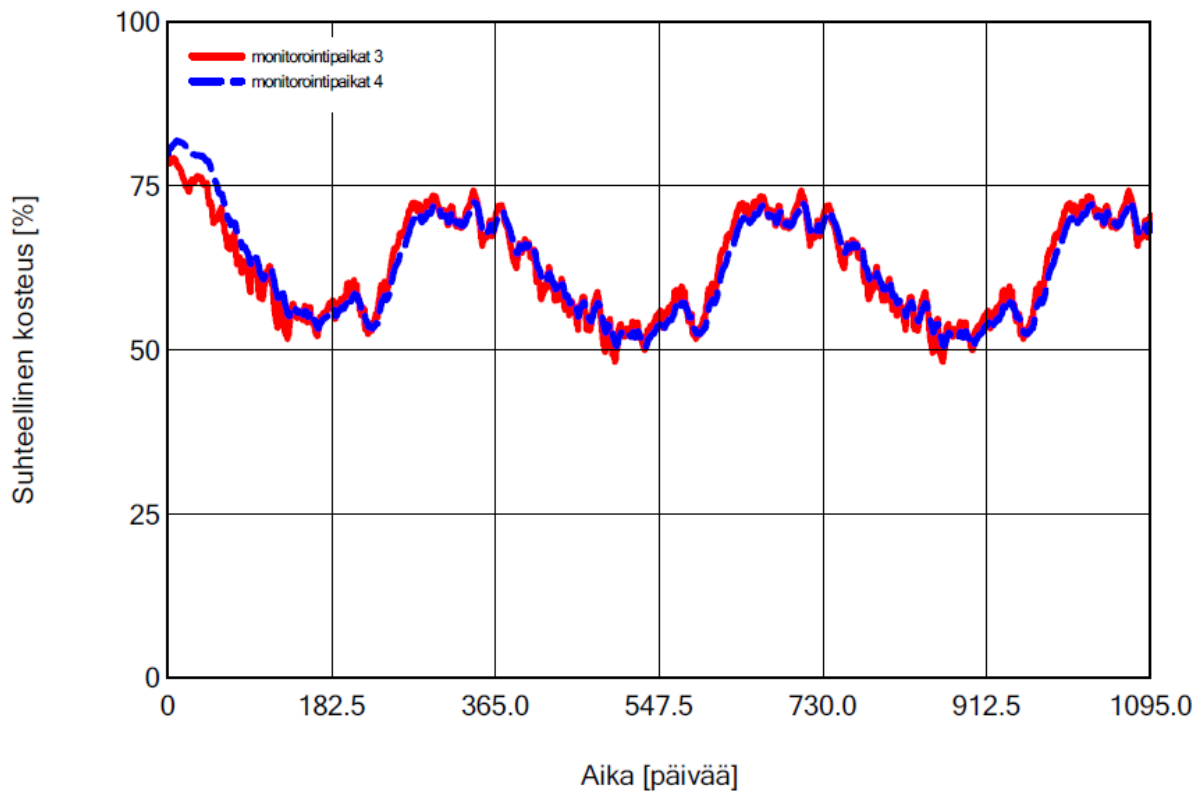
Käytettyjen ilmasto-olosuhteiden kosteus- ja lämpöarvojen kuvaajat on esitelty liitteessä 2.

#### 7.4 Tulosten tulkinta

Wufi Pro:sta saadaan laskennan lopputuloksena erilaisia tietoja laskennan kuluista ja tuloksista. Jokaisesta laskentatapauksesta saadaan kokonaiskosteuskuvaajat, jotka kuvaavat koko rakenteen kosteutta kolmen vuoden laskentajakson aikana. Rakenteiden kokonaiskosteuskäyrät ovat liitteessä 3. Lisäksi rakenteista saatiin kosteuskäyriä ennen laskentaa määrättyistä laskentapisteistä. Laskentapisteet sijoitettiin eri materiaalien rajapintoihin ja niistä nähdään kosteuden muutokset kyseisessä pisteessä laskentajakson eri vaiheissa. Esimerkki tarkastelupisteen kosteuskuvaajasta kuvassa 6.

Laskentatuloksista nähdään, että rakenteiden kokonaiskosteuden arvot ja tarkastelupisteissä olevat kosteuden arvot toistivat kolmen vuoden aikana vuosittain samanlaista kosteuskäyttäytymistä tai laskivat hitaasti. Jyrkkä laskeminen ensimmäisen tarkasteluvuoden aikana johtuu todennäköisesti siitä, että laskennan alussa syötettävissä alkuolosuhteissa kosteus on ollut liian suuri ja rakenteen kosteus vain tasoittuu normaalin tilaansa (Wufi Pro Manual 2020).

Tuloksia voidaan pitää luotettavina, koska ne ovat odotuksien mukaiset ja noudattavat vastaavien tilojen kosteuskäyttäytymisen malleja. Lisäksi tarkastelussa käytetty ilmastodata luo rakenteelle hyvin kriittiset olosuhteet, jollaisille rakenne ei todellisuudessa tule altistumaan.



KUVA 6. Esimerkki laskentapisteen kosteuskuvaajasta.

## 8 MATERIAALIOMINAISUUDET

### 8.1 Hygroskooppinen kosteus

Kaikkiin huokosiin materiaaleihin on sitoutuneena jonkin verran kosteutta. Materiaalin ominaisuudet, ympäröivän ilman kosteus ja lämpötila vaikuttavat sitoutuneen kosteuden määrään.

Kosteus liikkuu aineessa ulkoisten voimien vaikutuksesta. Kun kosteus liikkuu aineessa, sitä kutsutaan sorptioksi. Hygroskooppiseksi kosteudeksi kutsutaan kosteutta, jonka sorptio saa aineessa aikaiseksi. Hygroskooppisuudella tarkoitetaan siis aineen kykyä vastaanottaa tai luovuttaa kosteutta. Kun aineen kosteus asettuu tasapainoon ympäristönsä kanssa, puhutaan hygroskooppisesta tasapainosta. (Siikainen 2014, 65,77.)

#### 8.1.1 Hygroskooppinen tasapainokosteus

Aineen tasapainokosteudella tarkoitetaan aineessa olevaa kosteusmäärää tietyissä kosteus- ja lämpöolosuhteissa. (Siikainen 2014, 77.) Materiaali sitoo tai luovuttaa kosteutta, riippuen ympäröivistä olosuhteista. Tätä riippuvuutta kuvataan tasapainokosteuskäyrillä, joissa on esitettyinä materiaalin kosteuspitoisuuden [ $\text{kg/m}^3$ ] ja suhteellisen ilmakosteuden riippuvuus. Kun materiaalin kosteuspitoisuus vastaa ympäröivän ilman suhteellista kosteutta välillä 0...98%, materiaali on hygroskooppisella alueella. Kutakin lämpötilaa vastaa erilainen tasapainokosteuskäyrä, koska materiaalin tasapainokosteus riippuu ympäröivästä lämpötilasta. Materiaali sitoo itseensä enemmän kosteutta matalammassa lämpötilassa. (Pitkäranta 2016, 104.)

### 8.2 Tiheys

Materiaalin tiheys  $\rho$  ilmoitetaan yksikössä [ $\text{kg/m}^3$ ]. Se kertoo materiaalin painon kiloina yhtä neliökuutiota kohden.

### 8.3 Huokoisuus

Huokoisuus [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ] kuvaa ilman määrää materiaalissa kuutiota kohden. Huokoisuusluku on sitä suurempi, mitä huokoisempaa materiaali on.

### 8.4 Ominaislämpökapasiteetti

Materiaalin ominaislämpökapasiteetti  $c_p$  [J/kgK] kertoo materiaalin lämmönsitomiskyvystä eli sen kyvystä sitoa ja luovuttaa lämpöä. Mikäli materiaali kostuu, sen ominaislämpökapasiteetti muuttuu. (Laine 2011.)

### 8.5 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuus  $\lambda$  [W/(m·K)] kuvaa lämpömäärää, joka läpäisee materiaalin jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen.

Materiaalin lämmönjohtavuuteen vaikuttaa sen tiheys ja ainekerroksen paksuus. Mikäli materiaali sitoo itseensä kosteutta, sen lämmönjohtavuus kasvaa materiaalin kosteuden kasvaessa. Tämän takia laskennassa syötettiin osasta materiaaleista lämmönjohtavuuden arvot myös kosteudesta riippuvaisina. (Laine 2011.)

### 8.6 Diffuusiovastuskerroin

Diffuusiovastuskerroin kuvaa ympäröivän ilman vesihöyrynläpäisevyyden suhdetta huokoisen materiaalin vesihöyrynläpäisevyyteen. (RIL 255-1-2014, 393.)

## 9 PALOTURVALLISUUS

### 9.1 Yleistä paloturvallisuudesta

Rakennusten ja rakenteiden suunnittelussa on aina otettava huomioon myös tulipalon mahdollisuus. Tulipalotilanteessa lämpö siirtyy säteilemällä, johtumalla tai kuljettumalla virtaavien kaasujen mukana. Palokuorma tarkoittaa palossa vapautuvaa kokonaislämpö määrää yhtä neliötä kohden, kun tilassa oleva aine palaa täydellisesti. Palokuorman yksikkönä on MJ/m<sup>2</sup> ja se voidaan määrittää arvioimalla tai laskemalla. Lähtökohtana palokuorman määrittämiselle on tilojen käyttötarkoitus, joka voidaan sijoittaa eri palokuormaryhmiin palokuorman tiheyden mukaan. Palokuormaryhmien perusteella määritellään palonkestovaatimuksia kantavissa ja osastoivissa rakennusosissa. Palokuorman tiheys vaikuttaa kantavien ja osastoivien rakenteiden mitoittamiseen paloluokissa P1 ja P2. (Siikainen 2014, 83-86.)

Paloturvallisuutta rakentamisessa säätelee ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.

Rakennukselle määritellään paloluokka P1, P2 tai P3, joka määräytyy pääasiassa rakennuksen käyttötarkoituksen ja kokoluokan mukaan. Rakennusten paloluokkien P2 ja P3 henkilöturvallisuuden takaamiseksi ja pelastustöiden helpottamiseksi asetetut käyttötarkoitusta, kokoa ja henkilömäärää koskevat rajoitukset on esitetty taulukoissa 3-5. P1 paloluokassa kokoa ja käyttötarkoitusta ei ole rajoitettu, joten rakenteiden oletetaan kestävän sortumatta palotilanteessa. (Ympäristöministeriön asetus 848/2017.)

Kantavat ja osastoivat rakennusosat luokitellaan paloluokkiin vaadittavien ominaisuuksien ja palonkeston mukaan. Merkinnät, joilla rakennusosat merkitään ovat R kantavuus, E tiiviys, EI tiiviys ja eristävyys. Lisäksi merkintöjen perään ilmoitetaan minuutteina vaadittava palonkestävyysaika. (Siikainen 2014, 90-91.)

Tutkittava rakennus kuuluu paloluokkaan P2 ja alapohjarakenne luokkaan EI30. Kellaritila muodostaa rakennuksessa oman palo-osastonsa, jolla pyritään rajoittamaan palo ja savun leviämistä rakennuksessa.

TAULUKKO 3. P3-paloluokan rakennuksen käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset (Ympäristöministeriön asetus 848/2017.)

Rakennus	Kerros-luku enintään	Korkeus <sup>1)</sup> enintään	Kerrosala enintään
1-kerroksinen, yleensä	1	9 m	2 400 m <sup>2</sup> (4 800 m <sup>2</sup> *)
2-kerroksinen, yleensä	2	9 m	1 600 m <sup>2</sup> (2 400 m <sup>2</sup> *)
Hoitolaitos	1	9 m	2 400 m <sup>2</sup>
Tuotanto- tai varastorakennus	1 <sup>2)</sup>	14 m	ei rajoitusta
Erillisenä rakennuksena oleva maataloustuotteiden kuivaamo	1	18 m	ei rajoitusta
Autosuoja	1	9 m	ei rajoitusta
Asuinrakennus, jonka päällekkäiset kerrokset kuuluvat eri asuinhuoneistoon	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu

<sup>1)</sup> Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.  
<sup>2)</sup> Pääosin 1-kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m<sup>2</sup> ja osastoimat-tomana enintään 50 m<sup>2</sup> oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja.  
\* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

TAULUKKO 4. P2-paloluokan rakennuksen käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset (Ympäristöministeriön asetus 848/2017.)

Rakennus	Kerros-luku enintään	Korkeus <sup>1)</sup> enintään	Kerrosala enintään
Yleensä	2	9 m	ei rajoitusta
1-kerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	1 <sup>2)</sup>	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Palovaarallisuusluokan 2 tuotanto- tai varastorakennus	1 <sup>2)</sup>	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Yli 2-kerroksinen asuinrakennus, hoitolaitos (pois lukien suljettu rangaistuslaitos), majoitusrakennus ja työpaikkarakennus <sup>3)</sup>	8 *	28 m *	12 000 m <sup>2</sup> *
Yli 2-kerroksinen kokoontumis- ja liikerakennus <sup>3)</sup>	4 *	14 m *	12 000 m <sup>2</sup> *
Yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan asuinhuoneistoon <sup>3)</sup>	4	14 m	12 000 m <sup>2</sup>

<sup>1)</sup>Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.  
<sup>2)</sup>Pääosin 1-kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m<sup>2</sup> ja osastoimat-tomana enintään 50 m<sup>2</sup> oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja.  
<sup>3)</sup> Rakennuksessa ei sallita tiloja, joissa on palokuormaa yli 1 200 MJ/m<sup>2</sup>.  
\* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

TAULUKKO 5. P2- ja P3-paloluokan rakennuksen suurin sallittu henkilömäärä ja paikkaluku. (Ympäristöministeriön asetus 848/2017.)

Rakennuksen paloluokka	P2			P3	
	1	2	yli 2 kerrosta *	1	2
Kerroksia					
<b>Käyttötarkoitus</b>					
Asunnot, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150 (250 *)
Majoitustilat, majoituspaikkoja	150 (300 *)	50 (100 *)	500	50 (100 *)	10
Hoitolaitokset, hoitopaikkoja	100 (200 *)	25 (50 *)	150	10 (25 *)	ei sallittu
Kokoontumis- ja liiketilat, henkilöitä	ei rajoitusta	250 (500 *)	1 000	500 (1 000 *)	50
Työpaikkatilat, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150
Tuotanto- ja varastotilat, henkilöitä	ei rajoitusta	50 (100 *)	ei sallittu	ei rajoitusta	ei sallittu
Kaksikerroksisen rakennuksen henkilömäärärajoitukset koskevat tapauksia, joissa mainitun käyttötarkoituksen mukaiset tilat on sijoitettu kokonaan tai osaksi rakennuksen toiseen kerrokseen. Jos näitä tiloja on vain ensimmäisessä kerroksessa, voidaan soveltaa yksikerroksista rakennusta koskevia rajoituksia. Mikäli rakennuksessa on eri käyttötarkoituseräihin kuuluvia tiloja, rakennuksen turvallisuustaso arvioidaan tarkastelemalla rakennusta kokonaisuutena. * Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Poikkeuksena enintään 14 metriä korkea asuinrakennus, jonka kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan asuinhuoneistoon.					

## 9.2 Materiaalien palonkesto

Rakentamisessa käytettävät materiaalit eivät saa edistää palon kehittymistä (Ympäristöministeriön asetus 848/2017). Rakennusmateriaalit luokitellaan paloon osallistumisen, savuntuoton ja palavan pisaroinnin mukaan. Paloluokat A1, A2, B, C, D, E ja F kuvaavat materiaalin osallistumista paloon. Paloon osallistuvat materiaalit lisäävät rakennuksen palokuormaa. Lisäluokat s1, s2 ja s3 kertovat materiaalin savuntuotosta ja lisäluokat d0, d1 ja d2 koskevat liekehtivien pisaroiden tai osien muodostumista. Materiaalien luokittelut on esitelty taulukossa 6. Osastoivissa rakennusosissa rakennustarvikkeille asetettava luokkavaatimus on A2-s1, d0. Tutkittavassa alapohjarakenteessa ulommaisena materiaalina oleva tuulensuojamineraalivilla kuuluu paloluokkaan A2-s1, d0. Tämä tarkoittaa, että materiaalin paloon osallistuminen on erittäin rajoitettua, sen savuntuotto on erittäin vähäistä ja palavaa pisarointia ei esiinny. (Siikainen 2014, 90-91.)

Tuulensuojapintainen mineraalivilla suojaa näin ollen rakennetta erittäin tehokkaasti palolta. Alapohjan kantavat rakenteet ovat puuta, joka ei itsessään tarvitse erillistä palonsuojausta, koska puu palaa hiiltymällä ja hiilikerros hidastaa palon etenemistä. Kantavan puurakenteen täytyy kuitenkin palotilanteessa säilyttää kantavat ominaisuutensa paloluokan vaatiman ajan verran. (Siikainen 2014, 84.)

TAULUKKO 6. Materiaalien paloluokitukset (Siikainen 2014, 90).

Luokka	Kuvaus
A1	Materiaalit, jotka eivät osallistu paloon ollenkaan.
A2	Materiaalit, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettua.
B	Materiaalit, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettua.
C	Materiaalit, jotka osallistuva paloon rajoitetusti.
D	Materiaalit, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.
E	Materiaalit, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.
F	Materiaalit, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty.
s1	Savuntuotto erittäin vähäistä.
s2	Savuntuotto vähäistä.
s3	Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia.
d0	Palavia pisaroita tai osia ei esiinny.
d1	Palavat pisarat ja osat sammuvat nopeasti.
d2	Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia.

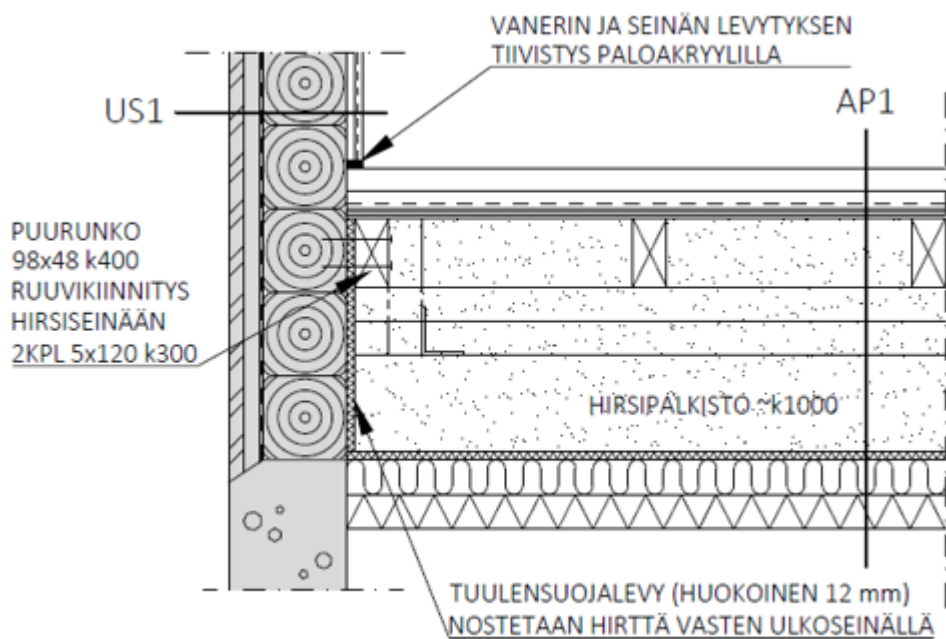
## 10 LIITOKSET

Kriittisimpiä kohtia alapohjarakenteen kokonaistiiviyyden kannalta ovat liitokset ulkoseiniin. Liitoksien kautta voi aiheutua konvektiovirtauksia, jotka alapohjassa ovat yleensä ryömintätilasta kohti sisäilmaa, jolloin maapohjan kosteus ja mikrobit voivat kulkeutua alapohjarakenteeseen aiheuttaen rakenteiden kostumisen ja hajuhaittoja. Liitoksista sisään virtaava kylmä ilma aiheuttaa myös kondensoitumisriskin. Puurakenteisen rossipohjarakenteen liitoksien täydellinen ilmatiiveyden saavuttaminen on haastava. Vaipparakenteen kokonaistiiveys puurakenteissa perustuu yleensä ilma- ja höyrynsulun limittämiseen alapohjan ja seinärakenteen liitoksessa. Liitos voidaan tiivistää myös saumausnauhalla tai elastisella saumamassalla. (Rantala & Leivo)

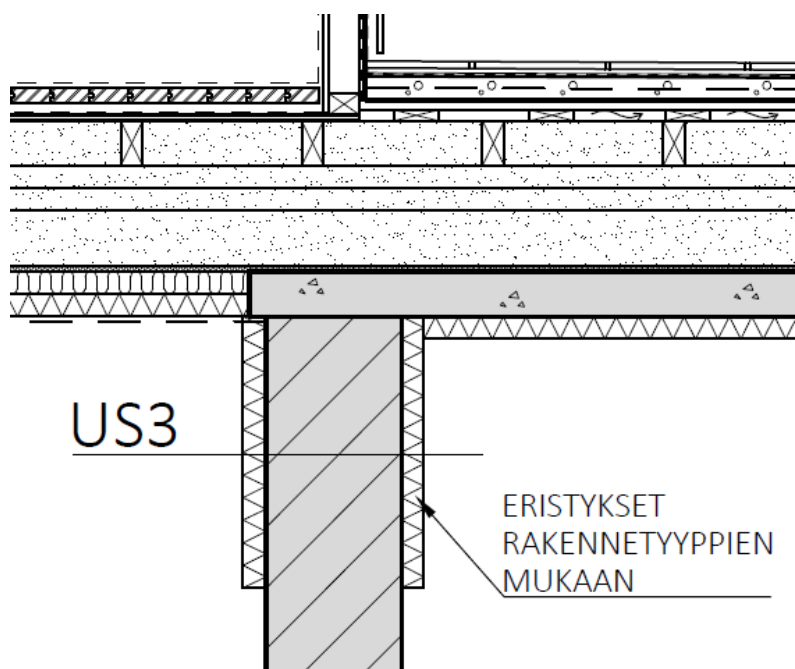
Tarkasteltavassa kohteessa ulkoseinän ja alapohjarakenteen liitos toteutetaan kuvan 7 mukaisesti alapohjatyypin 1 tapauksessa. Korjauskohteessa rakennusvaipan kokonaisvaltaisen tiiveyden saavuttaminen on haastavampaa verrattuna uudiskohteeseen ja puun eläminen vaikeuttaa tiiveyden saavuttamista. Vanha hirsirungon painuminen ja eläminen on kuitenkin vähäisempää.

Alapohjatyypin 2 ei rajaudu ulkoseiniin. Sitä esiintyy vain hormiperustuksien kohdalla rakennusten keskiosissa, jossa lämmöneristeet ja ilmansulku jatkuvat yhtenäisinä. Hormiperustuksien kohdalla lämmöneristystä jatketaan perustusten muurausta vasten kuvan 8 mukaisesti. Molemmilla liitoksilla saadaan estettyä kylmäsiltojen syntyminen ja minimoitua konvektiovirtaukset mahdollisuuksien mukaan.

KUVA 7. Ulkoseinän ja alapohjan liitos. AP1



KUVA 8. Hormiperustuksien ja alapohjan liitos. AP 2.



## 11 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja varmistaa laskennallisesti hirsirunkoisen korjauskohteen tuulettuvan alapohjan ja sen suunniteltujen korjauksien toimivuus kosteus-, lämpö- ja paloteknisestä näkökulmasta. Kohteena opinnäytetyössä oli 1920-luvulla rakennettuja asuinkäytössä olevia hirsitaloja, joiden alapohjien ryömintätilassa on havaittu tavanomaista korkeampia kosteusrasituksia ja lattiapinnoissa vedon tunnetta. Vanhassa alapohjarakenteessa on havaittu puutteita lämmöneristävyydessä, ilmatiiveydessä ja palonkestossa. Opinnäytetyön kosteus- ja lämpötekniinen tarkastelu tehtiin kosteudensimulointi Wufi 5.3 -ohjelmalla ja lisäksi tarkasteltiin rakenteen homeensietokykyä, palonkestoa ja liitoksien tiiveyttä.

Rakentamismääräyskokoelmassa ei anneta alapohjan energiatehokkuuden parantamiselle muita vaatimuksia, kuin parantaminen mahdollisuuksien mukaan. Näin ollen viranomaismääräyksistä ei juurikaan saada raameja alapohjarakenteiden suunnittelussa korjauskohteissa.

Rakennusfysikaalisen laskennan perusteella suunniteltuja alapohjarakenteita voidaan pitää toimivina. Uudet rakennetyypit parantavat vanhassa rakenteessa olleita puutteita; ilmatiiveyttä, lämmöneristävyyttä ja palonkestoa. Laskennassa käytettiin ympäristön ilmasto-olosuhteina tuulettumattomasta alapohjasta mitattuja kosteuden ja lämpötilan arvoja, jotka ovat hyvin kriittiset olosuhteet rakenteille. Laskennan perusteella saadut kokonaiskosteuskuvaajat ja tarkastelupisteistä saadut kosteus- ja lämpötilakuvaajat toistavat itseään tai vaihtoehtoisesti kosteus laskee hitaasti. Tulokset ovat uskottavia ja realistisia. Kriittiset laskentolosuhteet tuovat lisävarmuutta rakenteen todelliselle toiminnalle. Laskennan epävarmuutena voidaan pitää sitä, että tuotevalmistajakohtaisen vaihtelun takia materiaalien rakennusfysikaaliset arvot eivät varmuudella ole täysin samoja kuin lopullisessa rakenteessa. Tällä ei kuitenkaan ole suurta vaikutusta rakenteen toimintaan, koska materiaaliarvot ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan tuotteen valmistajasta riippumatta. Alapohjarakenteelle tehtiin myös homeindeksitarkastelu siinä materiaalissa, jossa laskennan mukaan suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat suurimmillaan. Homeindeksiksi saatiin varsinaista tapausta kriittisemmissä-

kin olosuhteissa 1,5, josta voidaan päätellä, että homeenkasvulle materiaalin pinnalle on pieni todennäköisyys ja mahdollinen kasvaminen tulee olemaan hidasta. Lisäksi nämä homeenkasvulle otolliset olosuhteet tulevat hallitsemaan ryömintätilassa hyvin vähän aikaa, koska syksyn tullessa ryömintätila hiljalleen taas viilenee ja suhteellinen kosteus pienenee.

Ryömintätilan ja maapohjan kosteusrasitukset ovat olleet alkuperäisessä rakenteessa huomattavat. Vanhojen salaojien toiminta on puutteellista, joten ne eivät ole pystyneet kuivattamaan maapohjaa tarpeiden mukaisesti. Ryömintätilan suhteellista kosteutta on nostanut myös puutteellinen tuuletus. Tuulesta parannetaan kunnostamalla vanhat tuuletusaukot ja ottamalla vanha tuuletushormi käyttöön. Näin saadaan toiminnallista varmuutta varsinkin kevään ja kesän ajalle, jolloin saadaan nopeammin tasattua ryömintätilan ja ulkoilman lämpötilaeroja, jolloin tuuletusilma pystyy poistamaan kosteutta ryömintätilasta.

Alapohjarakenteen paloteknistä toimintaa saatiin parannettua uuden rakennetyypin myötä. Alapohjarakenteen alapinnassa käytettiin A2-s1, d0 luokan tuulensuojainnoitettua mineraalivillaa, joka täyttää rakenteelle esitetyt vaatimukset.

Seinän ja alapohjan liittymien tiiveys on kriittisimpiä kohtia rakennusvaipan kokonaistiiveydessä. Korjausrakentamisessa kokonaistiiveyttä on hankala saavuttaa ja puurakenne hankaloittaa elämisellään sitä. Kohteen rakenteiden liitoksissa saatiin estettyä kylmäsiltojen syntyminen ja rakenteiden tiiveys saatiin niin toimivaksi kuin se on kyseisessä kohteessa mahdollista.

Kokonaisuudessaan alapohjan rakennetyypistä ja ryömintätilasta saadaan laskennassa tarkastelluilla rakenneratkaisuilla kosteus- lämpö- ja paloteknisesti toimiva kokonaisuus ja sen kosteusrasituksia saadaan vähennettyä ja ilman vaihtuvuutta parannettua. Tässä opinnäytetyössä on saatu hyvä kokonaiskuva puurakenteisen rossipohjaisen alapohjarakenteen toiminnasta. Tarkastelussa käytetyt haastavat ilmasto-olosuhteet tuovat varmuutta rakenteen toiminnalle. Kyseisen kohteen alapohjien toimivuuden tarkastelulle ei ilmene lisätutkimus tarpeita ja tarkastelua voidaan käyttää vastaavanlaisten kohteiden suunnittelun apuvälineenä jatkossakin. Vastaavissa kohteissa voidaan tarkastella myös liitoksien toimivuutta mallintamalla ne Wufi 2D-versiolla, jota ei tässä opinnäytetyössä käytetty.

Tulevaisuudessa lisähaastetta rakenteiden kosteustekniselle toiminnalle tuo ilmastonmuutos. Tätä on tutkittu vuosina 2009-2012 Tampereen teknillisen yliopiston FRAME-projektissa, joka koski ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutuksia vaipparakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Ilmastonmuutoksen seurauksena on todennäköistä, että rakenteiden kuivuminen hidastuu ja homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät. Tässä opinnäytetyössä ei otettu kantaa rakenteen käyttäytymiselle ilmastonmuutoksen seurauksien kannalta, mutta tulevaisuudessa rakenteiden kosteusteknisissä tarkasteluissa tätäkin näkökulmaa kannattaa tarkastella.

## LÄHTEET

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Pitkäranta, M. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Turenki. Hansaprint Oy.

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

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

Laine, K. 2010. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Lehto, M. 2011. Pientalon puisen rossipohjan tutkimus- ja korjausopas. Itä-Suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate.

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.

Ojanen, T. Nykänen, E. & Hemmilä, K. 2017. Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Ympäristöministeriö. 2017. Energiatehokkuus. Luettu 18.3.2020.

[https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus)

Puuinfo. 2011. Tuuletettu puualapohja. Tekninen tiedote. Luettu 23.3.2020.

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/tuuletettu-puualapohja.pdf>

Wufi. 2020. Wufi Pro Manual. Luettu 1.4.2020. [https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/9/2014/09/WUFI-Pro-5\\_Manual.pdf](https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/9/2014/09/WUFI-Pro-5_Manual.pdf)

Suomen säädöskokoelma. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Luettu 23.4.2020 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

Rantala, J. & Leivo, V. Rakenteiden ja liitosten rakennusfysiikkaa. Luettu 19.4.2020. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070301.pdf>

Weckman, H. Rakennustarvikkeiden uudet eurooppalaiset paloluokitukset. VTT Rakennustekniikka. Luettu 23.4.2020 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030402.pdf>

## LIITTEET

Liite 1. Alkuperäiset rakenteet

Liite 2. Laskennassa käytetyt ympäristön kosteuden ja lämpötilan arvot

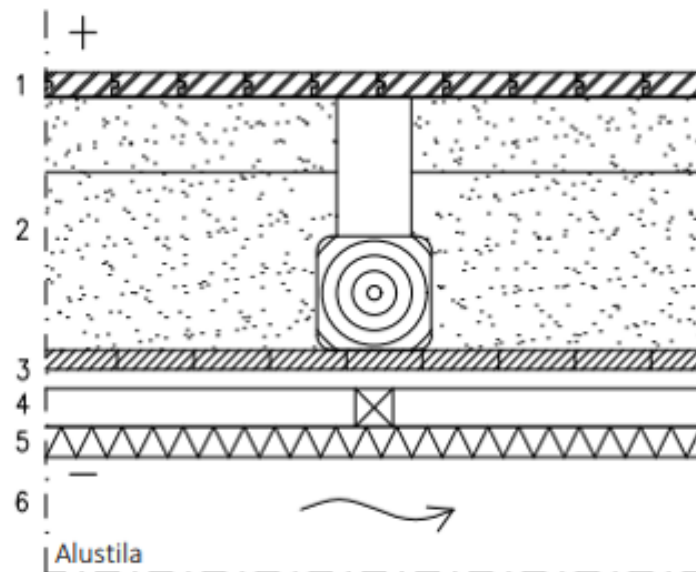
Liite 3. Rakenteiden kokonaiskosteuskuvaajat

Liite 4. Uudet rakenteet

Liite 5. Maapohjan rakenteet

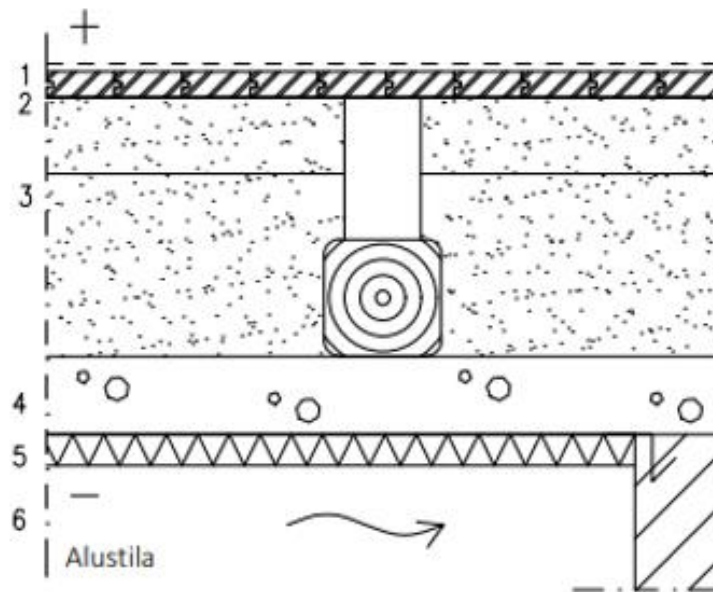
## Liite 1. Alkuperäiset rakenteet

### Alapohjatyyppi 1



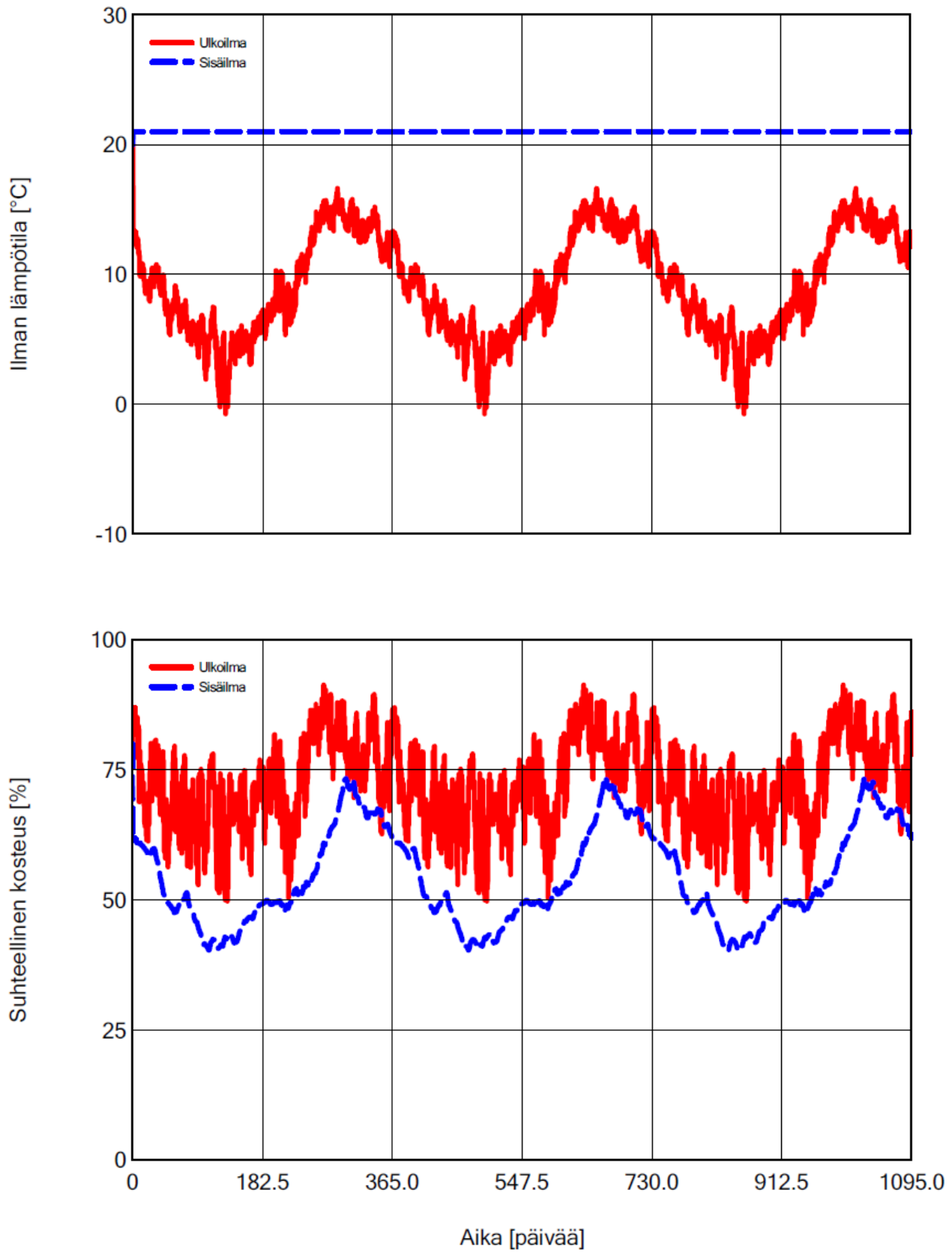
~ 25 mm	1	Lattialauta (v,p)
~ 350 mm	2	Lattian pääkannattajat, hirsipalkisto ~k1000, tukeutuvat alustilan primääripalkistoon (v) + koolaus ~100x50 k500 + kutterinlastu-/olki-/sahanpuru-eristys (v,p)
50 mm	3	Lauta, 2x25 mm (v,p)
50 mm	4	Koolaus k400 (v,p)
~ 40 mm	5	Tuulensuojavilla, paksuuden vaihteluväli 20...50 mm (v,p)
~ 1000...1500 mm	6	Kellaritila (v)

## Alapohjatyyppi 2



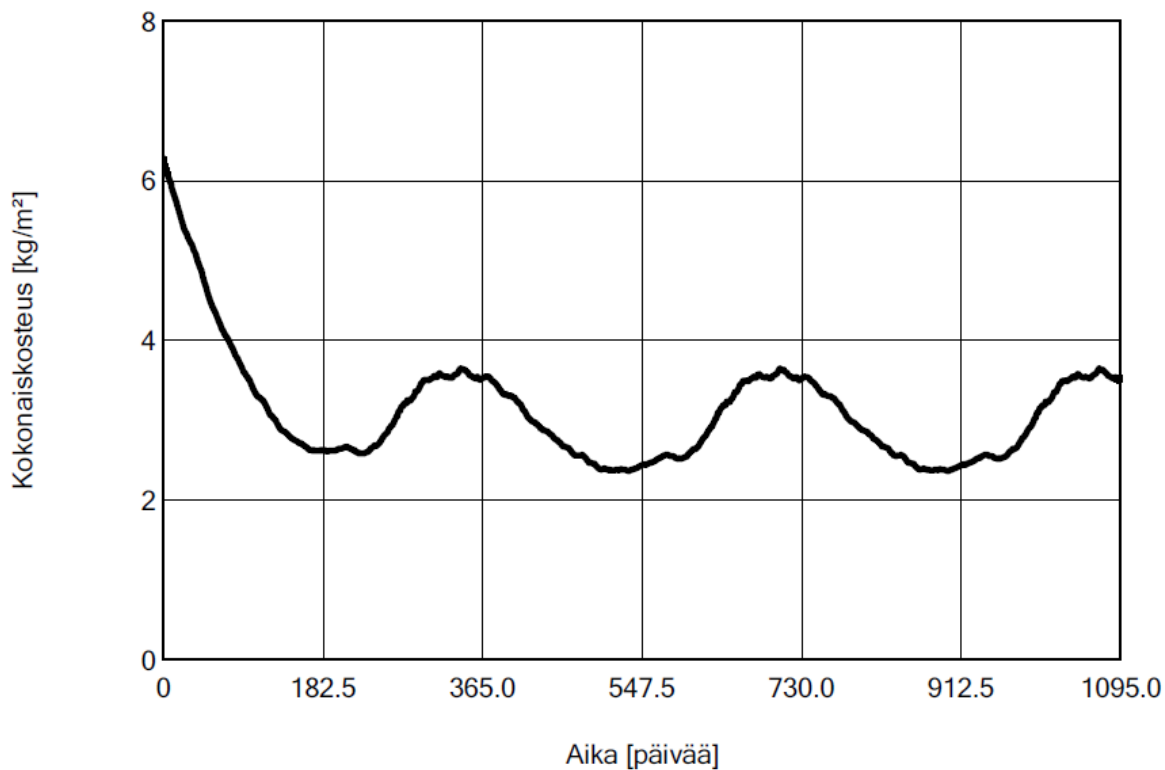
-	1	Pintamateriaali ja -käsittely (v,p)
25 mm	2	Lattialaudat (v,p)
~ 320 mm	3	Lattian pääkannattajat, hirsipalkisto ~k1000, tukeutuvat alustilan primääripalkistoon (v) + koolaus + kutterinlastu-/olki-/sahanpuru-eristys (v,p)
~ 100 mm	4	Teräsbetoni-laatta (v) tukeutuu alustilassa tiiliseiniin ja -pilareihin
~ 40 mm	5	Tuulensuojavilla (v,p)
~ 1000...1500 mm	6	Kellaritila (v)

Liite 2. Laskennassa käytetyt ympäristön kosteuden ja lämpötilan arvot

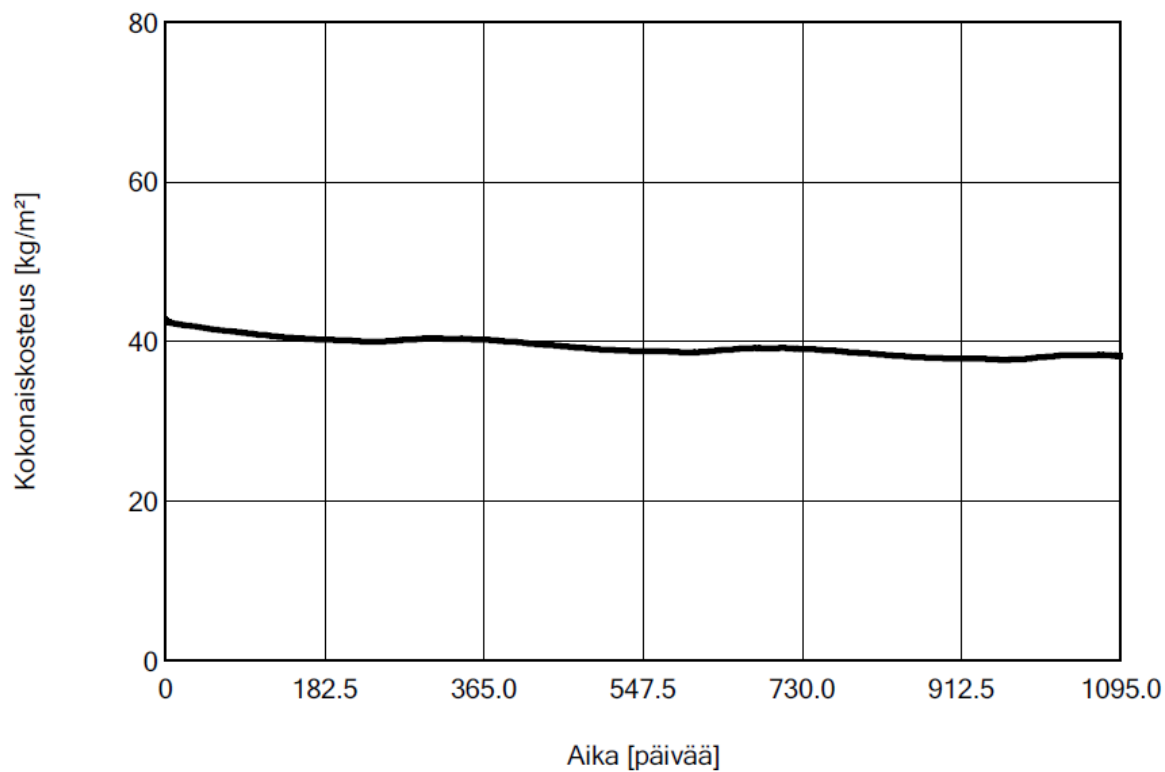


Liite 3. Rakenteiden kokonaiskosteuskuvaajat

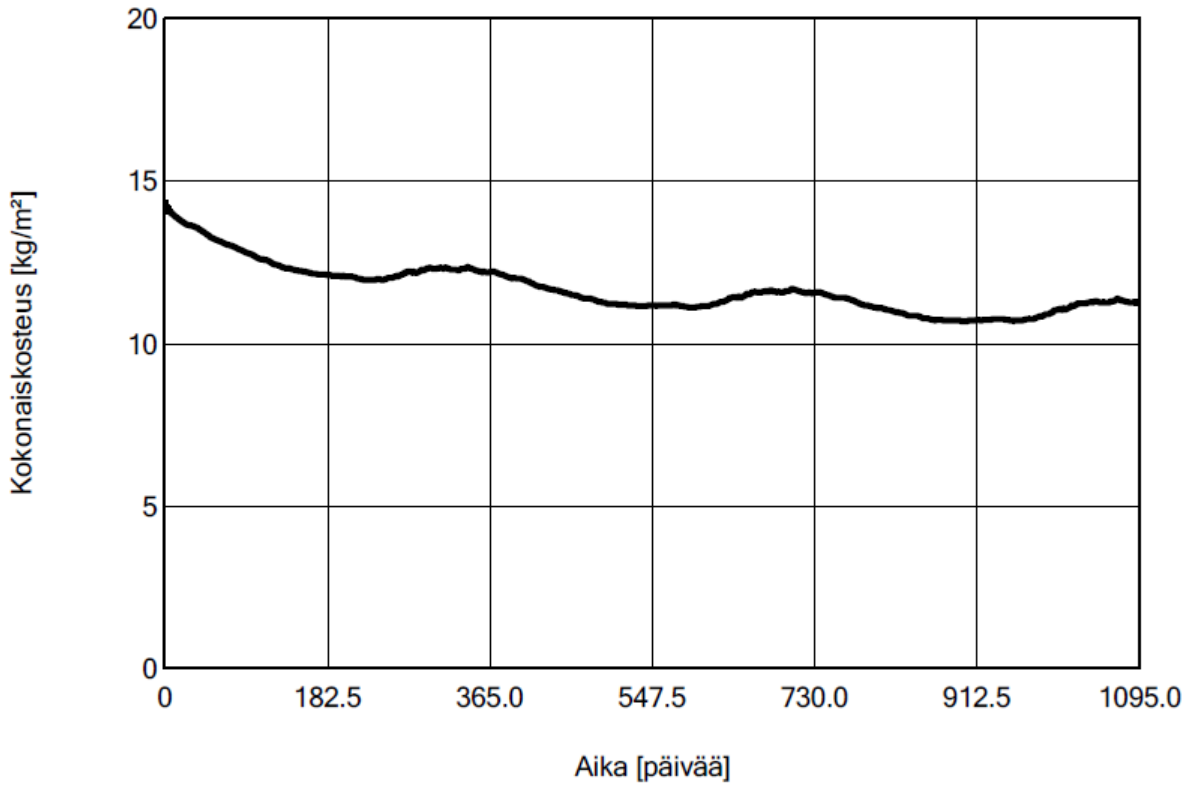
KUVAAJA 1. Alapohjatyypin 1, eristeen kohdalta



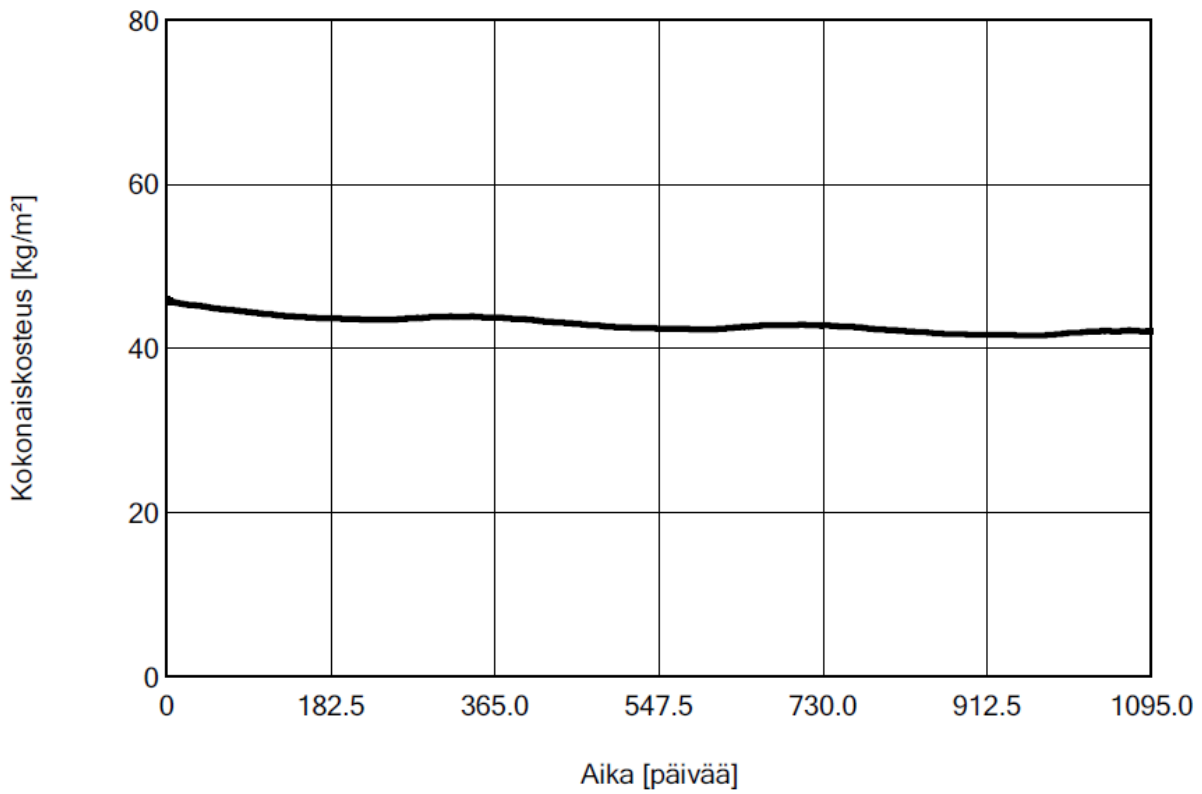
KUVAAJA 2. Alapohjatyypin 1, puurungon kohdalta.



KUVAAJA 3. Alapohjatyyppi 2, eristeen kohdalta.

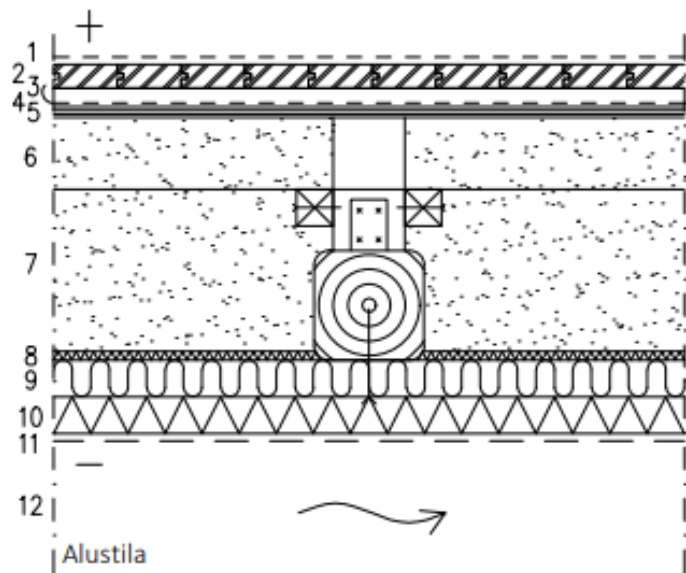


KUVAAJA 4. Alapohjatyyppi 2, puurungon kohdalta.



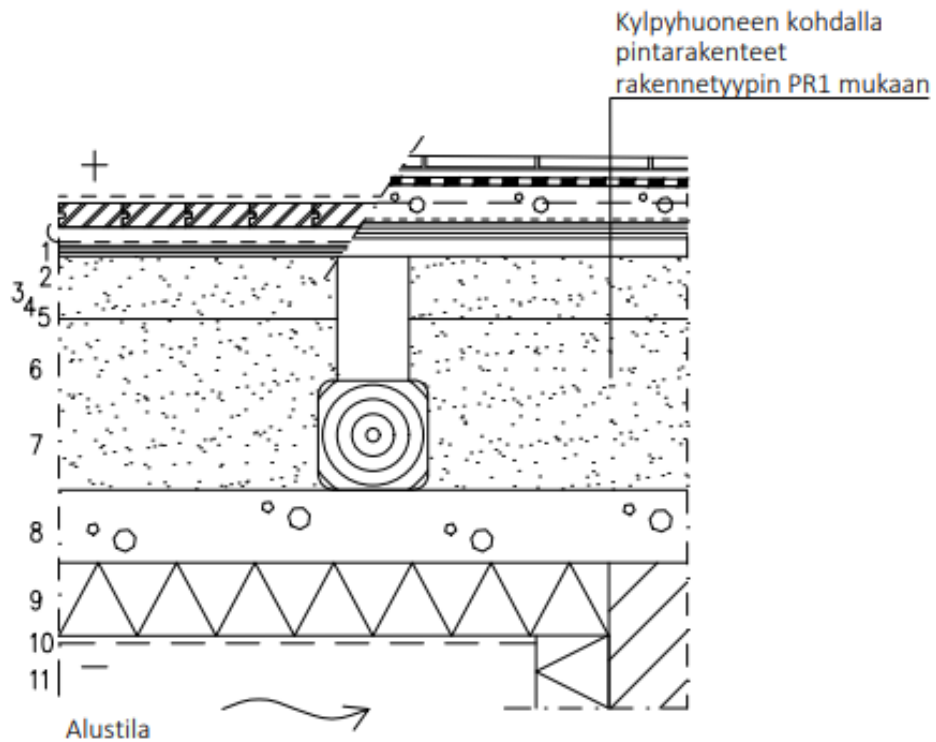
## Liite 4. Uudet rakenteet

### Alapohjatyyppi 1



-	1	Pintamateriaali ja -käsittely ark. suun. mukaan (u)
-	2	Lattialauta ark. suunn. mukaan (u)
20 mm	3	Harvalaudoitus 20x95 k400, jako alapohjan ristiinkoolatun pukkirunkojaon mukaan / sähkön asennustila (u)
-	4	Ilmansulku (u)
15 mm	5	Pontattu lattiavaneri (u)
~320 mm	6	Ristiinkoolattu, päälattiäkannattajiin tuettu puurunko 98x48 k400 (u)
	7	Vanhat lattian pääkannattajat, hirsipalkisto ~k1000 + koneellisesti puhallettu puukuitueriste, lambda ≤0,039 (u)
12 mm	8	Tuulensuojalevy, huokoinen puukuitulevy (u)
48 mm	9	Koolaus 48x48 ~k600, lisäruuvi kiinnitys palkistoon Ø6x120/liitos, puukuitueriste levynä lambda ≤0,039 (u)
50 mm	10	Tuulensuojalevy / palosuojaus (u)
-	11	Suojaverkko, kuumasinkitty rappausverkko Ø1,0 mm #19x19 mekaanisesti rst-eristekiinnikelevyillä 4 kpl/m <sup>2</sup> ristiinkoolaukseen ripustettuna (u)
~1000...1500 mm	12	Kellaritila (v)

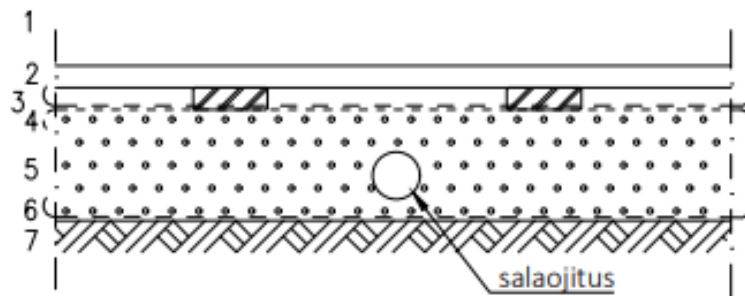
## Alapohjatyyppi 2



- |                  |    |  |
|------------------|----|--|
| -                | 1  | Pintamateriaali ja -käsittely ark. suunn. mukaan (u)   |
| -                | 2  | Lattialauta ark. suunn. mukaan (u)   |
| 20 mm            | 3  | Harvalaudoitus 20x95 k400, jako alapohjan ristiinkoolatun pukkirunkojaon mukaan / sähkön asennustila (u)   |
| -                | 4  | Ilmansulku (u)   |
| 15 mm            | 5  | Pontattu lattiavaneri (u)  |
| ~ 320 mm         | 6  | Ristiinkoolattu, päälattiakannattajiin tuettu puurunko 98x48 k400  |
| ~ 100 mm         | 7  | Nykyiset lattian pääkannattajat, hirsipalkisto ~k1000 (v) + koneellisesti puhallettu puukuitueriste, lambda ≤0,039 (u)                                   |
| 100 mm           | 8  | Teräsbetoni-laatta (v) tukeutuu alustilassa tiiliseiniin ja -pilareihin  |
| -                | 9  | Tuulensuoja pinnoitettu jäykkä mineraalivillalevy A2-s1, d0, lambda ≤0,032 W/mK (u)  |
| -                | 10 | Suojaverkko, kuumasinkitty rappausverkko Ø1,0 mm #19x19 mekaanisesti rst-eristekiinnikelevyillä 4 kpl/m <sup>2</sup> ristiinkoolaukseen ripustettuna (u) |
| ~ 1000...1500 mm | 11 | Kellaritila (v)  |

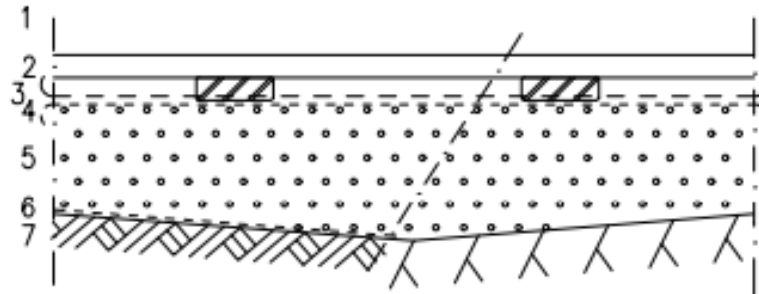
## Liite 5. Maapohjan rakenteet

Talot 1-9



~ 1000...1500 mm	1	Ryömintätila / kellari (v)
~ 25 mm	2	Kestopuurivilät arkkitehtisuunnitelmien mukaan (u)
-	3	Ilmasulku (u)
-	4	Suodatinkangas N2 (u)
~ 250 mm	5	Kapillaarikatko / kevytsoraeristys KS432, salaojitettu (u)
-	6	Suodatinkangas N2 (u)
-	7	Tiivistetty pohjamaa (v)

Talot 10-12



~ 1000...1500 mm	1	Ryömintätila / kellari
~ 25 mm	2	Kestopuuritilät arkkitehtisuunnitelmien mukaan (u)
-	3	Ilmasulku (u)
-	4	Suodatinkangas N2 (u)
~ 250 mm	5	Kapillaarikatko / kevytsoraeristys KS432 (u)
-	6	Suodatinkangas N2 maanvaraisella alueella (u)
-	7	Tiivistetty pohjamaa / kallio / vanha täyttö (v)