

# 1950-LUVUN OMAKOTITALON RAKENNUSFYSIIKKAALINEN SIMULOINTI

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jere Hämäläinen	
Työn nimi 1950-luvun omakotitalon rakennusfysikaalinen simulointi.	
Päiväys 26.11.2017	Sivumäärä/Liitteet 46/1
Ohjaaja(t) tuntiopettaja Teppo Houtsonen, lehtori Pasi Haataja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Yksityinen	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena oli 1950-luvun omakotitalon rakennusfysikaalinen simulointi. Talon kellaria ja asuinkerrosta on lisälämmöneristetty 1990-luvulla. Tavoitteena oli tutkia ja verrata alkuperäisten ja lisälämmöneristettyjen rakenteiden toimivuutta pitkällä aikavälillä.</p> <p>Tutkimukset aloitettiin tarkastelemalla talon rakennuslupa-asiakirjoja, joista selvitettiin talon alkuperäiset rakenteet. Asukkaita haastatteleamalla tiedusteltiin talon korjaushistoriaa ja sitä, kuinka alkuperäisiä rakenteita on muutettu talon historian aikana. Varmuus rakennekerroksien materiaaleille ja paksuuksille saatiin poraamalla rakenteisiin reikiä ja tutkimalla niitä silmämääräisesti, sekä mittaamalla niiden paksuudet. Rakenteiden tutkimuksista saadut lähtöarvot syötettiin rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen simulointiin kehitettyyn WUFI-ohjelmaa, jolla simuloitiin ja verrattiin alkuperäisiä sekä lisälämmöneristettyjä rakenteita. Työssä on kerrottu myös rakennusfysiikan perusteista, mikä johdattaa lukijan simulointiosioon.</p> <p>Tuloksista selvisi, mitä mahdollisia riskejä alkuperäiset ja lisälämmöneristetyt rakenteet sisältävät, sekä mitä haittoja mahdolliset riskit voivat aiheuttaa rakenteille ja talon asukkailla.</p>	
Avainsanat 1950-luvun omakotitalo, rakennusfysiikka, WUFI, kosteustekninen, lämpötekniikka, simulointi, rakenteet	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Management			
Author(s) Jere Hämäläinen			
Title of Thesis Construction Physical Simulation of a Finnish Post-War House, Built in the 1950's			
Date	26 November, 2017	Pages/Appendices	46/1
Supervisor(s) Mr Teppo Houtsonen, Lecturer and Mr Pasi Haataja, Senior Lecturer.			
Client Organisation /Partners Private Person			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to review and analyze the physical simulation of a Finnish family house built in the 1950's. The basement and living areas of the building were renovated in the late 1990's. The aim of this project was to study and compare the functionality of the original and additionally heat insulated structures in the long run.</p> <p>First, the original building permits were studied to find out how the original structures were built. The owners were interviewed to know about the past renovations and changes in the structures that were made during the time that they had be living in the house. Samples were taken from the structural wall layer by drilling. Then the samples were visually inspected by various professionals and the thickness of the samples was measured. After the preliminary tests, the samples were stress tested. In this particular study the WUFI software was used to verify and compare the samples.</p> <p>The results showed what kind of risks might occur in the original structures as well as in the structures with additional thermal insulation and how they can damages the structures and harm the inhabitants.</p>			
<p>Keywords Finnish post-war house, simulation, thermal aspects, moisture aspects, risky structure</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	KOHTEEN ESITTELY .....	7
2.1	Perustiedot.....	7
2.2	Rakennustapaselostus .....	8
2.3	Korjaushistoria.....	9
2.4	Julkisivut .....	10
2.5	Pohja- ja leikkauskuvat.....	12
3	RAKENTEIDEN LÄMPÖ- JA KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA .....	16
3.1	Lämpö .....	16
3.1.1	Lämmön siirtyminen .....	16
3.1.2	Lämmönjohtavuus ja lämmönvastukset .....	17
3.1.3	Lämmöneristävyys.....	17
3.1.4	Rakennusten energiatehokkuus .....	17
3.2	Kosteuslähteet .....	18
3.2.1	Sade .....	18
3.2.2	Pohjavesi .....	18
3.2.3	Vuodot .....	18
3.2.4	Kapilaarinen veden liike .....	18
3.2.5	Ihmisen oleskelu .....	19
3.3	Ilmankosteus.....	19
3.3.1	Absoluuttinen kosteus.....	19
3.3.2	Suhteellinen kosteus, kyllästyskosteus ja kastepiste.....	19
3.4	Kosteuden liikkuminen rakenteissa .....	20
3.4.1	Vesihöyryn diffuusio .....	20
3.4.2	Vesihöyryn konvektio.....	20
3.4.3	Kondensoituminen.....	20
3.4.4	Vesihöyryläpäisevyys .....	21
3.4.5	Hygroskooppisuus .....	21
3.5	Kriittiset kosteudet, Biologinen turmeltuma, Mikrobivauriot .....	21
4	RAKENTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALINEN SIMULOINTI.....	23
4.1	Wufi-ohjelma .....	23

4.2	Ilmasto-olosuhteet .....	23
4.3	Ulkoilmasto.....	23
4.4	Sisäilmasto .....	23
4.5	Materiaalien lähtöarvot .....	24
4.6	Ajanjakso .....	24
4.7	Talon rakenteet .....	25
4.7.1	Alkuperäinen asuinkerroksen ulkoseinä.....	25
4.7.2	Lisälämmöneristetty asuinkerroksen ulkoseinä.....	26
4.7.3	Alkuperäinen kellarin ulkoseinä .....	27
4.7.4	Lisälämmöneristetty askarteluhuone.....	28
4.7.5	Lisälämmöneristetty pesuhuone .....	29
4.8	Rakenteiden simulointi.....	30
4.8.1	Öljymaalilla maalattu alkuperäinen ulkoseinä .....	30
4.8.2	Polyakrylaattimaalilla maalattu alkuperäinen ulkoseinä.....	32
4.8.3	Sisäpuolelta lisälämmöneristetty ulkoseinä .....	35
4.8.4	Kellarikerroksen alkuperäinen ulkoseinä.....	37
4.8.5	Sisäpuolelta lisälämmöneristetty askarteluhuone .....	39
4.8.6	Sisäpuolelta lisälämmöneristetty pesuhuone.....	43
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	45
	LÄHTEET .....	46
	LIITE 1: MATERIAALIEN LÄHTÖARVOT .....	47

## 1 JOHDANTO

Vuosikymmenten aikana lisääntyneet saneeraustarpeet ja tiukkenevat energiamääräykset ovat lisänneet myös suunnittelun ja rakennusfysikaalisen simuloinnin tärkeyttä. Etenkin vanhempiin taloihin aiemmin tehdyt lisälämmöneristykset ovat usein riskirakenteita, jotka saattavat aiheuttaa asukkaille myös terveydellisiä haittoja.

Opinnäytetyön aiheena on 1950-luvun omakotitalon rakennusfysikaalinen simulointi ja siihen liittyvät mahdolliset riskit. Taloa kellaria ja asuinkerrosta on lisälämmöneristetty sisäpuolelta 1990-luvulla. Salaojaputki, polystyreeni- ja patolevy on asennettu yhdelle seinustalle samoihin aikoihin. Talon rakenteiden uusimista on pitkitetty ja niiden käyttöikä on tulossa päätökseen. Talon kaikki rakenteet ovat alkuperäisiä, pois lukien lisätyt lämmöneristeet, joiden yhteydessä sisäpinnat ovat uusiutuneet.

Monien fysikaalisten tekijöiden hallitseminen on suunnittelijan tärkein lähtökohta. Usein liian vähäinen rakennusfysikaalinen tuntemus aiheuttaa rakenteiden turmeltumisen. Nykyään markkinoille on tullut erilaisia rakenteita simuloivia ohjelmia, jotka tekevät kosteus- ja lämpötekniset laskelmat ja auttavat näin toimivien rakenteiden suunnitteluissa.

Opinnäytetyö käsittää kaksi suurempaa kokonaisuutta joista ensimmäisessä perehdytään rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan ja jälkimmäinen osa käsittelee rakennusfysikaalista simulointia.

Rakennusfysikaalisessa simuloinnissa käytetään apuna WUFI-ohjelmaa, joka on kosteuden- ja lämmönsiirronlaskentaan kehitetty ohjelma. Simuloinnissa tutkitaan 1950-luvun omakotitalon alkuperäisten rakenteiden toimivuutta ja verrataan tuloksia myöhemmin sisältäpäin lisälämmöneristettyihin rakenteisiin.

Työntilaajana toimii yksityishenkilö, joka haluaa tietää kuinka talon tämän hetkiset rakenteet toimivat rakennusfysikaalisessa mielessä, sekä mihin asioihin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota suunniteltaessa rakenteiden uusimista. Opinnäytetyön tarkoitus on vastata näihin kysymyksiin.

## 2 KOHTEEN ESITTELY

### 2.1 Perustiedot

Kohde	Puurakenteinen pientalo
Käyttö	Asuinrakennus
Rakennusvuosi	1956
Huoneistoala	Asuinkerros 77 m <sup>2</sup> , ullakkokerros 61 m <sup>2</sup>
Kerrokset	2
Sauna	On
Kellari	On
Ilmanvaihto	Painovoimainen
Lämmitys	Öljylämmitys
Tulisijat	Öljykattila ja saunan kiuas
Muuta	Kunnallisessa vesijohto- ja jätevesiverkossa.

## 2.2 Rakennustapaselostus

<b>RAKENNETAPASELOSTUS</b>	
tontille N:o ..... korttelissa N:o ..... kaup. osassa ..... ..... kadun varrella Kuopiossa rakennettavaa omakotirakennusta ..... varten	
<p><b>PERUSTUS</b></p> <p><u>Peruspohjan laatu:</u> sora, savi, kallio jne. Perustuksen tekotapa. Kivijalan tekotapa y.m.s.</p>	<p>Karikkoa, sokkeli tehdään säästöbetonista.</p>
<p><b>SEINÄT</b></p> <p><u>Ulkoseinät:</u> tiilistä, hirsistä, laudoista ja välissä oleva täyte jne.</p> <p><u>Sulkisivun pintakäsittely.</u></p> <p><u>Väliseinän laatu:</u> massa-, laatta- tai lautaseiniä ja huoneistojen välisten seinien tekotapa jne.</p> <p><u>Savupiiput:</u> hormien rakennusaine ja tekotapa jne.</p>	<p>Piirurunkoinen lautarakenne, 4" runkolla, sisäpuolelle halltex levyt ja viholaudoitus, ulkopuolelle makaava vuorilauta. Täytteenä sahajauho.</p> <p>Makaava vuorilauta maalataan öljyvärillä,</p> <p>Piirurunkoinen lautarakenne, 4" runkolla raaka laudoitus molemmin puolin runkoa.</p> <p>Poltetuista savitiilistä rakennusjärjestyksen y.m. määräysten mukaan.</p>

1000. 8. 55.

Kuva 1. Rakennustapaselostus sivu 1 (Koponen 1955)



<p><b>VÄLIPOHJAT</b>  Selvitys palkeista, täytteestä, aluslaudoituksesta, permannoista y.m.</p>	<p><b>Kellarin laipio teräsbetoni piirustuksen mukaan. Muut vasaotukset 3" 9" vasaista kuudenkymmenen sm. välein. Permannot ponttilaudasta, paitsi kuivaus ullakolla sahalaudasta. Laipiot sahalaudasta, täytteenä kutterin puru ja sahajauhosekoitus.</b></p>
<p><b>VESIKATTO</b>  Selvitys kattamisaineesta ja alusrakenteesta.</p>	<p><b>Peltikatto harvalla ruodelaudoituksella kattotuolit 60 sm välein 2,5" 5".</b></p>
<p><b>MUITA SELVITYKSIÄ</b>  jotka osoittavat, että rakennusjärjestyksen säännöt tulevat varteenotetuiksi.</p>	

Kuva 2. Rakennustapaselostus sivu 2 (Koponen 1955)

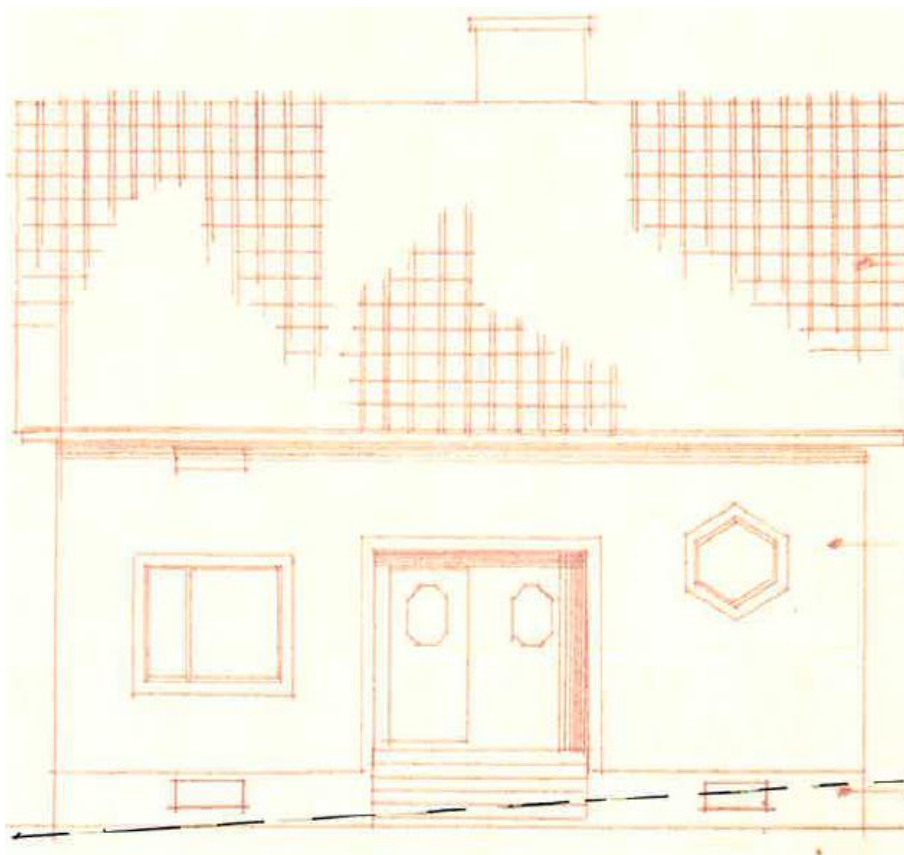
### 2.3 Korjaushistoria

Taloa on lisälämmöneristetty vuosien saatossa. Näillä toimilla on haluttu saavuttaa lisää asumismukavuutta, sekä säästää lämmitysenergian kustannuksissa.

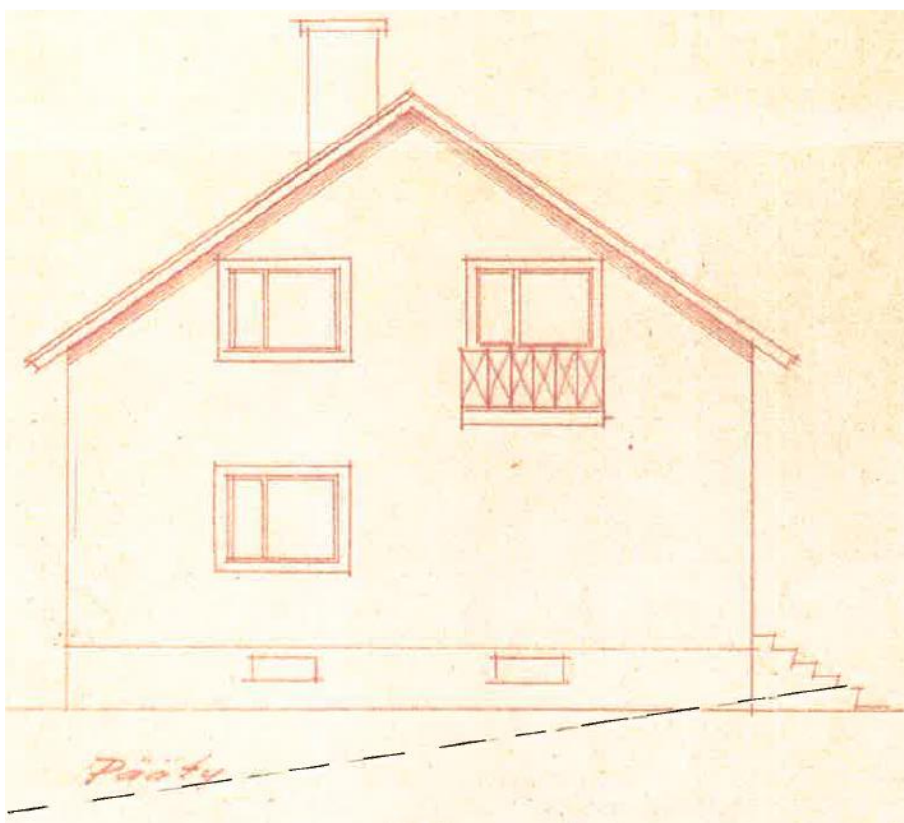
Tiedossa olevat korjaukset ja muutokset:

1990-luvulla	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salaojituksen lisäys yhdelle seinustalle.</li> <li>Asuinkerroksen lisälämmöneristys</li> <li>Kellarikerroksen askarteluhuoneen lisälämmöneristys.</li> <li>Kellarikerroksen pukuhuoneen lisälämmöneristys</li> <li>Kellarikerroksen pesuhuoneen lisälämmöneristys</li> <li>Yläpohjan lisälämmöneristys</li> </ul>
--------------	--

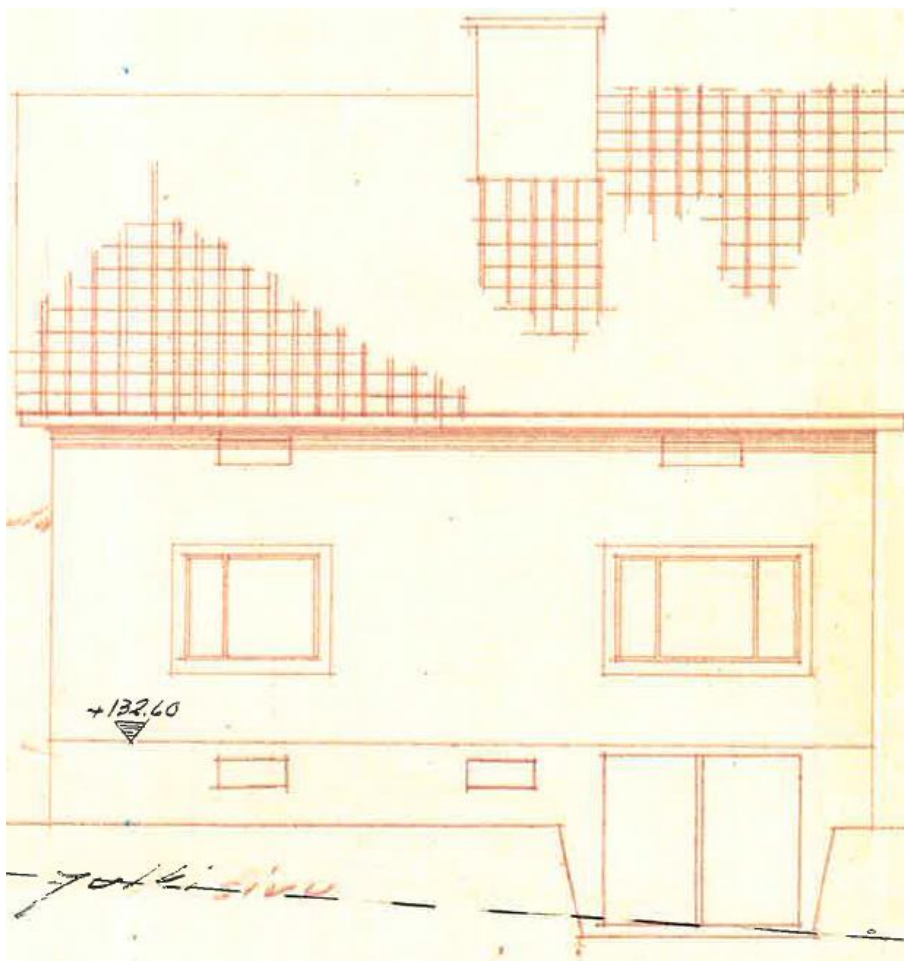
## 2.4 Julkisivut



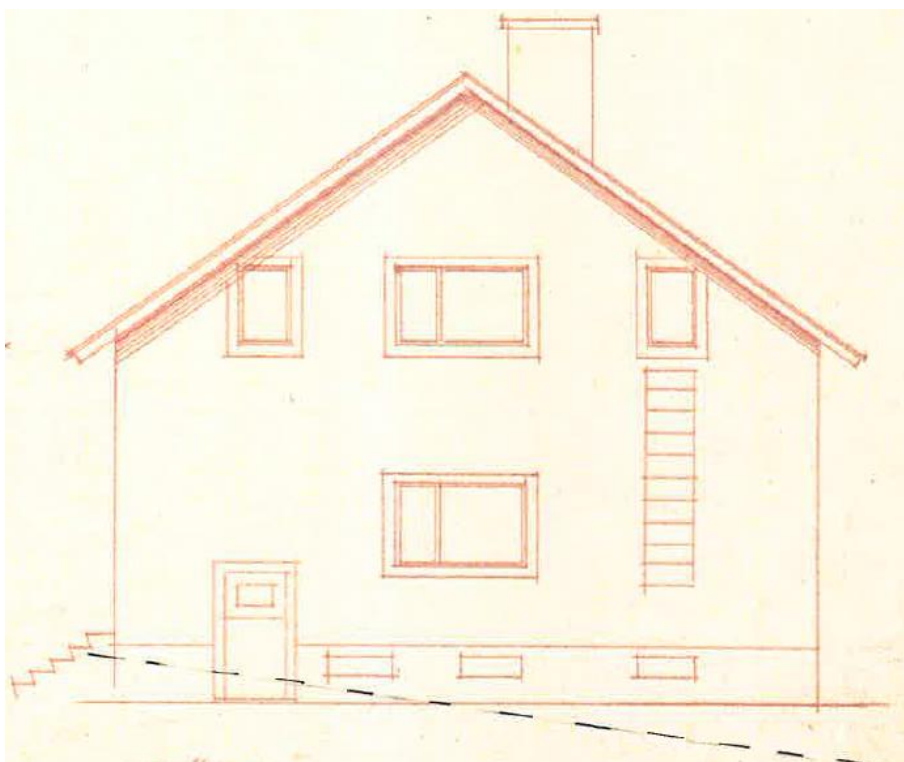
Kuva 3. Talon julkisivukuva itään (Koponen 1955)



Kuva 4. Talon julkisivukuva etelään (Koponen 1955)

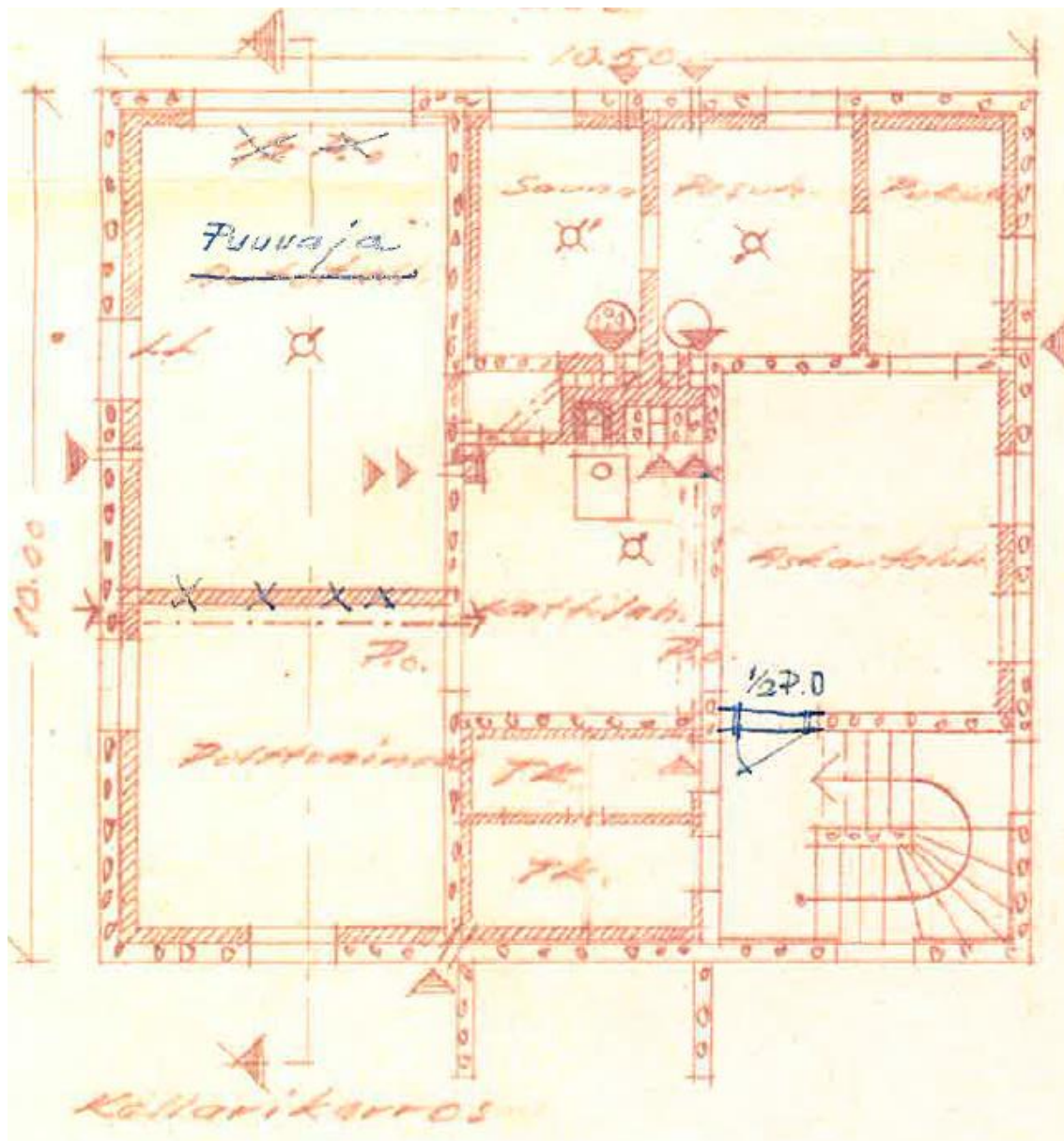


Kuva 5. Talon julkisivukuva länteen (Koponen 1955)



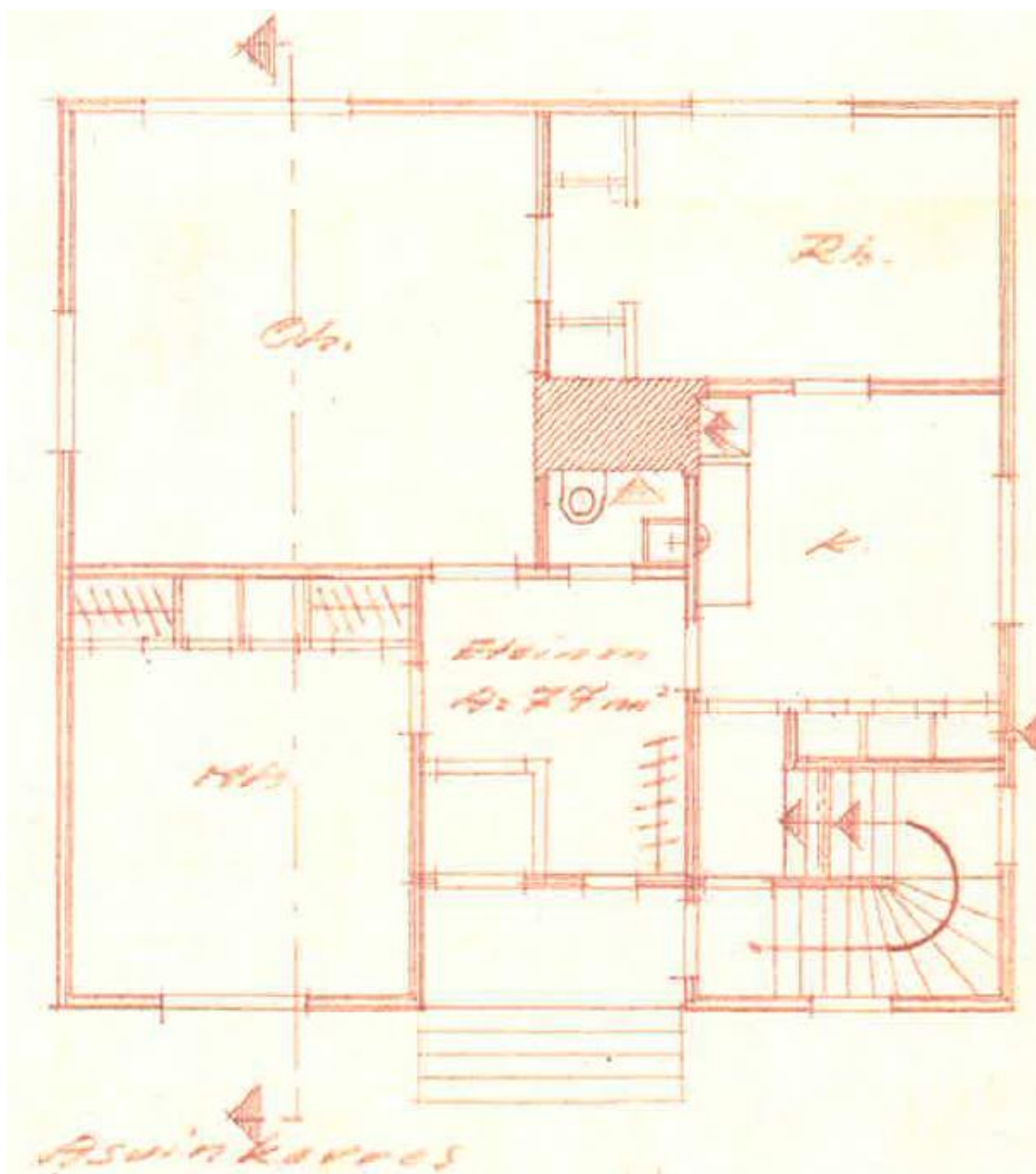
Kuva 6. Talon julkisivukuva pohjoiseen (Koponen 1955)

## 2.5 Pohja- ja leikkauskuvat



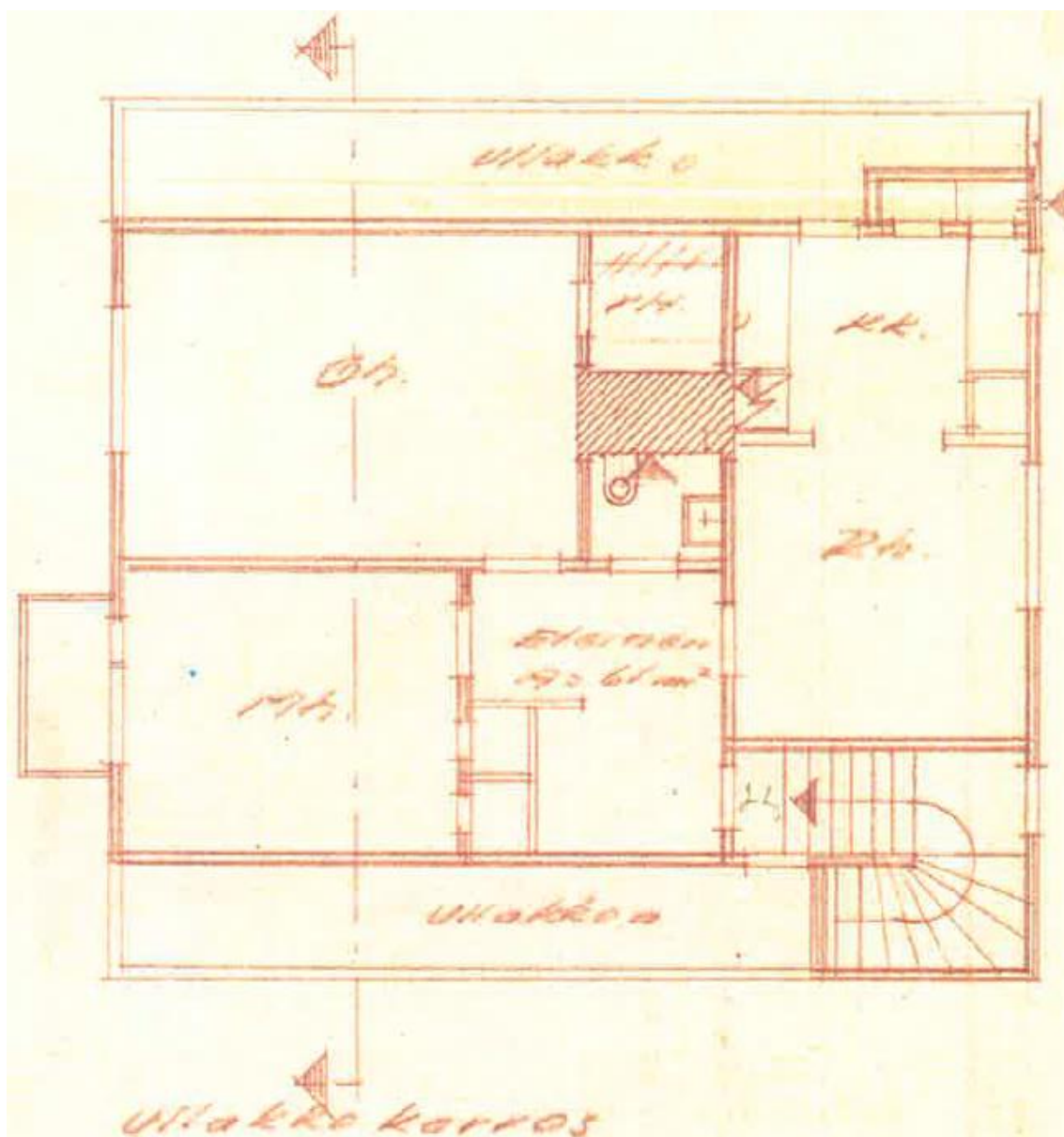
Kuva 7. Talon kellarikerroksen pohjapiirros (Koponen 1955)

Kellarikerroksessa (kuva 7) sijaitsee piirustukseen merkityllä "puuvaja" tilassa nykyään autotalli. Lisäksi kuvassa alun perin samaan tilaan suunniteltu väliseinä on jätetty tekemättä. Alkuaikoina talon lämmitys hoidettiin puukattilalla, mikä sijaitsi piirroksen keskellä. Viimeiset vuosikymmenet lämmitysmuotona on ollut öljylämmitys. Korvausilmaventtiilit sijaitsevat ulkoseinän ulkopuolella olevien mustien nuolien kohdalla. Talon keskellä, tiellä muuratussa piipussa on useita poistoilma ja savuhormeja eri tiloista. Puolen tunnin palo-ovi on merkitty tehtäväksi käytävän ja askarteluhuoneen rajalle. Piirroksesta löytyvää askarteluhuoneen ja pesuhuoneen ulkoseinän lämpö- ja kosteuskäyttämistä tarkastellaan opinnäytetyön simulointi osuudessa.



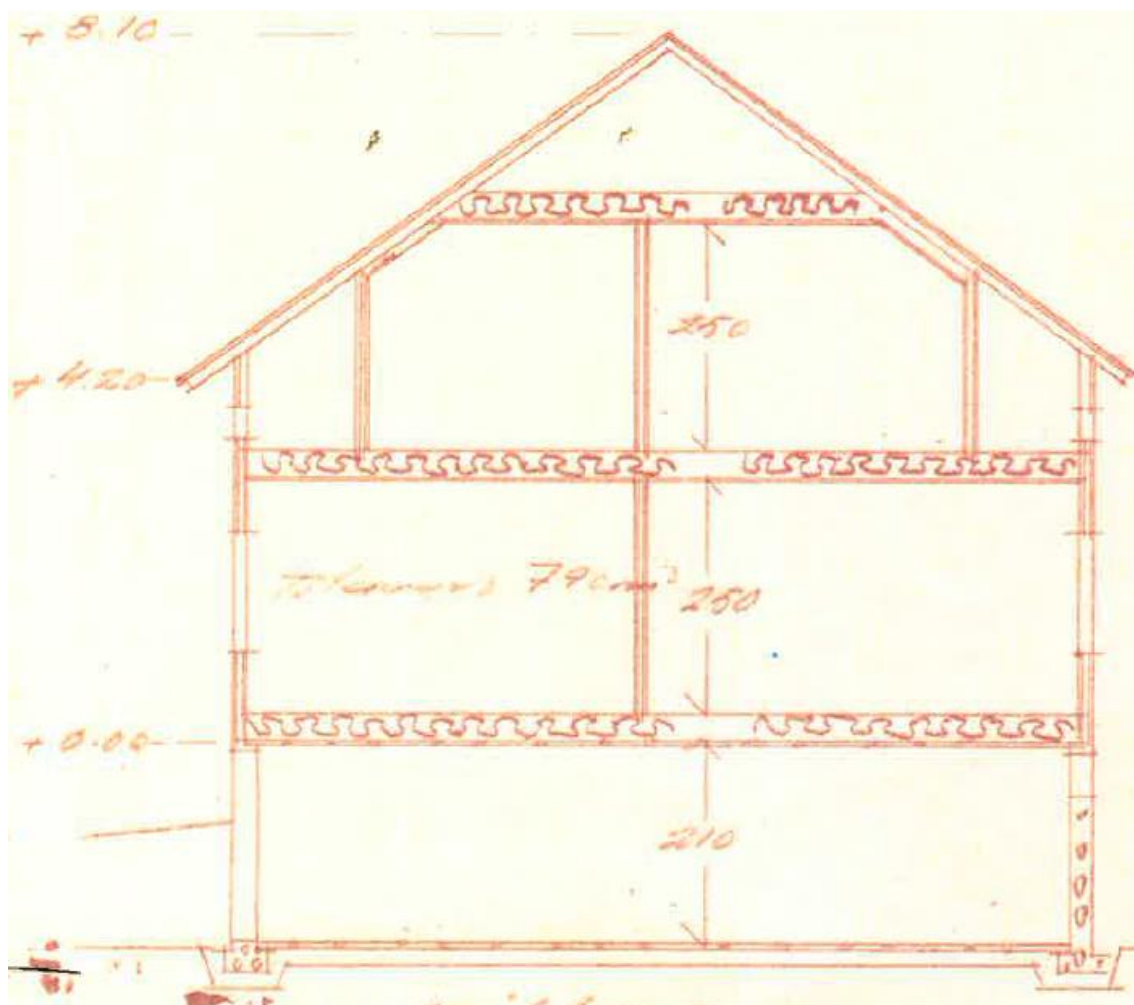
Kuva 8. Talon asuinkerroksen pohjapiirros (Koponen 1955)

Asuinkerroksen (kuva 8) pinta-ala on 77 m<sup>2</sup> ja siitä löytyvät olohuone, ruokailuhuone, makuuhuone, keittiö, eteinen sekä wc. Koko kerros on lisälämmöneristetty 90-luvulla sisäpuolelta mineraalivillalla ja höyrynsulkumuovilla. Tämän kerroksen alkuperäistä ja lisälämmöneristettyä ulkoseinärakennetta tarkastellaan myöhemmin simulointi osuudessa. Asuin- ja ullakkokerroksessa ei korvausilmaventtiileitä ole. Ainoastaan molempien kerrosten yhteen komerotilaan on johdettu ulkoa kapea putki, jolla on haluttu komerotilan olevan huonetilaa viileämpi. Putken kautta tuleva ilmavirta on myöhemmin tukittu.



Kuva 9. Talon ullakkokerroksen pohjapiirros (Koponen 1955)

Talon ullakkokerroksen (kuva 9) asuinpinta-ala on 61m<sup>2</sup>. Se pitää sisällään olohuoneen, makuuhuoneen, eteisen, ruokailuhuoneen, keittokomeron, vaatehuoneen, parvekkeen ja wc: n. Talon pitkällä sivulla sijaitsevat molemmiin puolin ullakotilat, joita käytetään varastoina.



Kuva 10. Talon rakenneleikkaus (Koponen 1955)

### 3 RAKENTEIDEN LÄMPÖ- JA KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA

Rakenteiden toiminnan kannalta, lämpö ja kosteus ovat tärkeitä fysikaalisia tekijöitä. Muita tekijöitä ovat muun muassa ilmanpaine ja ilman liike. Näitä on tutkittava aina samanaikaisesti, koska jos joku näistä tekijöistä muuttuu, se on aina yhteydessä myös muihin tekijöihin. Tämä on tärkeää muistaa, kun suunnittelee toimivia rakenteita. Tässä osiossa keskitytään lämmön ja kosteuden rakennusfysikaalisiin ilmiöihin.

#### 3.1 Lämpö

Rakennusten lämmöstä puhuttaessa tarkoitetaan yleensä ihmisten hyvinvoinnin ja rakennusten lämmittämisen kannalta tarvittavaa lämpöä ja sen tuottamista. Lämpö on viime aikoina liitetty myös kasvihuoneilmiöihin ja ilmaston lämpenemiseen. Tämä on aikaan saanut sen, että nykyään pyritään tekemään mahdollisimman energiatehokkaita taloja, jotka vähentäisivät energiankulutusta. Samalla pyritään hyödyntämään myös uusiutuvia lämmönlähteitä. (Siikanen 2014, 40.)

##### 3.1.1 Lämmön siirtyminen

Lämpö voi siirtyä tilassa tai rakenteessa johtumalla, konvektiolla tai säteilemällä. Johtumisessa tapahtuu lämmön virtaamista, mikä aiheutuu molekyylien liike-energian siirtyessä molekyylistä toiseen. Lämpötilaero pyrkii aina tasaantumaan ja lämpövirran suunta on lämpimämmästä kylmempään päin. Johtumista tapahtuu nesteissä ja kiinteissä aineissa. Esimerkkinä vesikiertoinen patteri, minkä pinta lämpenee huonetilaan nähden, kun sen sisäpuolella olevan veden lämpötila on korkeampi kuin huoneen lämpötila.

Konvektiolla tarkoitetaan lämmön siirtymistä virtaavan aineen mukana. Ilmiö esiintyy esimerkiksi, kun lämmitettyyn rakennukseen pääsee oven tai ikkunan raosta kylmää ilmaa. Tätä kutsutaan puhekielessä vedoksi. Konvektio voi olla myös pakotettua, missä neste tai kaasu saadaan liikkeelle pumpun tai puhaltimen avulla. Tätä käytetään hyväksi esimerkiksi öljykattiloissa ja kaukolämmityksessä, jossa kuumaa vettä pumpataan vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään.

Säteilyssä lämpö siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen avulla. Säteilylämpöä esiintyy rakennustekniikassa auringon lyhytaaltoisena säteilynä, sekä rakenteiden pitkäaaltoisena säteilynä. Lämpösäteilyn siirtymiseen ei tarvita väliainetta, joten siksi esimerkiksi aurinko pystyy lämmittämään maapalloa. Kappaleet imevät itseensä lämpöä riippuen niiden sävyistä. Kirkkaat ja vaaleat sävyt heijastavat säteilyä, kun taas tummat sävyt imevät lämpösäteitä itseensä. (Siikanen 2014, 40).



### 3.1.2 Lämmönjohtavuus ja lämmönvastukset

Lämmönjohtavuus ( $\lambda$ ) ilmoittaa kuinka hyvin materiaali johtaa lämpöä. Hyvin lämpöä johtavilla materiaaleilla lämmönjohtavuusluku on suuri, kun taas heikosti lämpöä johtavilla luku on pieni. Yksikkönä käytetään watti / metri \* kelviniä kohti eli W/mK. (Siikanen 2014, 41.)

Lämmönvastus R (m<sup>2</sup>K/W) tarkoittaa jatkuvassa tasapainotilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen tarvitsemaa lämpötilaeroa aiheuttamaan lämpövirran tiheys 1 W/m<sup>2</sup> pintojen välillä. Tasalaatuisen materiaalin lämmönvastus saadaan selville jakamalla lämmönjohtavuudella sen paksuus.  $R=d/\lambda$  (m<sup>2</sup>K/W), missä  $\lambda$  on materiaalin lämmönjohtavuus ja d materiaalin paksuus metreinä. (Siikanen 2014, 46–47.)

### 3.1.3 Lämmöneristävyys

Lämmöneriste on rakennusaine, jota käytetään taloissa tyypillisesti ulkoilmaan tai kylmää tilaa vasten rajoittuvissa rakenteissa. Silloin kun halutaan säilyttää jokin lämpötila ja estää lämmön karkaaminen ympäristöön. Lämmöneristyksestä puhuttaessa tarkoitetaan yhtä tai useammasta lämmöneristekerroksesta muodostuvaa rakennetta.

Tuulensuoja on yleensä jäykkä rakennuslevy, jonka tehtävä on estää ulkopuolinen haitallinen ilmavirran pääsy syvemmälle rakenteisiin. Jos tuuli pääsee syvälle lämmöneristeisiin, menettävät ne silloin lämmöneristyskykyään. Myös tuulensuojalevy voi toimia lämmöneristeenä.

Ilmansulku on rakennekerros, jota käytetään estääkseen haitallinen ilmavirtaus puolelta toiselle rakennusosan läpi. Ilmansulku ei estä vesihöyryn läpäisyä. Haluttaessa estää sisäpuolisen vesihöyryn pääseminen rakenteisiin, on käytettävä höyrynsulku.

Lämmönläpäisykerroin U [W/(m<sup>2</sup>K)] tarkoittaa jatkuvuustilassa rakennusosan läpäisevää lämpövirrantiheyttä, kun lämpötilaero rakenteen eripuolien kesken on yksikön suuruinen. Lämmönläpäisykerroimen U-arvo saadaan kokonaislämmönvastuksen R<sub>T</sub> käänteisluvusta. Kaava  $U= 1 / R_T$  (Siikanen 2014, 50–51.)

### 3.1.4 Rakennusten energiatehokkuus

Suomen rakentamismääräyskokoelma määrittää ohjeet ja vaatimukset rakennuksille liittyen maankäyttö ja rakennuslakiin. Rakentamismääräyskokoelman D3 osio käsittelee rakennusten energiatehokkuutta, jossa on määritelty vaatimukset esimerkiksi rakennuksen kokonaisenergiakulutukselle, ilmapitävyydelle, lämmönläpäisykerroimille sekä lämpöhäviöille. RakMK:n lämmöneristysmääräykset tulivat ensi kertaa voimaan vuonna 1976.

## 3.2 Kosteuslähteet

Rakennukset altistuvat monille eri kosteuslähteille. Rakenteissa oleva kosteus ei aina tarkoita, että se aiheuttaisi vaurioita. Vauriot johtuvat yleensä vääränlaisesta suunnittelusta, toteutuksesta, huollosta tai sen laiminlyönnistä. Myös talvella kosteuden jäätyminen voi johtaa rakenteiden huomattaviin vaurioihin. Kosteuden jatkuvuus ja pitkittyvä kuivuminen saattavat aiheuttaa kosteusvaurioita. Hetkellisesti kostea ja sen jälkeen kuivuva rakenne ei välttämättä aiheuta mikrobien syntyä. Rakennuksissa ja rakenteissa oleva kosteus esiintyy näkyvänä vetenä, näkymättömänä vesihöyrynä tai rakenteissa olevana rakennekosteutena. (Siikanen 2014, 65–66.)

### 3.2.1 Sade

Sadetta voi esiintyä vetenä, lumena tai räntänä ja se on näkyvin rakenteita rasittava kosteuslähde. Sateen synnyttämä vedenpaine kohdistuu enimmäkseen talon vaaka- ja vinopintoihin, sekä räystäätömissä taloissa pystysuoriin seinäpintoihin. Suunniteltaessa seinärakenteita, on tärkeää ottaa huomioon myös viistosade, johon liittyy aina voimakas tuuli. Viistosadetta voidaan pitää suurimpana tekijänä rakennuksen vaippaan kohdistuvien rasitusten ja kosteusvaurioiden aiheuttajana. Voimakkaan tuulen vaikutuksesta vesi ja lumi voivat nousta myös ylöspäin talon julkisivua pitkin. Seinän alaosaa ja kellareita suunniteltaessa on huomioitava myös, että sade aiheuttaa rasitteita roiske- ja vajoveden muodossa. (Siikanen 2014, 66–67.)

### 3.2.2 Pohjavesi

Vettä joka on pysyvästi maa- ja kallioperässä, kutsutaan pohjavedeksi. Usein pohjavesi on yhteyksissä pintavesiin, joita ovat esimerkiksi joet ja järvet. Pintaveden imeytyessä maahan, se muuttuu pohjavedeksi. Pohjaveden pinnan korkeus riippuu alueen sijainnista, vuotuisista sademääristä sekä viemäröinneistä yms. Rakennuksen perustussyvyyttä suunniteltaessa tämä on tärkeää ottaa huomioon. Perustusten tulisi olla aina korkeammalla, kun pohjaveden yläpinta. (Siikanen 2014, 67.)

### 3.2.3 Vuodot

Vuodot aiheutuvat lähes aina puutteellisesta suunnittelusta tai virheellisestä toteutuksesta. Omakotitaloissa vuodot voivat ilmentyä kattojen, parvekkeiden ja märkätilojen vedeneristyksissä, sekä niiden liittyessä muihin rakenteisiin. Myös käyttövesi-, lämmitys- ja viemäriputkistot aiheuttavat vuotoja. Vanhoissa taloissa vuodot voivat johtua myös huoltotöiden laiminlyönnistä tai materiaalin ikääntymisestä. Tällöin syy ei ole suunnittelussa, eikä toteutuksessa.

### 3.2.4 Kapilaarinen veden liike

Kapilaarisesta vedenliikkeestä puhuttaessa tarkoitetaan nesteen siirtymistä huokoisessa aineessa paikallisten huokoisalipaineen eroista johtuen. Kapilaarivoimat pyrkivät maaperässä nostamaan vettä korkeammalle, kuin missä pohjaveden pinta on. Rakenteen ja sen eri ainesosien pyrkimys tasapaino-

kosteuteen aiheuttaa kapilaarista vedenliikettä. Huokoiset materiaalit kuten betoni, tiili ja puu kuljettavat vettä huokosissaan ja saavat aikaan ns. kapilaarisen imun. Rakenteissa kapilaarinen imu kuljettaa vettä muihin huokosiin materiaaleihin. Kapilaarisen veden liike voidaan estää materiaalien välillä esimerkiksi kapilaarisuuden katkaisevalla bitumilla, muovilla, puun päätysulkemisella tai riittävän tiiviillä pintakerroksella. (Siikanen 2014, 68.)

### 3.2.5 Ihmisen oleskelu

Ihminen ja ihmisten oleskelusta aiheuttaa rakennuksen sisäilmaan lisäkosteutta. Tällaisia toimia ovat peseytyminen, ruuan laitto, huonekasvit, sekä vaatteiden pesu ja kuivaus. Nämä aiheuttavat vesihöyrypitoisuuseron ulko- ja sisäilman välille. Tämä otetaan huomioon suunnittelussa käyttämällä sisäilman kosteuslisää, joka on talvella asuinrakennuksissa  $5 \text{ g/m}^3$ . Kesällä kosteuslisä on pienempi, koska ihmiset ovat enemmän poissa sisätiloista ja ikkunoita sekä ovia pidetään enemmän auki. (RIL 255-1-2014, 70)

## 3.3 Ilmankosteus

Rakenteet jotka sijaitsevat vedenpinnan yläpuolella ovat aina kosketuksissa ilman kanssa. Näitä ovat rakenteiden huokosissa oleva ilma, sekä ulko- ja sisäilma. Ilman kosteuspitoisuus on ehdottomasti huomioitava suunniteltaessa kosteusteknisesti toimivia rakenteita. Kosteaa ilmaa muodostuu kahdesta kaasusta jotka ovat kuiva ilma ja vesihöyryn seos. Vesihöyry on kevyempää kuin kuiva ilma. Mitä enemmän vesihöyryä ilma sisältää, sen kevyempää se on. (Bjlrkholtz 1997, 43.)

### 3.3.1 Absoluuttinen kosteus

Absoluuttisella kosteudella tarkoitetaan kuinka monta grammaa vesihöyryä esimerkiksi ilmakuutiometri pitää sisällään. Yksikkönä käytetään  $\text{g/m}^3$ . Mitä kylmempää ilma on, sen vähemmän se kykenee sisältämään vesihöyryä. (Siikanen 2014, 68.)

### 3.3.2 Suhteellinen kosteus, kyllästyskosteus ja kastepiste

Ilman suhteellisesta kosteudesta puhuttaessa käytetään usein suuretta (RH). Se ilmoittaa prosentteina tietynlämpöisen ilman sisältämän vesihöyryn määrän, sen enimmäismäärästä (g). Suhteellinen kosteus ei voi olla enempää kuin 100 %.

Ilman sisältämän vesihöyryn saavuttaessa enimmäismääränsä, puhutaan kyllästyskosteudesta. Enimmäismäärä riippuu ilman lämpötilasta. Mitä suurempi lämpötila, sen suurempi on kyllästyskosteus. Mitään tiettyä matemaattista kaavaa näiden välillä ei ole. Lämpötilaa missä ilmassa oleva vesihöyry kondensoituu ja muuttuu vedeksi, kutsutaan kastepisteeksi (Siikanen 2014, 69–70.)

### 3.4 Kosteuden liikkuminen rakenteissa

#### 3.4.1 Vesihöyryn diffuusio

Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan vesihöyrymolekyylien liikkumista huokoisessa aineessa. Suurin osa rakennusmateriaaleista läpäisee vesihöyryä. Diffuusio pyrkii aina tasaamaan vesihöyryn paine-erot siirtyessään alhaisempaa painetta kohti. Yleensä suunta on lämpimämmästä kylmempään. Suurin vaikuttava tekijä on kuitenkin ilman kosteuserot eri tilojen välillä. Kosteus pyrkii tällöin diffusoitumaan tilojen välillä olevan rakenteen lävitse suuntaan, missä on alhaisempi kosteus.

Rakennuksissa tämä korostuu etenkin talviaikaan, kun sisäilmassa oleva vesihöyryn määrä on paljon suurempi kuin ulkoilmassa. Tällöin vesihöyry pyrkii kulkeutumaan rakenteiden läpi ulkoilmaan. Jotta voitaisiin estää haitallinen ja liiallinen vesihöyryn kulkeutuminen rakenteisiin, tulisi lämpimän sisätilan ja lämmöneristeen välissä olla vesihöyrytiivis kerros. Tärkeää on pitää huolta myös, että vesihöyryn vastus rakenteessa pienenee kylmempään suuntaan mentäessä. Kosteusvauriot syntyvät yleensä, jos vesihöyryä siirtyy rakenteeseen enemmän, kuin siitä kerkeää poistumaan.

(Siikanen 2014, 70–71).

#### 3.4.2 Vesihöyryn konvektio

Vesihöyryn konvektiolla tarkoitetaan esimerkiksi ilmassa olevan vesihöyryn liikkumista kokonaispaine-eroista johtuen. Rakennuksissa konvektio on rakenteissa olevien rakojen tai erittäin hyvin ilmaa läpäisevien ja huokoisten materiaalien lävitse esiintyvää ilman virtausta. Konvektiota voi esiintyä myös rakennusosien sisällä. Ilman tiheyserojen aikaan saamana sisäisenä ja luonnollisena konvektiona. Rakenteissa olevien rakojen tai reikien kohdista tapahtuvaa ilmavirtausta kutsutaan pakotetuksi konvektioksi.

Talviaikaan ilmapaine-erojen ollessa suurempi, rakenteiden tiiveyden tärkeys korostuu. Reikien, halkeaminen tai rakojen kautta kulkeutuvan ilmavirran mukana siirtyvän vesihöyryn määrä, voi olla moninkertainen verrattuna diffuusion (Siikanen 2014, 71-72).

#### 3.4.3 Kondensoituminen

Kondensoituminen on ilmiö, missä ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy vedeksi, kun ilman suhteellinen kosteus on 100%. Tiivistymistä tapahtuu joko rakenteen pinnassa tai sen sisällä. Rakenteissa tiivistyminen muodostuu kovalle ja kylmemmälle pinnalle, kuin mitä ympäröivän ilman lämpötila on. Silloin kun ilman kyllästymiskosteus ylittyy. Yleisemmin vesihöyryn tiivistymistä voidaan havaita esimerkiksi ikkunalasissa, kun kylmä lasi rajautuu lämpimään huonetilaan. Muita aiheuttajia voivat olla mm. höyrynsulun puutteellisuus, siinä olevat reiät ja rakenteiden kylmäsillat. (Siikanen 2014, 72.)

### 3.4.4 Vesihöyryläpäisevyys

Vesihöyryläpäisevyys kertoo aineen ominaisuudesta päästä lävitseen vesihöyryä. Kosteuden muuttuessa myös vesihöyryläpäisevyys muuttuu, mutta yleensä ns. diffuusiolaskelmissa vesihöyryläpäisevyyttä pidetään vakiona. Vesihöyryläpäisevyys on ominaisuus tietyn paksuiselle ainekerrokselle. (Siikanen 2014, 72–73.)

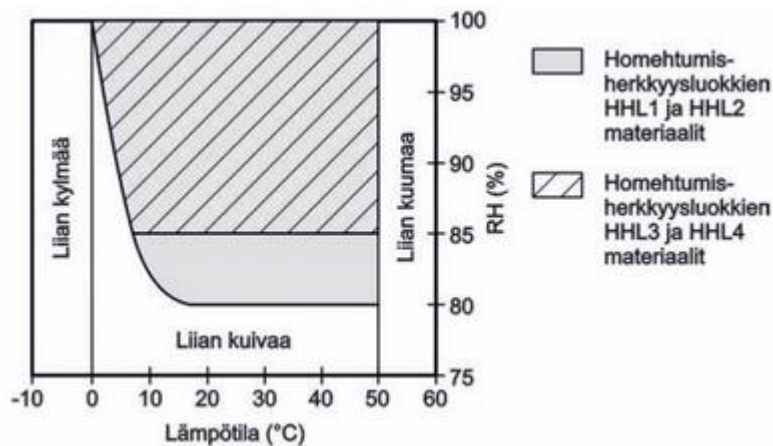
### 3.4.5 Hygroσκοoppisuus

Hygroσκοoppisuudella tarkoitetaan huokoisen aineen kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta ilmaan. Kun ympäristön ja aineen huokosissa oleva suhteellinen kosteus on sama, käytetään tilanteesta nimitystä hygroσκοoppinen tasapainokosteus. Tämän suuruus vaihtelee eri aineilla. Puupohjasilla aineilla on korkea kyky sitoa kosteutta, kun taas esimerkiksi mineraalivilla se on lähes olematon. Lisäksi siihen vaikuttavat myös lämpötila ja se, että onko kyseessä kuivuminen (desorptio) vai kostuminen (absorptio). Esimerkkinä lasivilla joka kykenee sitomaan kosteutta itseensä noin  $0,3 \text{ kg/m}^3$  RH:n ollessa 75 %, kun taas kuusipuulla kyky on noin  $75 \text{ kg/m}^3$ . Kova kuitulevy pystyy sitomaan kosteutta peräti  $140 \text{ kg/m}^3$  suhteellisen kosteuden ollessa sama. (Björkholtz 1997, 59–63).

### 3.5 Kriittiset kosteudet, Biologinen turmeltuma, Mikrobivauriot

Kriittinen kosteus tarkoittaa jonkin rakennusaineen suhteellisen kosteuden ylärajaa, jossa se kestää tarvittaessa pitempiäkin aikoja. Kriittisen kosteuden ylärajaa ilmaistaan suhteellisena kosteutena  $RH_{kr}$ . Rakenteen toimivuuden kannalta, tulee aineen suhteellisen kosteuden  $RH < RH_{kr}$ . Kriittiset kosteudet vaihteleva hieman eri aineilla. Esimerkiksi hiiliteräs joka ruostuu, jos ympäristön RH on suurempi kuin 60 %. Suomessa ulkoilman RH on kuitenkin suurimman osan ajasta yli 60 % ja tämä johtaa siihen, että suojaamaton teräs ruostuu ulkona, vaikka se olisi suojattu sateelta. (Björkholtz 1997, 60).

Teknologian tutkimuskeskus (VTT) ja Tampereen teknillinen yliopisto (TTY) ovat kehittäneet yhdessä Suomalaisen homemallin jonka avulla voidaan tarkastella homeen kasvua. Se pohjautuu aiemmin puumateriaaleille kehitettyyn homemalliin. Suomalaisen homemallin avulla homeen kasvua pystytään arvioimaan eri materiaalien pinnoilla erilaisissa kosteus- ja lämpötilaolosuhteissa. Se on maailman pisimmälle kehitetty homehtumisriskin arviointi työkalu. (TTY)



Kuva 11. Homeen kasvulle suotuisat lämpötila- ja kosteusolosuhteet eri homehtumisherkkyyssluokissa. (TTY)

Kuvasta 11 nähdään, että homehtumisriski alkaa HHL1 ja HHL2 materiaaleilla, kun RH on suurempi kuin 80 % ja lämpötilan ollessa yli 15 °C astetta. HHL3 ja HHL4 luokkaan kuuluvilla materiaaleilla RH:ksi vaaditaan hieman suurempi, noin 85 % suhteellinen kosteus.

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	Mineraalivilvat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni*, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiili
HHL4	Kestävä	Alkalininen uusi betoni, lasi ja metallit, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

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

Kuva 12. Taulukko materiaalien jakautumisesta eri homehtumisherkkyyssluokkiin. (TTY)

Mikrobien syntymiseen ja kasvamiseen tärkeimpiä tekijöitä ovat kosteus, lämpö ja ravinto. Ravinnoksi mikrobeille kelpaa eri rakennusmateriaalit, likaiset pinnat tai vaikka huonepöly. Ne eivät ole tarkkoja ravinnon suhteen. Kosteus ja sen vaikutusaika on kuitenkin tärkein mikrobien kasvun käynnistävä tekijä. Rakenteissa on aina kohtia joissa mikrobien syntymiseen olisi riittävästi ravintoa ja lämpöä, mutta kosteutta sen sijaan ei ole riittävästi. Mikrobeja ovat muun muassa eri home- ja lahohtajasienet, hiivat ja bakteerit. Rakennuksissa tapahtuvien kosteusvaurioiden yhteydessä mikrobien kasvu muodostuu otolliset olosuhteet, koska rakenteet ovat pitkään kosteina. Mikrobien kasvunopeus riippuu kasvuolosuhteiden suotuisuudesta. Kasvustoa saattaa syntyä jopa päivissä, kun taas hitaimmillaan se saattaa viedä aikaa vuosikymmeniä. (Hengitysliitto)

## 4 RAKENTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALINEN SIMULOINTI

### 4.1 Wufi-ohjelma

WUFI on lämmön- ja kosteudensiirron simulointiohjelma. Sen on kehittänyt saksalainen Fraunhofer institut für bauphysik. Rakenteiden lämpökäyttäytyminen on yhteydessä aina rakenteiden kosteuskäyttäytymiseen ja ohjelma ottaa tämän huomioon. WUFI tarkastelee rakennuksen vaipan osia ajasta riippuvissa tilanteissa, jossa ympäröivän ilmaston olosuhteet muuttuvat jatkuvasti ajan mukana. Ohjelmalla voidaan tutkia rakenteeseen imeytyneen kosteuden kuivumisaikoja, rakenteiden kosteuspitoisuuksia eri aikaväleillä, sisäisen kosteuden kertymisen riskiä eri rakennusratkaisuissa ja esimerkiksi viistosateen merkitystä rakenteisiin. (Wufi)

Simuloinnin tulokset kuvaavat ideaalisen rakenteen toimintaa valituissa kosteus- ja lämpötilaoloissa, niillä materiaalien lähtöarvoilla, mitä kerroksiin on syötetty. Se ei huomio rakenteissa olevia kylmäsiltoja, rakojen tai reikien kautta siirtyvää vesihöyryä, savupiippuilmioista johtuvia paine-eroja tai pohjaveden aiheuttamaa nousevaa kapilaari-ilmiötä. Varmuutta rakenteen toimivuuteen saadaan muun muassa asettamalla materiaaleille korkea alkukosteus ja käyttämällä sisäilman kosteuslisää.

### 4.2 Ilmasto-olosuhteet

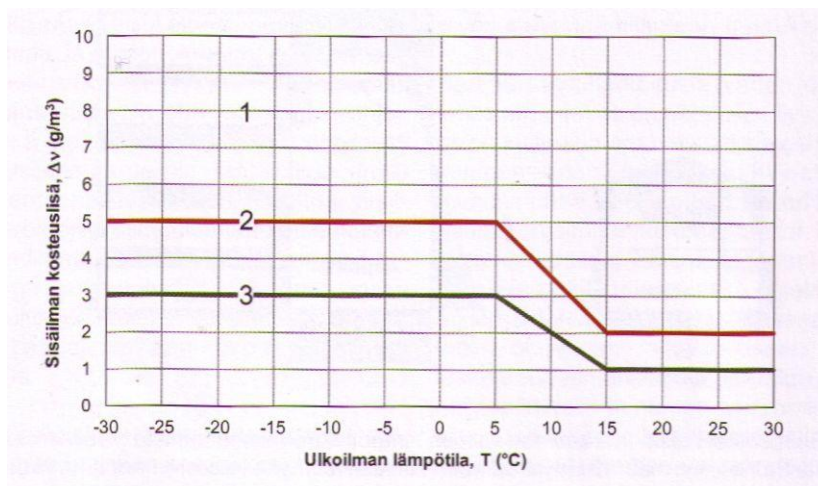
Simulointi aloitetaan ennalta määrätyistä lämmön ja kosteuden alkuolosuhteista. Ohjelma osaa huomioida materiaalin sisällä tapahtuvan lämmön- ja kosteudensiirron lisäksi myös kummassakin rajapinnassa tapahtuvan siirron ympäristön ja pinnan välillä. Ne muuttuvat jatkuvasti määriteltujen ilmasto-olosuhteiden mukaisesti.

### 4.3 Ulkoilmasto

Laskennassa käytetään VTT:n keräämiä Espoon vuotuisia säätietoja. Säätiedot sisältävät tuntitietoina tiedot ulkoilman lämpötiloista, suhteellisesta kosteudesta, sademääristä, tuulen nopeudesta, tuulen suunnasta, auringon säteilyn määrästä, sekä ilmekehän vastasäteilyn määrästä.

### 4.4 Sisäilmasto

Sisäilmasto määritellään simuloinnissa standardin EN 13788 mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että sisäilmaston suhteellinen kosteus johdetaan ulkoilmasta.



Kuva 13. Sisäilman kosteuslisä (RIL 255-1-2014, 71)

Laskennassa käytetään lisäksi RIL:n määrittelemää sisäilman kosteuslisää (kuva 13). Kosteusluokka 2 on suunnattu asuintiloille. Kosteusluokka 3 on tarkoitettu varastoille, ajoneuvosuojille, teknisille ja muille tiloille joissa oleskelu on vähäisempää. Simuloidessa käytetään asuinkerroksessa kosteusluokkaa 2 ja kellarikerroksessa kosteusluokkaa 3. Asuinkerroksen sisälämpötilana käytetään 21 °C ja kellarikerroksessa 19 °C.

#### 4.5 Materiaalien lähtöarvot

Materiaalien lähtöarvoina käytetään liitteeseen 1 kerättyjä arvoja. Materiaalien raakatiheydet, ominaislämpökapasiteetit ja lämmönjohtavuudet ovat poimittu pääosin Suomen rakentamismääräyskoelman kohdasta C4. Huokoisuuserot on peräisin suurimmaksi osaksi Wufi ohjelman Fraunhofer-IBM – Holzkirchen, Saksan tietokannasta. Materiaalien diffuusiovastuskertoimia on verrattu edellä mainitun tietokannan ja RIL 255-1-2014-kirjan neljännestä liitteestä löytyvien arvojen kesken. Lisäksi liitteestä löytyy perustelut, miksi on päädytty käyttämään tiettyä diffuusiovastuserrointa. Jos materiaaleilla on ollut suuret raja-arvot, on käytetty keskimääräistä arvoa.

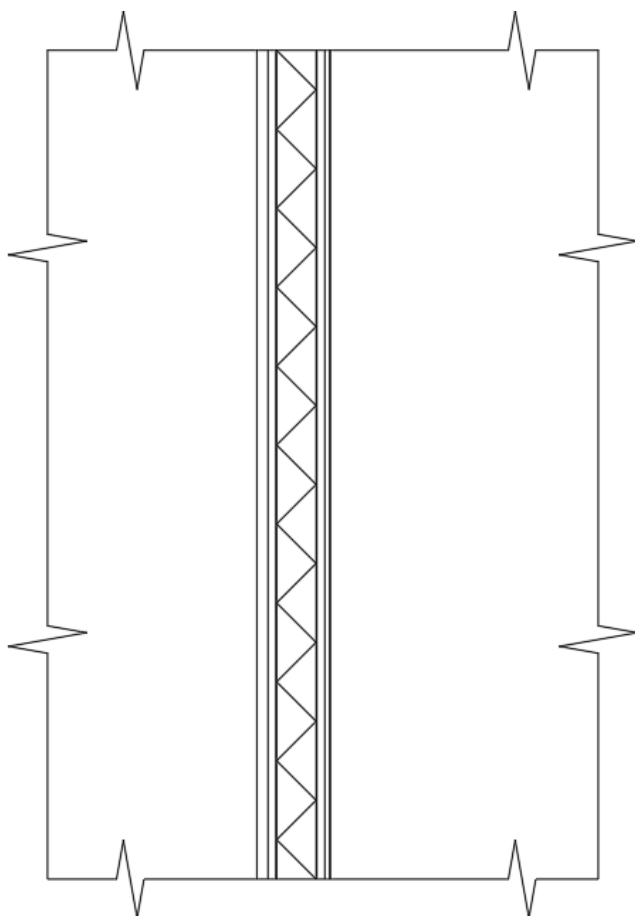
#### 4.6 Ajanjakso

Rakenteiden toimivuutta tulee tarkastella aina pitkällä aikavälillä ja muuttuvissa olosuhteissa, jotta saadaan luotettavampi tulos aikaiseksi. Lyhyet teoreettiset laskelmat eivät kerro välttämättä todellista kuvaa rakenteen kosteusteknisestä toiminnasta. Tässä opinnäytetyössä simuloitavia rakenteita on tutkittu 40 vuoden aikajaksolla.



## 4.7 Talon rakenteet

### 4.7.1 Alkuperäinen asuin- ja ullakkokerroksen ulkoseinä

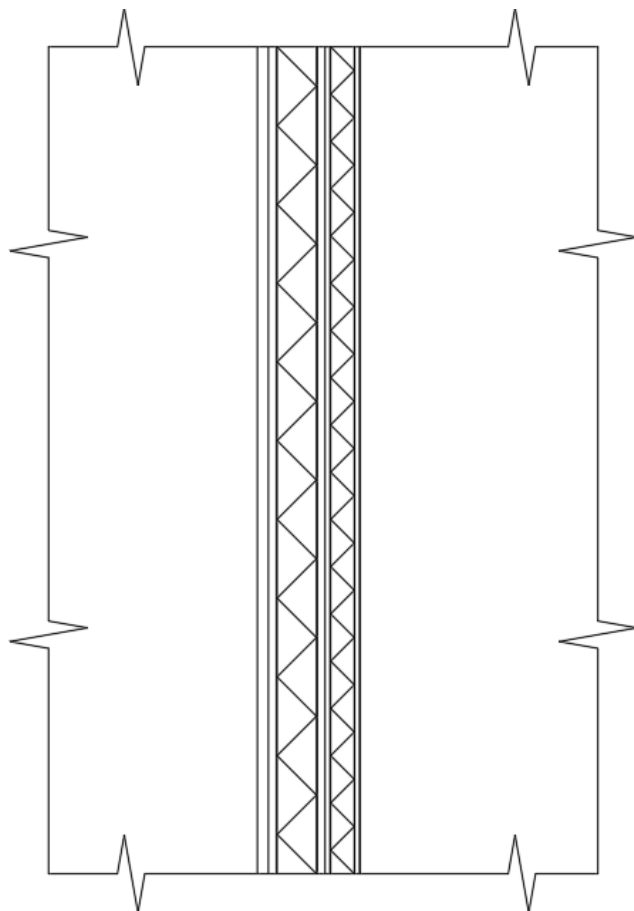


Kuva 14. Alkuperäinen asuin- ja ullakkokerroksen ulkoseinä (Hämäläinen 2017)

Alkuperäisen asuin- ja ullakkokerroksen ulkoseinän rakenne on seuraava:

- ulkoverhouspaneeli 28 mm
- vinolaudoitus 20 mm
- ilmansulkupahvi 2 mm
- sahanpuru 100 mm + runko
- ilmansulkupahvi 2 mm
- vaakalaudoitus 20 mm
- Haltex-levy 12 mm
- pinkopahvi 2 mm

## 4.7.2 Lisälämmöneristetty asuinkerroksen ulkoseinä



Kuva 15. Lisälämmöneristetyin asuinkerroksen ulkoseinä (Hämäläinen 2017)

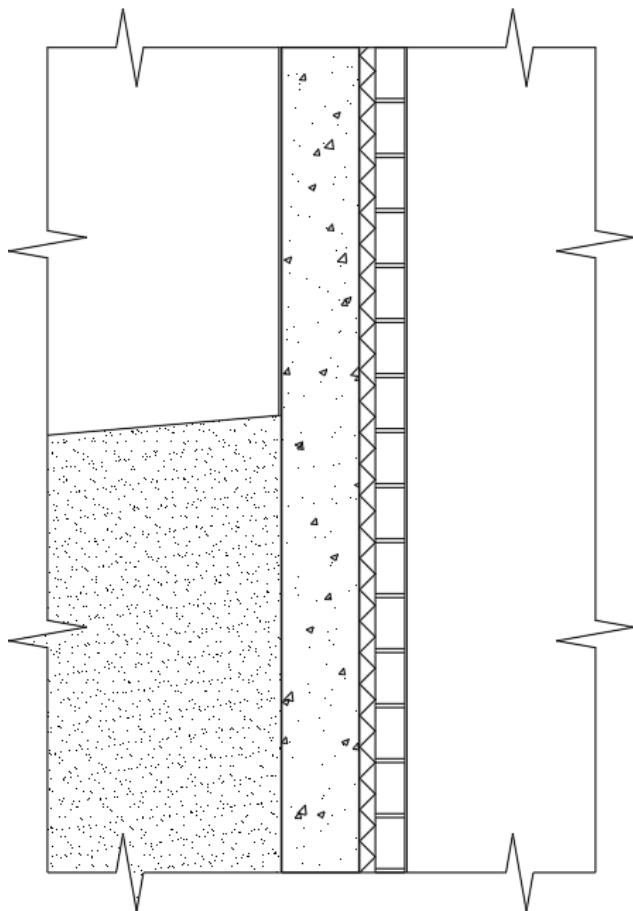
Lisälämmöneristetyin asuinkerroksen ulkoseinän rakenne on seuraava:

ulkoverhouspaneeli 28 mm  
 vinolaudoitus 20 mm  
 ilmansulkupahvi 2 mm  
 sahanpuru 100 mm + runko  
 ilmansulkupahvi 2 mm  
 vaakalaudoitus 20 mm  
 Haltex-levy 12 mm  
 pinkopahvi 2 mm

Lisälämmöneristykseen yhteydessä lisätty sisäpuolelle:

lasivilla 60 mm + koolaus  
 höyrynsulkumuovi  
 lastulevy 12 mm  
 huokoinen tapetti

## 4.7.3 Alkuperäinen kellarin ulkoseinä



Kuva 16. Alkuperäinen kellarin ulkoseinä (Hämäläinen 2017)

Alkuperäisen kellarin ulkoseinän rakenne on seuraava:

kalkkisementtirappaus

bitumisively

betoni 200 mm

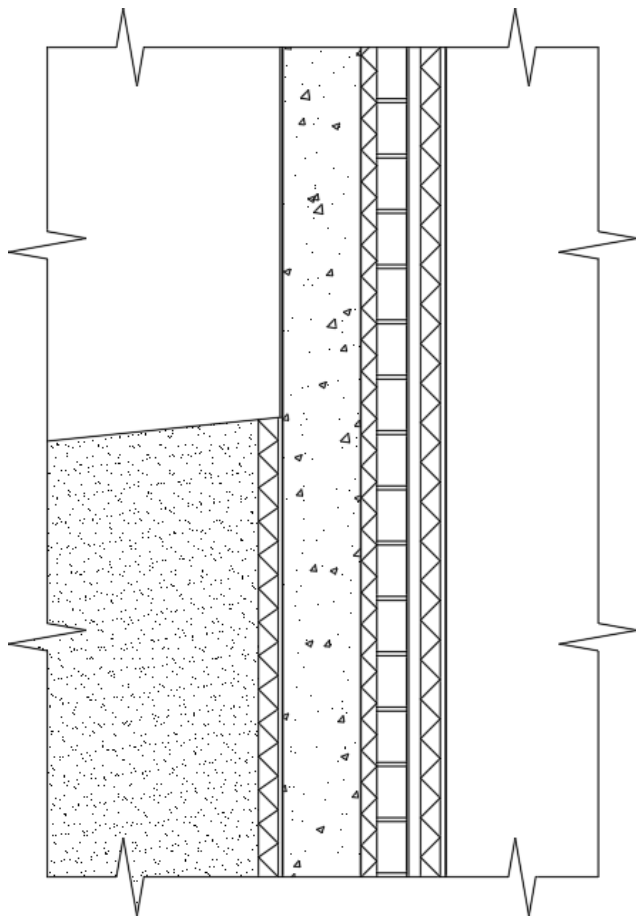
bitumisively

lasivilla 40 mm

tiili 75 mm

kalkkisementtirappaus

## 4.7.4 Lisälämmöneristetty askarteluhuone



Kuva 17. Lisälämmöneristetyin askarteluhuoneen ulkoseinä (Hämäläinen 2017)

Lisälämmöneristetyin askarteluhuoneen rakenne on seuraava:

EPS-levy 50mm (maanpinnan alapuolella)

patolevy (maanpinnan alapuolella)

kalkkisementtirappaus

bitumisively

betoni 200 mm

bitumisively

lasivilla 40 mm

tiili 75 mm

kalkkisementtirappaus

Lisälämmöneristetyksen yhteydessä lisätty sisäpuolelle:

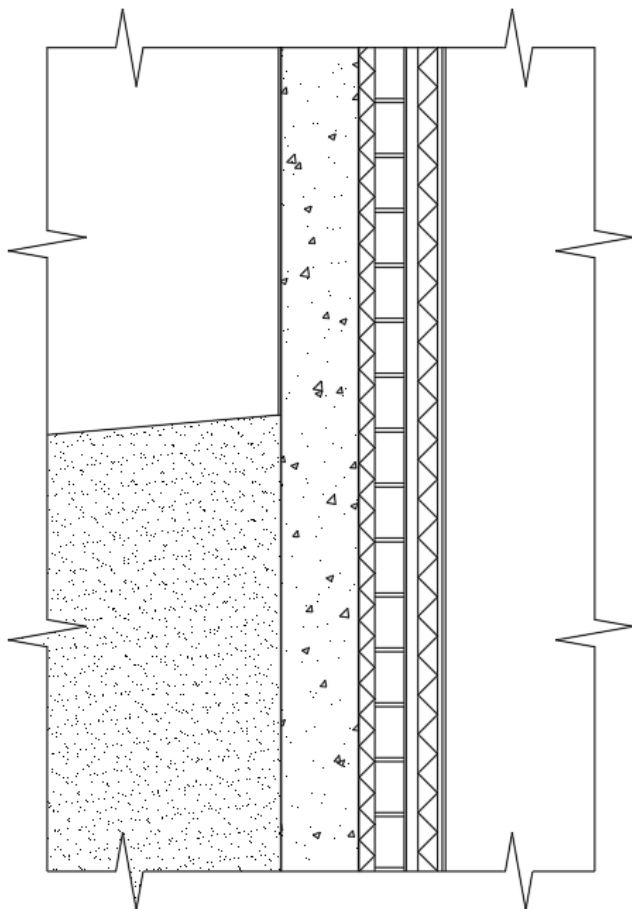
ilmarako 30 mm

Finnfoam 50 mm + koolaus

kipsilevy 13 mm

huokoinen tapetti

## 4.7.5 Lisälämmöneristetty pesuhuone



Kuva 18. Lisälämmöneristetty pesuhuoneen ulkoseinä (Hämäläinen 2017)

Lisälämmöneristetyin pesuhuoneen ulkoseinän rakenne on seuraava:

kalkkisementtirappaus

bitumisively

betoni 200 mm

bitumisively

lasivilla 40 mm

tiili 75 mm

kalkkisementtirappaus

Lisälämmöneristykseen yhteydessä lisätty sisäpuolelle:

ilmarako 30 mm

Finnfoam 50 mm + koolaus

Luja-levy 12 mm

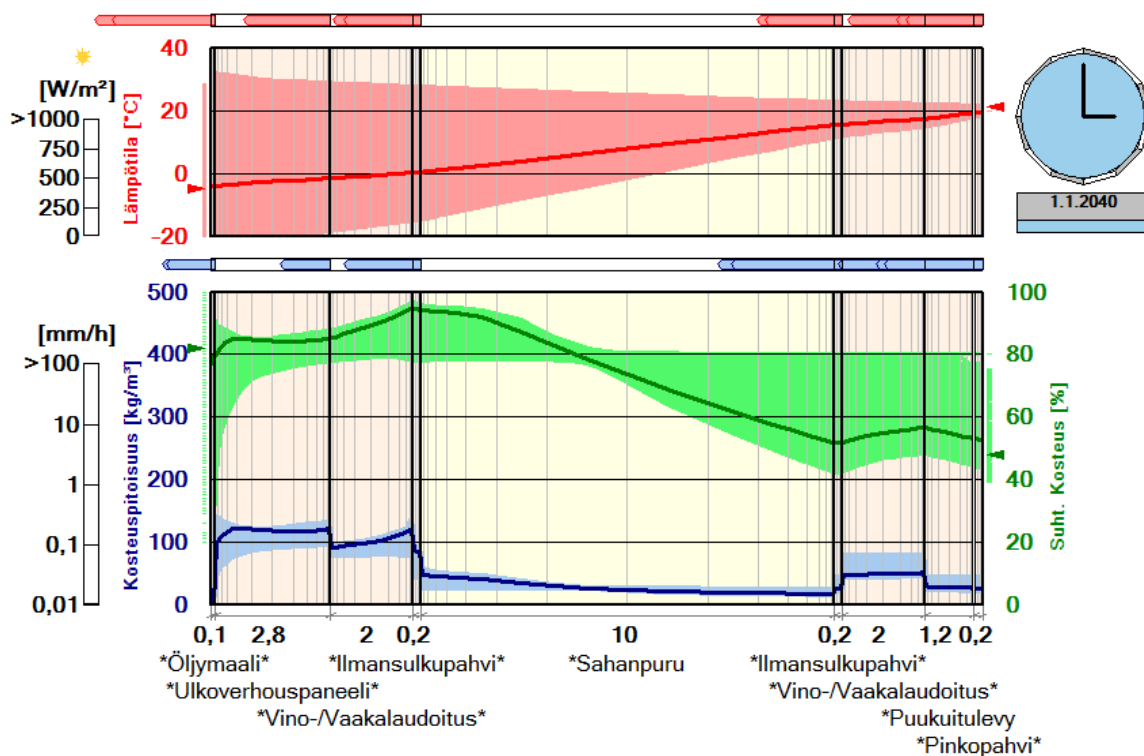
laatta 8 mm

## 4.8 Rakenteiden simulointi

Rakenteita simuloidessa täytyy muistaa, että saatavat tulokset ovat vain suuntaa-antavia eikä niiden perusteella voida tehdä lopullista johtopäätöstä rakenteiden toimivuudesta. Ne ovat kuitenkin hyvä perusta lisätutkimuksia varten.

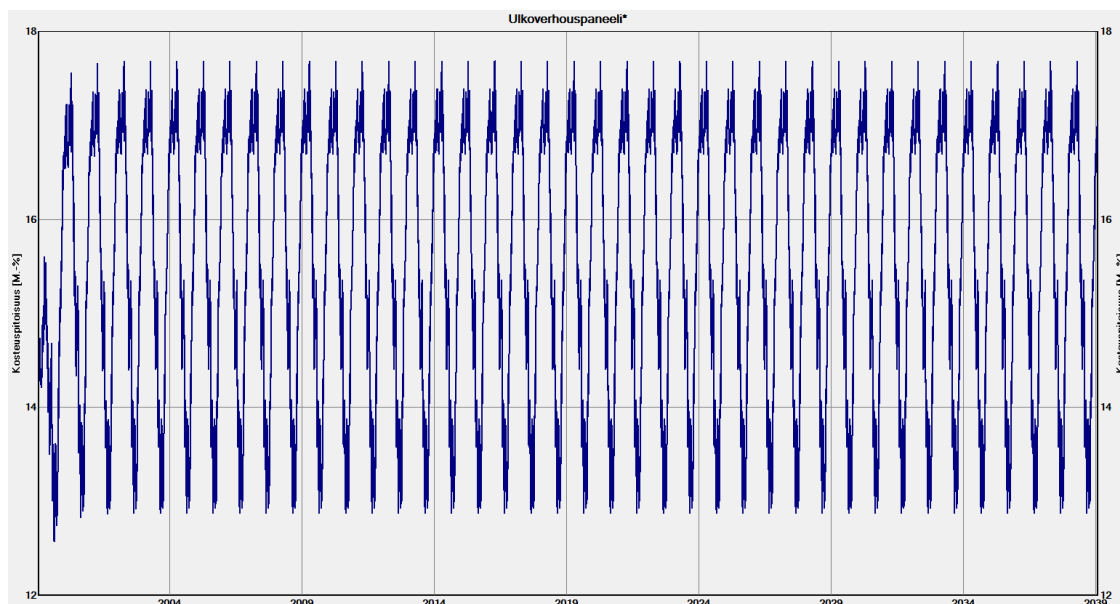
## 4.8.1 Öljymaalilla maalattu alkuperäinen ulkoseinä

Rakennustapaselostuksen mukaan ulkoverhouspaneeli tulisi maalata öljyväriä. Tässä tapauksessa simulointi on suoritettu niin, ettei öljymaalin diffusiovastus ole suurempi kuin ulkoverhouspaneelin. Tällä on haluttu tutkia sitä, kuinka seinärakenne toimii tilanteessa, jossa maalipinta ei estä sisäpuolelta tulevan vesihöyryn pääsemistä ulkoilmaan.



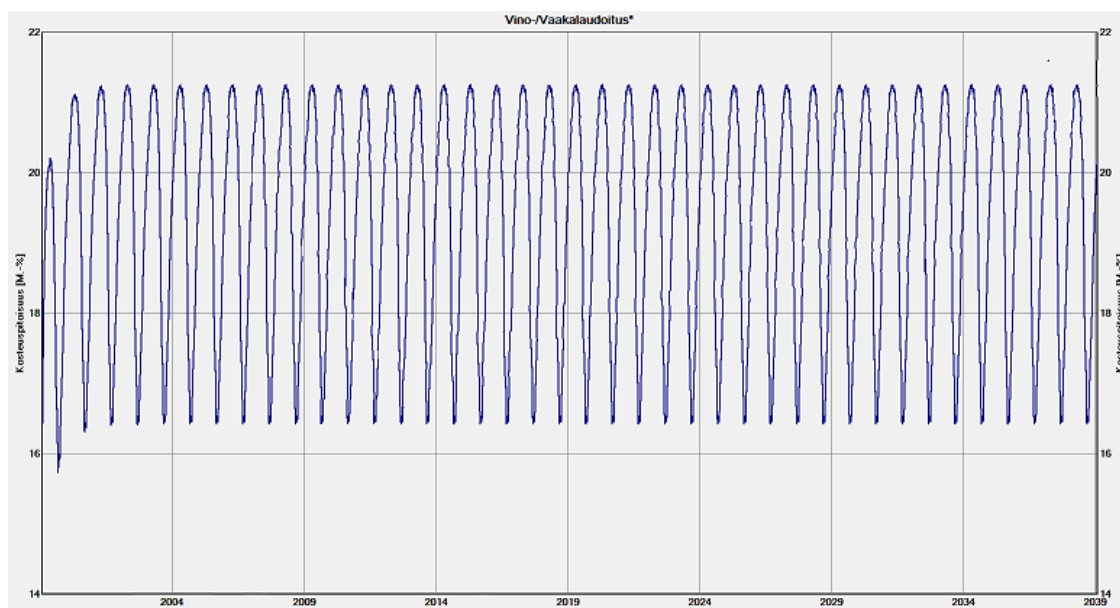
Kuva 19. Alkuperäisen asuinkerroksen ulkoseinän simulointitulokset. Maalina öljymaali (Hämäläinen 2017)

Tuloksesta voidaan havaita, että ulkoverhouspaneelin, vinolaudoituksen ja sahanpurun uloimmassa reunassa on tapahtunut kosteuspitoisuuden nousua. Tämä johtuu siitä, että suhteellisen kosteuden käyrä pysyy korkeimmillaan juuri näiden materiaalien alueella. Vesihöyryä läpäisevä maalipinta kykenee kuitenkin poistamaan osan sisäpuolelta tulevasta vesihöyrystä ulkoilmaan.



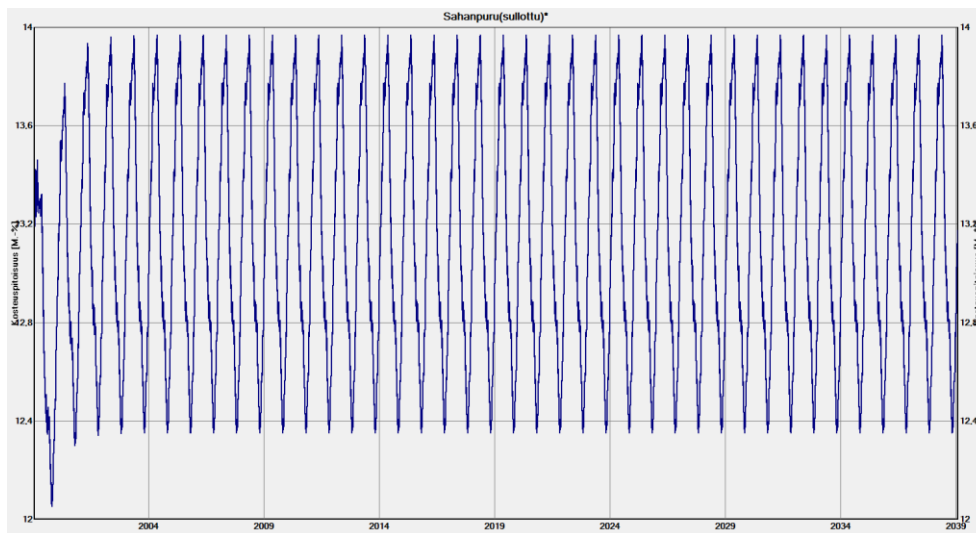
Kuva 20. Ulkoverhouspaneelin kosteuspitoisuus (Hämäläinen 2017)

Kuvasta 20 voidaan havaita, että ulkoverhouspaneelin kosteuspitoisuus vaihtelee vuoden aikana noin 13-18 % välillä. Puuinfosta saatujen tietojen mukaan, puun kosteusprosentin täytyy olla yli 20 % useita kuukausia, jotta puu alkaa vaurioitua. Tämän simuloinnin tuloksista päätellen niin ei pääse käymään ulkoverhouspaneelin kohdalla, koska maali sen pinnalla ei estä vesihöyryn läpäisyä.



Kuva 21. Vinolautoituksen kosteuspitoisuus (Hämäläinen 2017)

Kuvasta 21 nähdään että vinolautoituksen kosteuspitoisuus vuoden aikana on noin 16-21% välillä. Oletuksena jos on, että puun homehtumiselle vaaditaan yli 20% kosteuspitoisuus useamman kuukauden ajalle, on se tässä tilanteessa mahdollista. Tulosta tarkastellessa pitää kuitenkin huomioida, että simulointiohjelma simuloi rakennetta vinolautoituksen kohdalta. Se ei huomioi esimerkiksi siinä olevia rakoja, mitä todellisuudessa usein on. Vinolautoituksen raot pienentävät vesihöyrynvastusta mikä auttaa vesihöyryn pääsemistä ulkoilmaan ja laskee todennäköisesti materiaalin kosteuspitoisuutta.



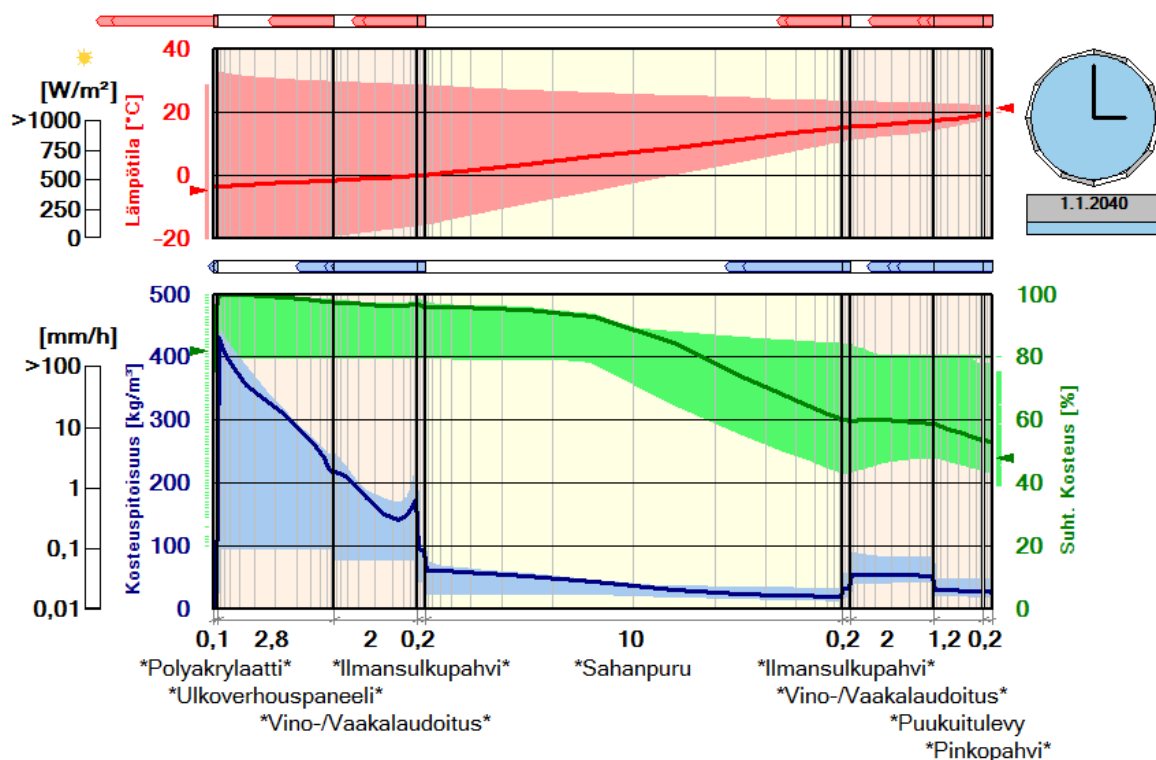
Kuva 22. Sahanpurun kosteuspitoisuus (Hämäläinen 2017)

Sahanpurun kosteuspitoisuus (kuva 22) pysyy alle 14 % ja ei ole tästä syystä riittävän korkealla aiheuttaakseen homeen kasvua, jos oletuksena on, että siihen vaaditaan 20 % kosteuspitoisuus. Sahanpurulla on hyvät hygroskooppiset ominaisuudet sen huokoisuudesta johtuen. Se kykenee vastaanottamaan, luovuttamaan ja tasapainottamaan rakenteessa olevaa kosteutta.

#### 4.8.2 Polyakrylaattimaalilla maalattu alkuperäinen ulkoseinä

Talon rakennustapaselostuksen mukaan, talo tulisi maalata öljyvärillä. Se on kuitenkin viimeisten vuosikymmenten ajan maalattu vesiohenteisella polyakrylaattimaalilla, kuten Tikkurilan Ultra Classic. Maalissa on erittäin korkea diffuusiovastuskerroin. Tämä aiheuttaa sen, että maali tekee ulkoverhouspaneelin pintaan heikosti vesihöyryä läpäisevän kerroksen.

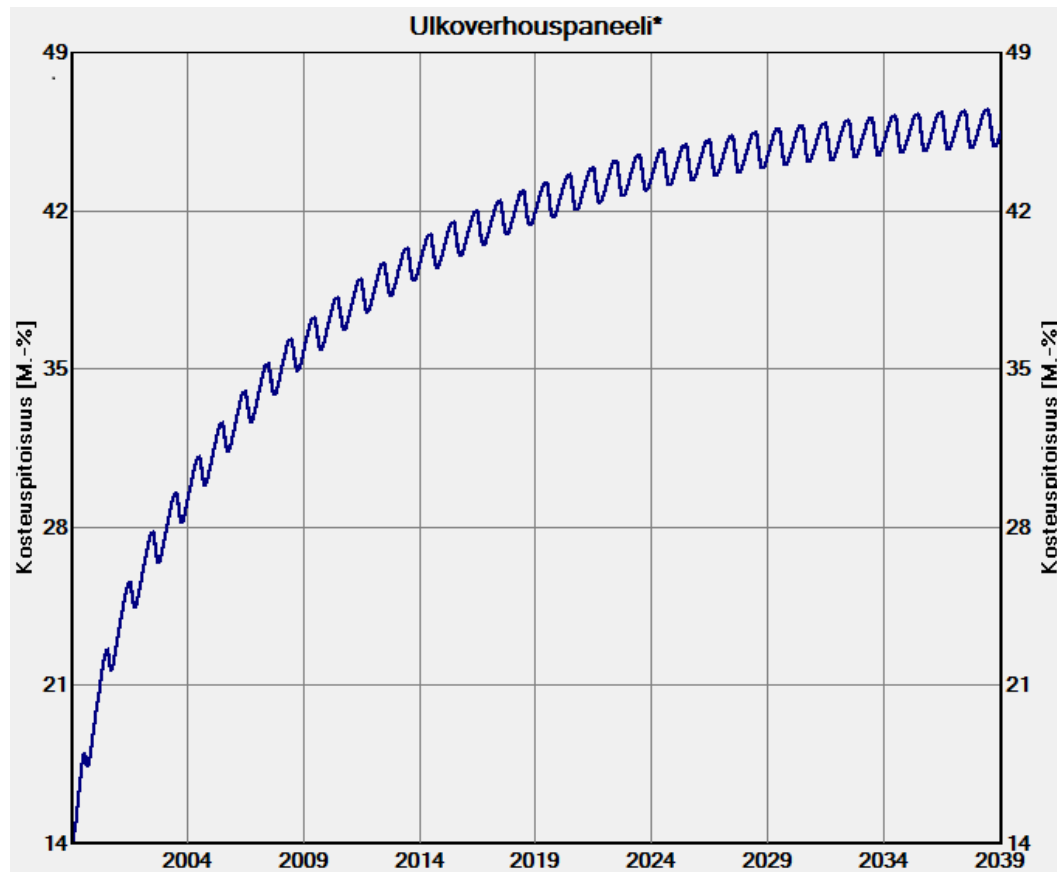




Kuva 23. Alkuperäisen asuinkerroksen ulkoseinän simulointitulokset. Maalina polyakrylaattimaali (Hämäläinen 2017)

Kuten kuvasta 23 voidaan havaita, on ulkoverhouspaneelin ja vinolaudoituksen kosteuspiitoisuus noussut runsaasti. Sisäpuolella oleva vesihöyry pyrkii siirtymään lämpimästä sisäilmasta kylmempää ulkoilmaa kohti. Seinämaali, jossa on korkea diffuusiovastuskerroin estää sisäpuolelta tulevan vesihöyryn pääsemistä ulkoilmaan. Kosteus alkaa kerääntyä maalipinnan taakse, jonka seurauksena ulkoverhouspaneelin ja vinolaudoituksen suhteellinen kosteus kohoaa. Suhteellisen kosteuden ollessa pitkään korkea, alkaa materiaalin kosteuspiitoisuus nousta ja tämä aiheuttaa materiaaliin home- ja lahovaurioita.

Simulointiohjelma olettaa, että esimerkiksi vinolaudoitus on täysin tiiviiksi asennettu. Todellisuudessa siinä on usein rakoja ja sen diffuusiovastus on pienempi. Vaikka simuloitaessa olisi käytetty vinolaudoituksen kohdalla pienempää diffuusiovastuskerroin ei tämä kuitenkaan pelastaisi rakennetta, koska ulkoverhouspaneeli ja maalipinta ovat yleensä tiiviitä ja estävät viimeistään vesihöyryn pääsyn ulkoilmaan.

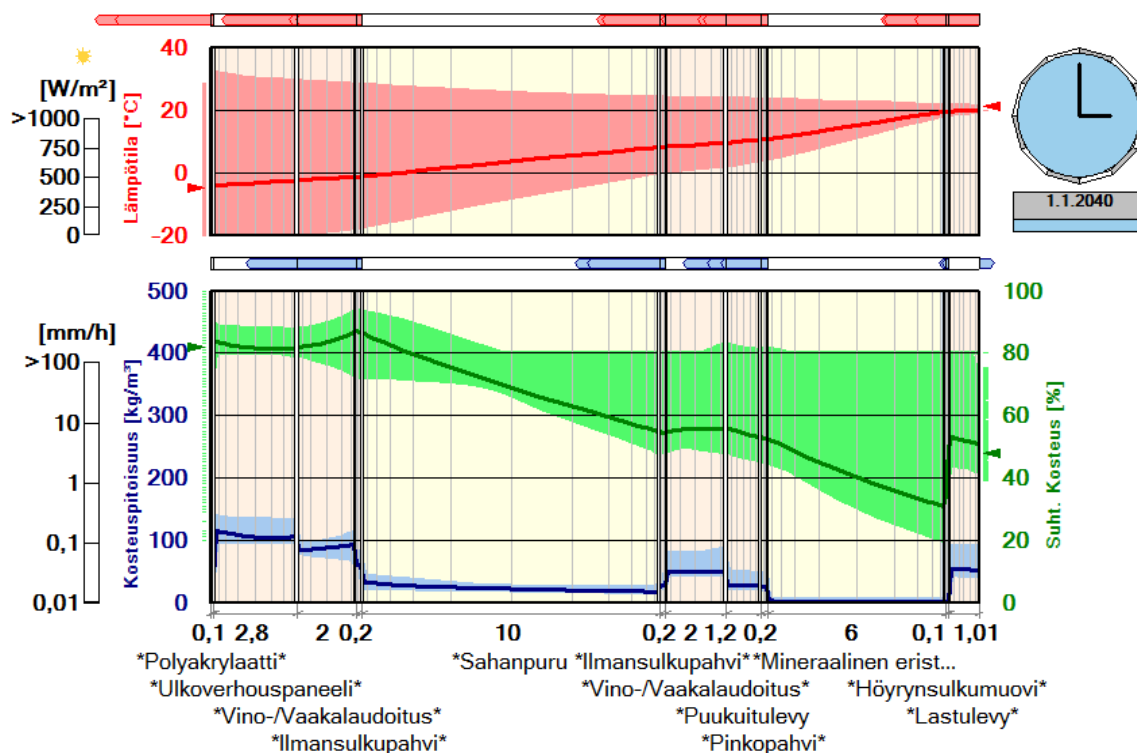


Kuva 24. Ulkoverhouspaneelin kosteuspitoisuuden kehitys (Hämäläinen 2017)

Puufosta löytyvien lähteiden mukaan, jos puun kosteuspitoisuus pysyy yli 20 % pitkän aikaa, alkaa puu vaurioitua. Kuvasta 24 voidaan havaita että 20 % kosteuspitoisuus ylittyy reilusti jo ensimmäisten simulointivuosien aikana.

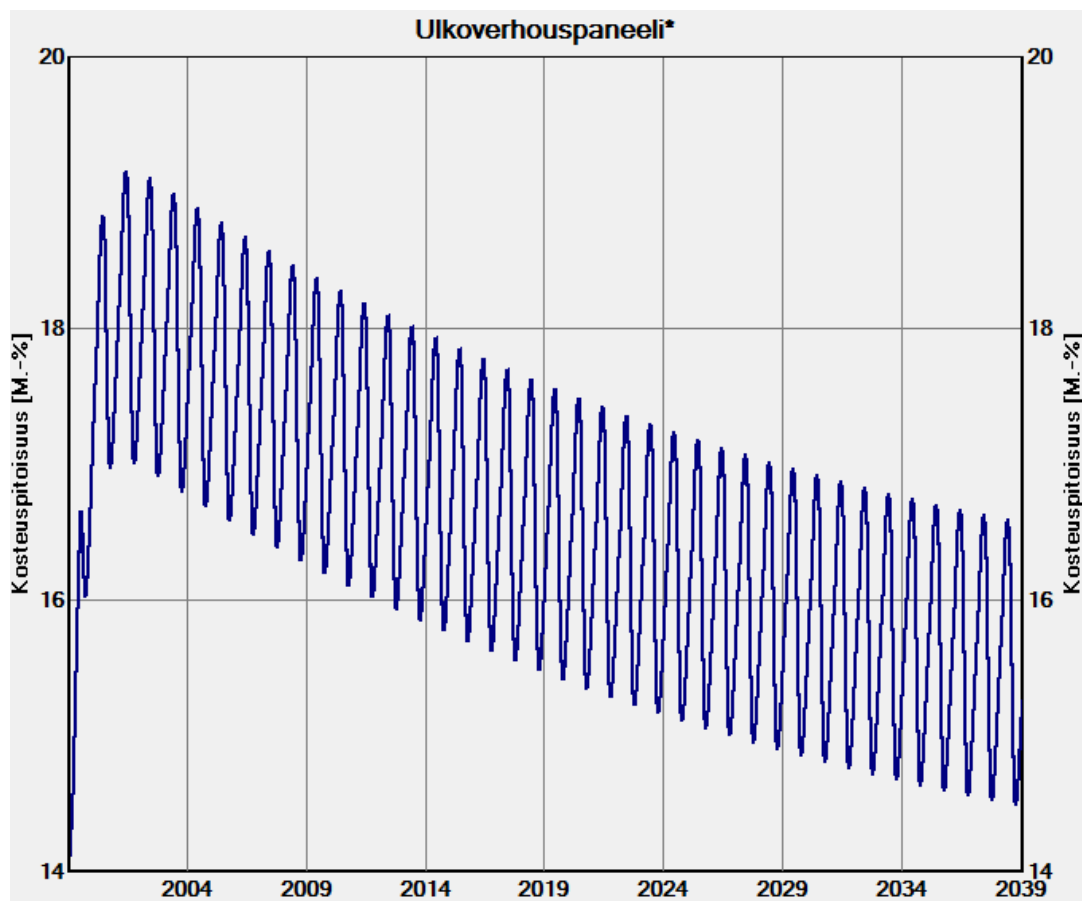
### 4.8.3 Sisäpuolelta lisälämmöneristetty ulkoseinä

Asuinkerrokseen on 90-luvulla asennettu alkuperäisen rakenteen lisäksi sisäpintaan 60 millinen lasivilla + koolaus, sekä höyrynsulkumuovi ja lastulevy. Yleisesti ottaen sisäpuolisia lisälämmöneristystyksiä ei suositella, vaan mahdollinen lisälämmöneriste tulisi aina asentaa seinärakenteen ulkopuolelle.



Kuva 25. Sisäpuolelta lisälämmöneristetyin ulkoseinän simuloitituloset (Hämäläinen 2017)

Kuvasta 25 voidaan nähdä, että lisälämmöneristysten yhteydessä asennettu höyrynsulkumuovi parantaa rakenteen toimivuutta huomattavasti verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen, vaikka pinnassa on käytetty polyakrylaattimaalia. Sisäpuolelta pyrkivä vesihöyry ei pääse seinärakenteen sisälle ja rakenne pysyy kuivempana. Tämän voi havaita selkeästi heti höyrynsulkumuovin vasemmalta puolelta, jossa suhteellinen kosteus tippuu alhaisemmaksi.



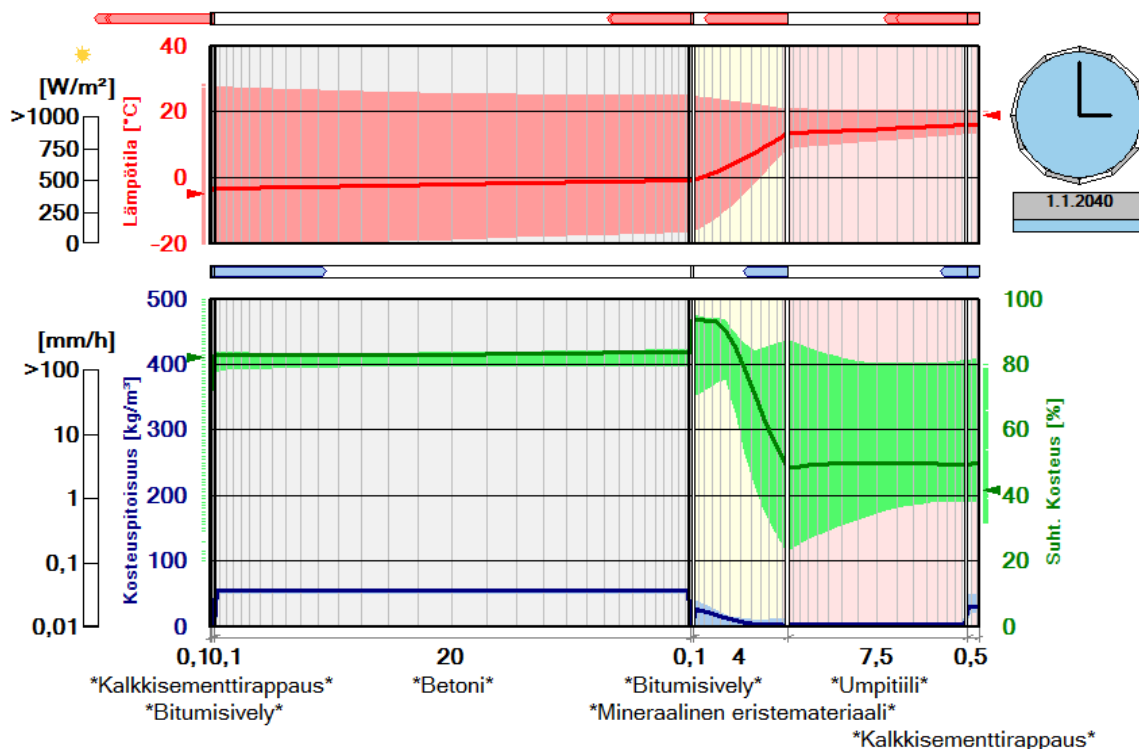
Kuva 26. Ulkoverhouspaneelin kosteuspitoisuuden kehitys sisäpuolelta lisälämmöneristetyssä rakenteessa (Hämäläinen 2017)

Kuvasta 26 nähdään, että ulkoverhouspaneelin kosteuspitoisuusprosentti on alle 20%. Alussa nouseva kosteuspitoisuus johtuu materiaalille syötetystä ja oletetusta alkukosteuspitoisuudesta. Ulkoverhouspaneeli alkaa välittömästi kuivumaan. Sama ilmiö oli myös muilla seinärakenteen materiaaleilla ulkoverhouspaneelista sisäänpäin mentäessä.

Tilannetta täytyy kuitenkin arvioida kokonaisuutena. Ulkoverhouspaneeli, jos on maalattu aiempien vuosikymmenten aikana polyakrylaattimaalilla, on se siitä johtuen mahdollisesti vaurioitunut. Myöhemmin sisäpuolelle asennettu höyrynsulkumuovi ei ulkoverhouspaneelia enää pelasta.

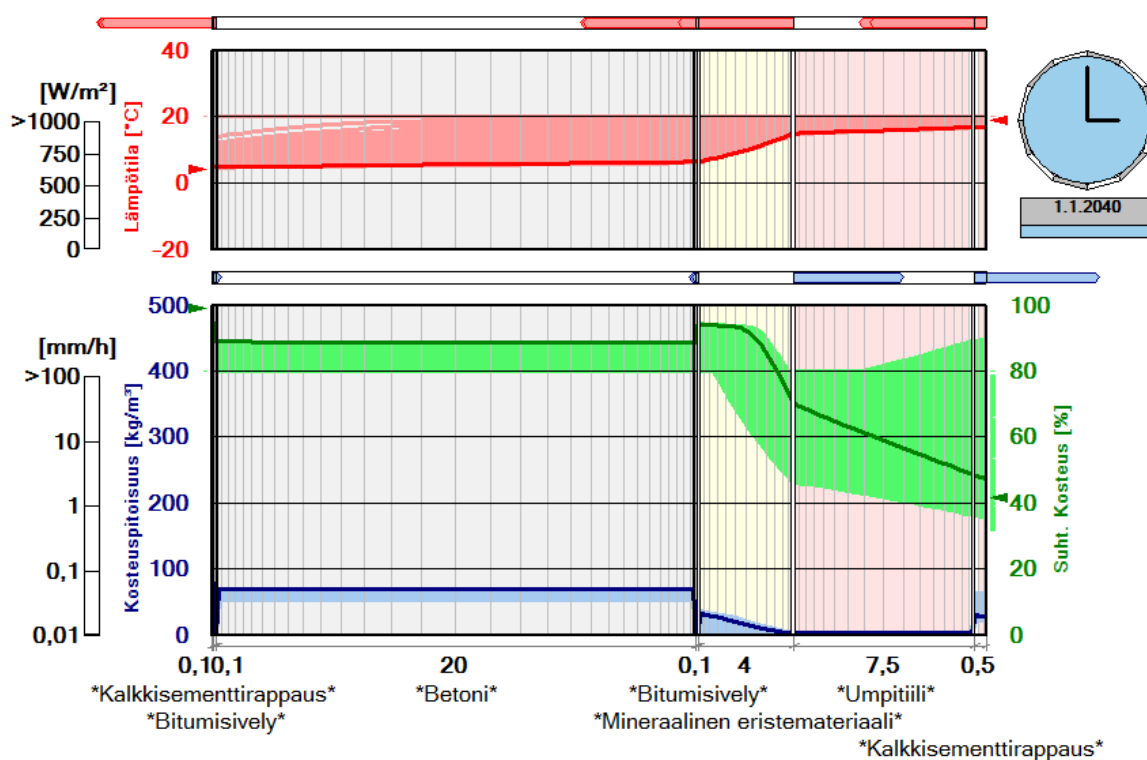
## 4.8.4 Kellarikerroksen alkuperäinen ulkoseinä

Kellarikerros on osittain maanpinnan yläpuolella. Tästä johtuen simuloinnit suoritetaan tarkastelemalla rakennetta, niin maanpinnan ala- kuin yläpuolelta. Simuloinnissa sisälämpötilan oletetaan olevan kellarikerroksessa 19 °C astetta. Maanpinnan yläpuolisessa simuloinnissa käytetään ulkopuolella suomen vuosittaisia säätietoja. Maanpinnan alapuolella ulko-olosuhteeksi on asetettu maaperän vuotuinen keskilämpötila, joka Geologian tutkimuskeskuksen mukaan on Kuopion korkeusasteella 4 astetta. Maaperän suhteellisenä kosteutena käytetään arvoa 99%.



Kuva 27. Alkuperäisen kellarikerroksen ulkoseinän simulointitulokset maanpinnan yläpuolelta (Hämäläinen 2017)

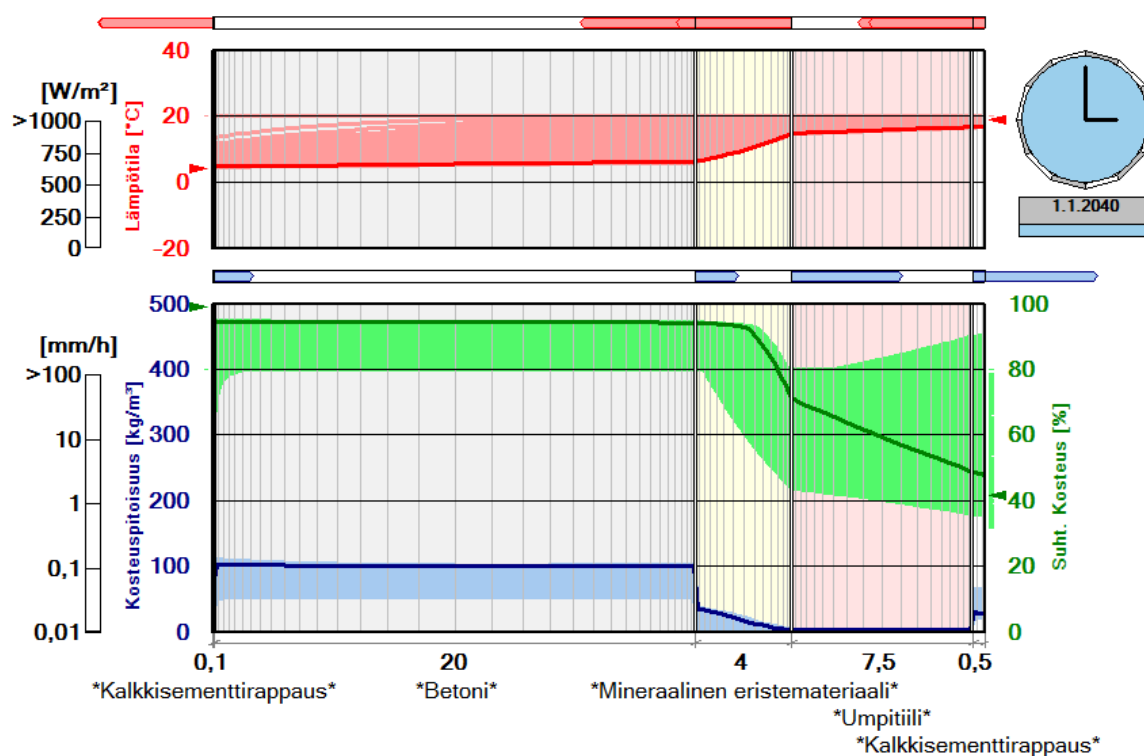
Kuvan 27 tuloksista voidaan nähdä, että sisäpuolisen bitumisivelyn ja eristemateriaalin suhteellinen kosteus on korkea ja eristeen kosteuspitoisuus on aavistuksen kohonnut. Tämä johtuu eristeessä tapahtuvasta lämpötilan alenemisesta, jonka seurauksena myös suhteellinen kosteus kohoaa. Eristemateriaalin kohonnut kosteuspitoisuus ja korkea suhteellinen kosteus betonin puoleisella pinnalla viittaa siihen, että bitumisivelyn pinnassa tapahtuu kondensoitumista ja vesi valuu pintaa pitkin alas päin. Mineraalisen eristeän hygroσκοoppiset ominaisuudet ovat hyvin alhainen mikä tarkoittaa, ettei materiaali sido itseensä helposti kosteutta. Tämä luokitellaan kuitenkin riskirakenteeksi, koska eristeän suhteellinen kosteus on jatkuvasti korkea.



Kuva 28. Alkuperäisen kellarikerroksen ulkoseinän simulointitulokset maanpinnan alapuolelta (Hämäläinen 2017)

Maanpinnan alapuolelta (kuva 28) tuloksista nähdään, että materiaalien kosteuspitoisuudet ovat hie- man korkeammat kuin maanpinnan yläpuolella. Tarkastellessa lämpö- ja kosteusvirtoja voidaan ha- vaita, että lämpö pyrkii edelleen rakenteesta ulospäin alhaisempaa lämpötilaa kohti. Kosteusvirta on kuitenkin kääntynyt eristeen ja tiilen pinnalla sisälle päin. Kosteuden siirtyessä lämpötila on usein määräävä tekijä, mutta koska maanpinnan alapuolella lämpötila ero on pienempi ja suhteellisen kos- teuden erot suuret, pyrkii kosteus tasapainottumaan ja siirtymään alhaisempaa suhteellista kos- teutta kohti.

Huomioitavaa on, että tilannetta tarkastellaan tässä tapauksessa talviolosuhteissa. Tilanne ei pysy samanlaisena ympäri vuoden. Homeen kasvulle olosuhteet ovat siinä mielessä paremmat, että sei- närakenteen lämpötila pysyy plussan puolella ympäri vuoden. Homeen kasvua ei tapahdu, jos olo- suhteet ovat  $0^{\circ}C$  tai sen alle. Tulosta verratessa Suomalaiseen homemalliin (kuva 11) voidaan ha- vaita, että esimerkiksi mineraalieristeen ja bitumisivelyn rajapinnassa on korkein riski homeen kas- vulle. Tässä pinnassa suhteellinen kosteus pysyy korkealla jatkuvasti.

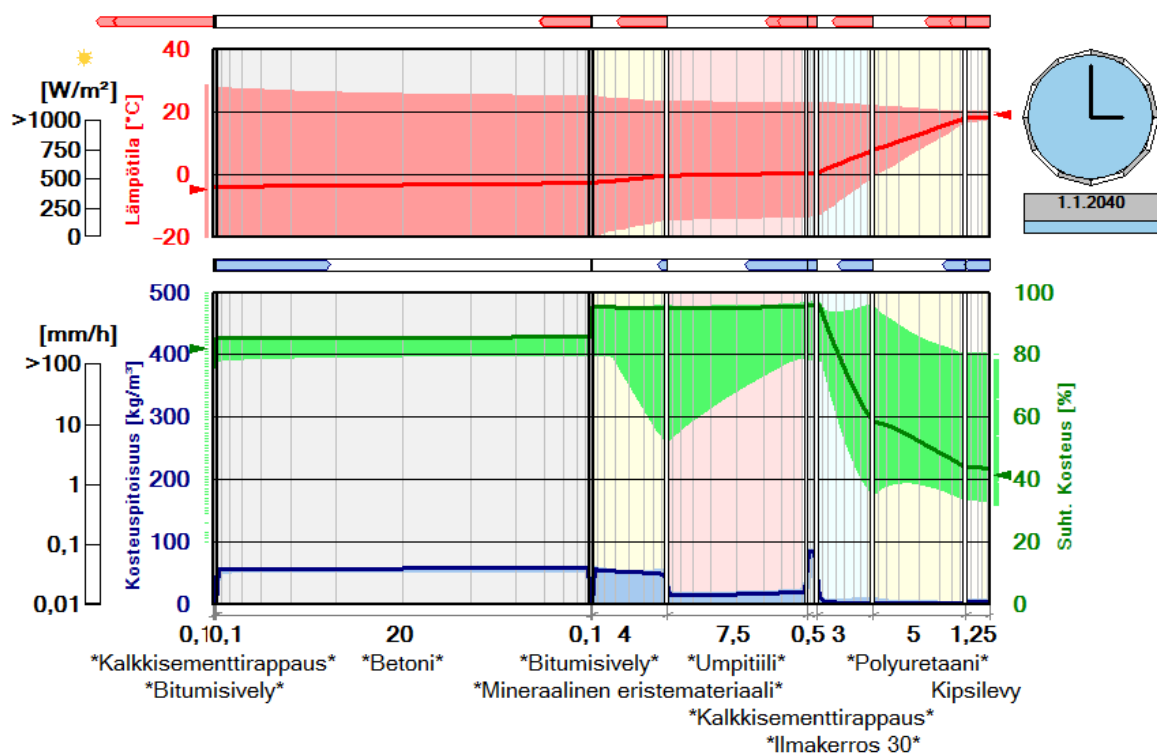


Kuva 29. Kuvitteellisen kellarinseinän simulointitulokset maanpinnan alapuolelta, kun seinässä ei ole vedeneristystä (Hämäläinen 2017)

Ajan saatossa rakenteiden vedeneristyskyky saattaa heikentyä tai menettää kokonaan merkityksensä. Yllä olevassa kuvassa (kuva 29) on simuloitu rakennetta kuvitteellisesti tilanteessa, jossa vedeneristystä ei olisi ollenkaan tai, että se olisi pettänyt. Erot vedeneristetyn ja vedeneristämättömän betonin välillä eivät ole kovin suuret. Betonin suhteellinen kosteus on noussut samalle tasolle kuin mineraalieristeen korkein kohta. Myös betonin kosteusvirta on sisälle päin betonin ulko- ja sisäpinnassa. Lisäksi betonin kosteuspitoisuus on hieman noussut tämän johdosta. Jatkossa simuloidessa rakenteita, oletetaan vedeneristysten olevan kunnossa.

#### 4.8.5 Sisäpuolelta lisälämmöneristetty askarteluhuone

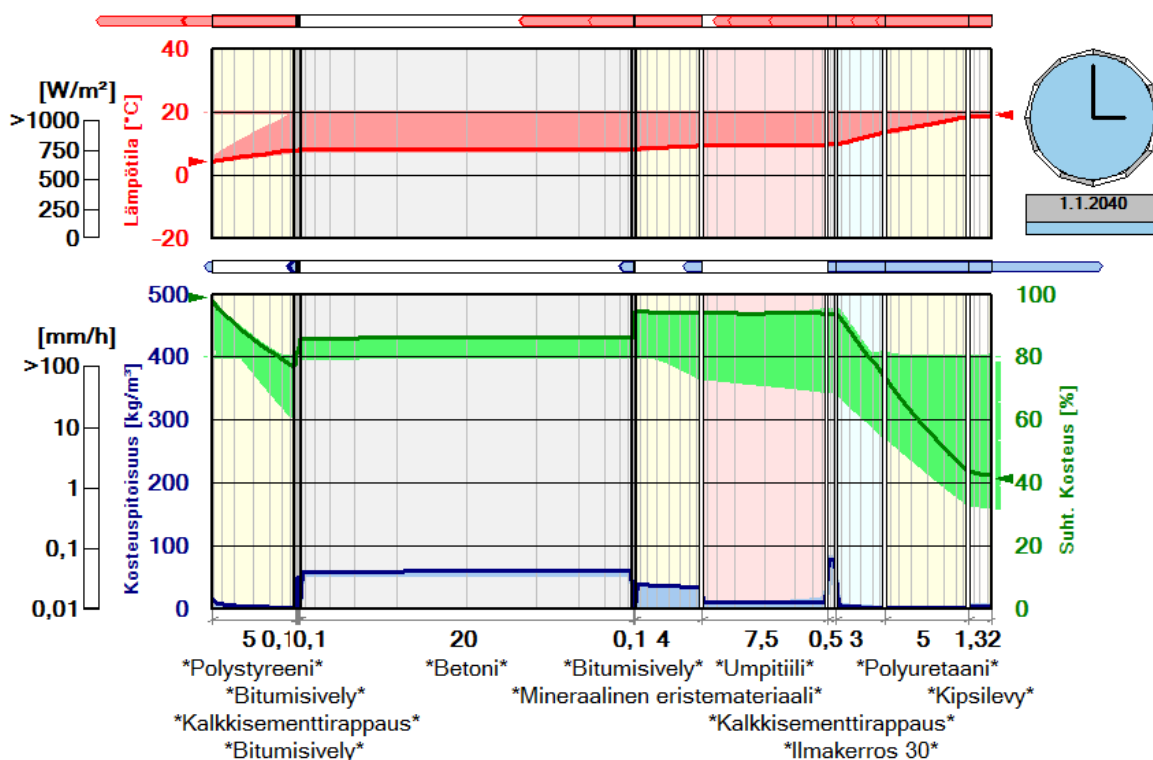
Askarteluhuone on lisälämmöneristetty 90-luvulla. Sisäpuolelle on jätetty 30mm ilmarako kulmarau-tojen avulla, ennen kuin eristelevyjien puiset koolauspuut on asennettu. Tällä on haluttu varmistaa, että mahdollinen kellarin seinämän läpi tuleva kosteus ei pääse suoraan imeytymään puukoolauksiin. Samassa yhteydessä askarteluhuoneen puoleiselle seinämälle on ulkopuolelle asennettu salaojaputki ja 50 millinen polystyreeni, sekä patolevy. Polystyreeni- ja patolevy ulottuu anturalta maanpinnan tasolle. Simuloidessa maanpinnan alapuolista kellarinseinää, poikkeaa rakenne yläpuolisesta sillä, että maanpinnan alapuolisen rakenteen simuloinnissa käytetään lisänä ulkopuolella eriste- ja patolevyä.



Kuva 30. Lisälämmöneristetyn askarteluhuoneen simulointitulokset maanpinnan yläpuolelta (Hämäläinen 2017)

Sisäpuolella oleva lisälämmöneristys (kuva 30) aiheuttaa sen, että alkuperäinen rakenne muuttuu kylmemmäksi ja betonin vieressä olevan eristeen ja tiilen suhteellinen kosteus nousee. Tämän seurauksena myös niiden kosteuspitoisuus nousee, vaikka mineraalieristeen hygroskooppiset ominaisuudet ovat alhaiset. Lämpötilaerojen ollessa suuri kosteus- ja lämpövirta ovat rakenteesta ulospäin.



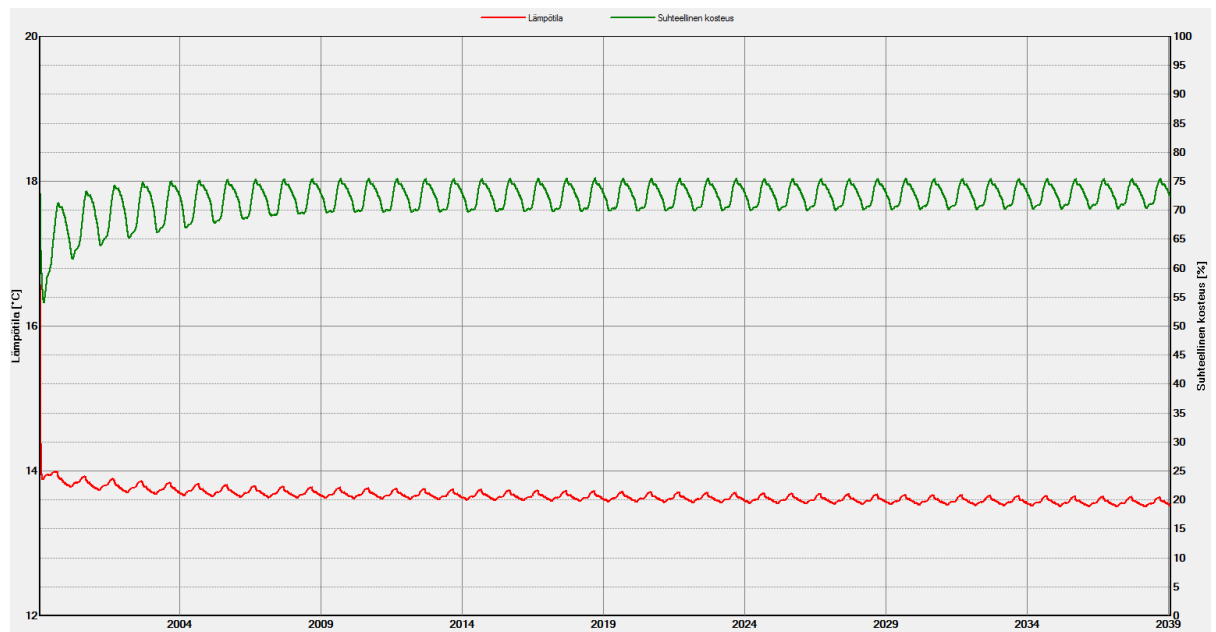


Kuva 31. Lisälämmöneristetyin askarteluhuoneen simulointitulokset maanpinnan alapuolelta (Hämäläinen 2017)

Maanpinnan alapuolinen tilanne näyttää jotakuinkin samanlaiselta (kuva 31). Kuvasta voi havaita, että myös tässä tilanteessa mineraalieristeen ja tiilien suhteellinen kosteus on korkeampi, sekä niiden kosteuspitoisuus on kohonnut. Kosteusvirta on kääntynyt tiilen kohdalla sisälle päin, kuten alkuperäisessä kellarin seinärakenteessa tarkasteluhetkellä.

Ulkopuolelle asennettu polystyreenilevy saa aikaan sen, että seinärakenteen lämpötila on korkeampi kuin alkuperäisessä tilanteessa, jossa eristelevyä ei ollut. Tämä luo homeen kasvulle paremmat olosuhteet mineraalieristeessä. Mineraalieristeen suhteellinen kosteus nousee noin 95 % tietämille ja lämpötila vähän vajaan 10 asteen kohdille. Suomalaisen homemallin mukaan (kuva11) mineraalieristeessä on homeen kasvulle suotuisat olosuhteet.

Rakenteeseen on jätetty ilmarako tiilen ja eristeen välille, sillä ajatuksella, ettei mahdollinen seinärakenteen läpi tuleva kosteus pääse siirtymään suoraan polyuretaanieristeen puukoolauksiin. Tuloksesta voidaan nähdä, että ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila saattavat luoda homeen syntymiselle suotuisat olosuhteet puukoolausten ilmaraon puoleiselle pinnalle.

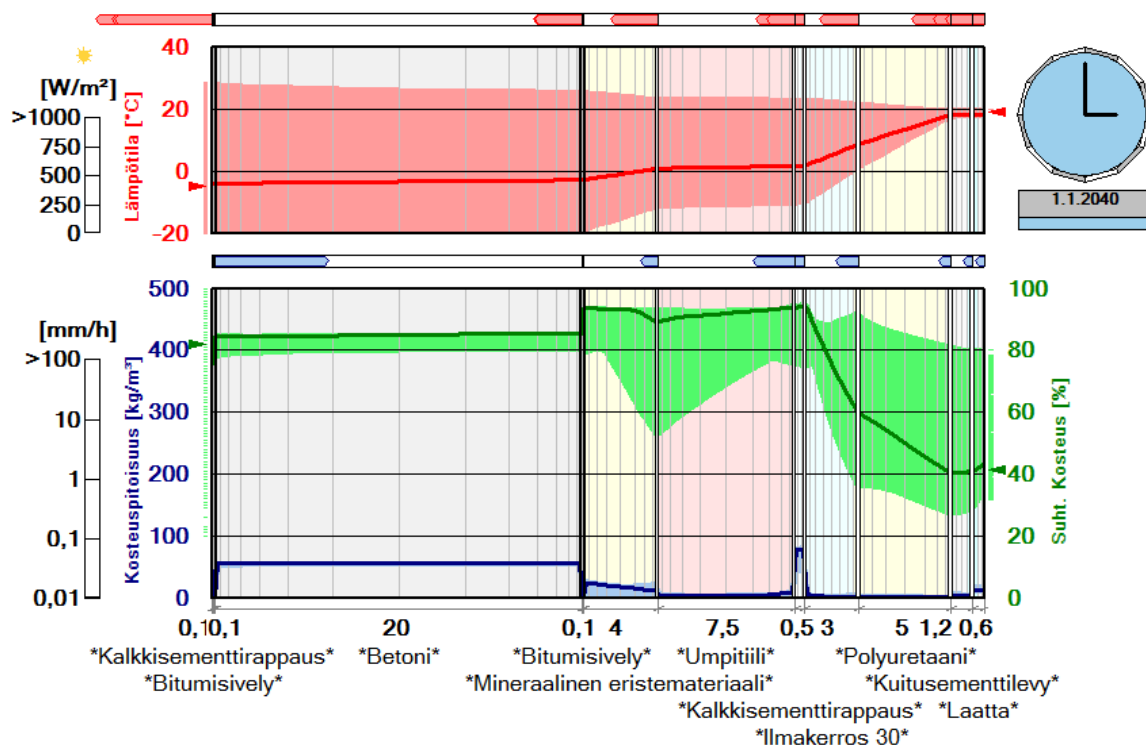


Kuva 32. Lämpötila ja suhteellisen kosteuden vaihtelut polyuretaanieristeen ilmaraon puoleisella pinnalla. Maanpinnan alapuolella (Hämäläinen 2017)

Polyuretaanieristeen ilmaraon puoleisen pinnan suhteellinen kosteus on jatkuvasti 70-75 % välillä ja lämpötila noin 20 °C asteessa (kuva 32). Suomalaisen homemallin mukaan suhteellisen kosteuden täytyisi olla yli 80 % jotta homeen kasvua syntyisi. Tässä tilanteessa se ei ylity. Tämä ei kuitenkaan takaa sitä, etteikö homeen kasvua pääsisi koskaan tapahtumaan, esimerkiksi muuttuvien olosuhteiden takia.

## 4.8.6 Sisäpuolelta lisälämmöneristetty pesuhuone

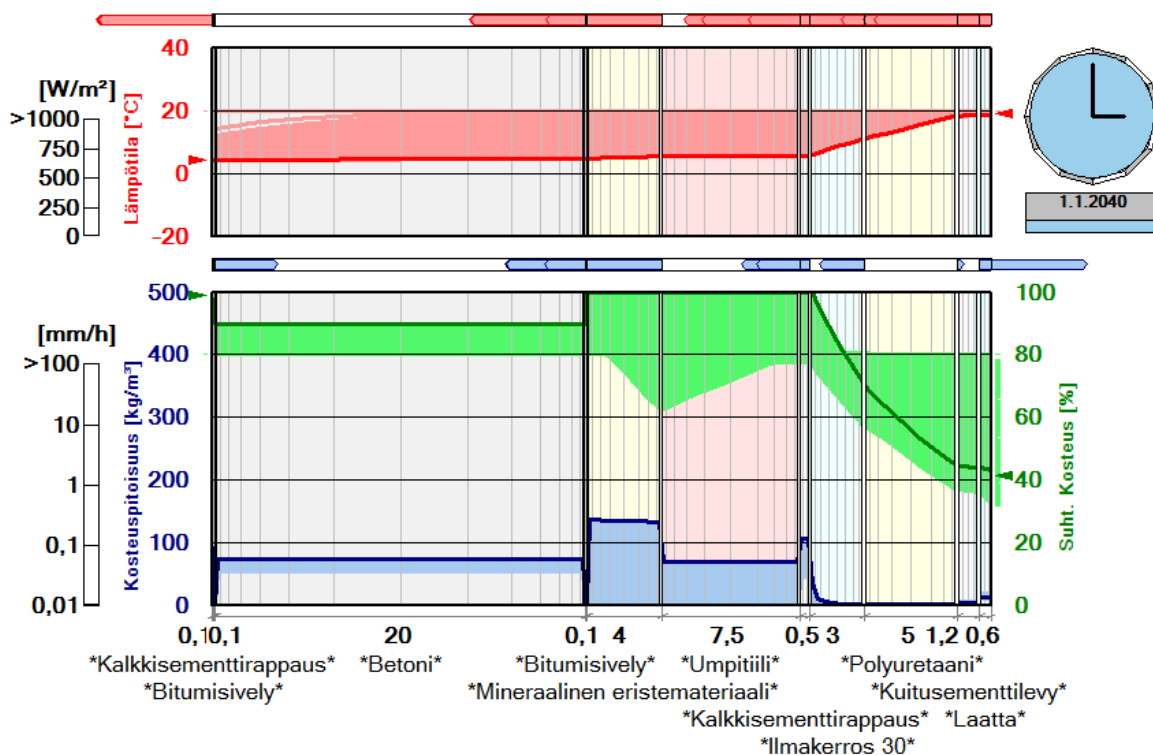
Lisälämmöneristetyin pesuhuoneen seinärakenne on samankaltainen kuin lisälämmöneristetyin askarteluhuoneen. Kipsilevyn tilalla on kuitusementtilevy ja pinnalla seinälaatta. Lisäksi erona on, ettei maanpinnan alapuolella olevan seinärakenteen ulkopuolella ole polystyreenilevyä, eikä patolevyä.



Kuva 33. Lisälämmöneristetyin pesuhuoneen simulointitulokset maanpinnan yläpuolelta (Hämäläinen 2017)

Suhteellinen kosteus nousee mineraalieristeessä ja umpitiilessä sisäpuolisesta lisälämmöneristyksestä johtuen (kuva 33), samalla tavalla kuin lisälämmöneristetyssä askarteluhuoneessa. Askarteluhuoneen tilanteeseen nähden mineraalieristeen ja umpitiilen kosteuspitoisuus on kuitenkin alhaisempi. Tämä johtuu siitä, että laatta ja kuitusementtilevy vastustavat sisäpuolelta tulevan vesihöyryn pääsyä rakenteeseen enemmän kuin askarteluhuoneessa oleva kipsilevy.

On huomioitava, että koska pesuhuoneen kosteuslisänä on käytetty luokkaa 3 (kuva 11) on sisäilman kosteuslisä todellisuudessa peseytymisten aikana hetkellisesti paljon suurempi. Ohjelma käyttää simuloitua kosteuslisää ulkoilman lämpötilasta riippuen, 24 tuntia vuorokaudessa. Tästä syystä on vaikea arvioida todellista pesuhuoneen kosteuslisää, koska pesuhuoneen käyttötunnit ovat melko vähäiset esimerkiksi viikon aikajaksolla ajateltuna. Se kuinka paljon ja kuinka pitkä kosteuslisä on, riippuu käyttäjistä. Kosteuslisään vaikuttavat muun muassa peseytyvien ihmisten määrä ja se, kuinka pitkään ja usein peseydytään. Myös tuuletuksella on suuri merkitys. Tuloksia tarkastellessa voidaan kuitenkin olettaa, että materiaalien kosteuspitoisuudet ovat todellisuudessa hieman korkeammat.



Kuva 34. Lisälämmöneristetyn pesuhuoneen simulointitulokset maanpinnan alapuolelta (Hämäläinen 2017)

Tuloksista nähdään, että eristeen ja tiilen kosteuspitoisuus on erityisen korkea maanpinnan alapuolella (kuva 34). Huomattavasti korkeampi kuin lisälämmöneristetyn askarteluhuoneen maan pinnan alapuolella. Tämä johtuu siitä, että koska pesuhuoneen puoleisella ulkoseinällä ei ole maanpinnan alapuolella eristelevyä, on koko seinärakenteen lämpötila alhaisempi. Seinärakenteen alhaisempi lämpötila saa aikaan sen, että suhteellinen kosteus nousee helpommin korkeammaksi, mikä taas nostaa mineraalieristeen ja tiilen kosteuspitoisuutta. Lisäksi sisäpuolella oleva kuitusementtilevy jonka vesihöyrynvastus on korkea, hidastaa kosteuden pyrkimystä siirtyä sisälle päin.

Homeen kasvulle olosuhteet ovat parhaimmat alkuperäisissä mineraalieristeissä. Suhteellinen kosteus ja materiaalin kosteuspitoisuus ovat erittäin korkealla ja lämpötila plussan puolella. Puisten koolauspuiden pinnalla suhteellinen kosteus pysyi alle 80 %

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Talo oli alun perin suunniteltu maalattavaksi vesihöyryä läpäisevällä öljymaalilla. Rakenne on voinut toimia ilman kosteusvaurioita, vaikka riski kosteuspitoisuuden nousulle on ollut purueristeen ulkopuolisissa materiaaleissa. Riski johtuu siitä, ettei ulkoverhouspaneelin takana ole tuuletusrakoa. Jos ulkoverhouspaneelin takana on hyvin tuuletettava ilmarako, ei tällöin sisäpuolelta tuleva vesihöyry ole ongelma. Ei myöskään siinä tapauksessa, vaikka ulkoverhouspaneeli olisi maalattu polyakrylaattimaalilla. Taloa on kuitenkin viimeiset vuosikymmenet huoltomaalattu käyttäen polyakrylaattimaalia. Maali luo ulkoverhouspaneelin pintaan heikosti vesihöyryä läpäisevän kerroksen. Tämä aiheuttaa suuren riskin, että talon ulkoseinän uloimmat materiaalit altistuvat jatkuvalle kosteusrasitukselle. Tästä voi aiheutua home- tai lahovaurioita.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että vesihöyrynläpäisevyysvastuksen tulisi pienentyä aina rakenteesta ulospäin mentäessä. Tärkeä rooli on myös ulkoverhouspaneelin takana olevalla tuuletusraolla. Jos sitä ei ole tai se on estynyt, ei vesihöyry pääse tällöin poistumaan vapaasti ulkoilmaan.

Kellarin sisäpuolisen eristyksen ongelmat muodostuvat siitä, että alkuperäinen rakenne muuttuu kylmemmäksi. Kun ilma siirtyy kylmempää ilmaa kohti, tällöin sen suhteellinen kosteus kohoaa. Materiaalit jotka ovat pitkään olosuhteissa, jossa ilman suhteellinen kosteus on suuri. Alkaa niiden kosteus pitoisuus nousta. Kellarin ulkoseinä on ollut riskirakenne jo alun perin, koska mineraalieristeen ja bitumisivelyn pinnalla suhteellinen kosteus on jatkuvasti korkea.

Vaikka kellarin alkuperäinen seinärakenne olisikin jatkuvasti kostea, ei tämä välttämättä aiheuta sisäilman ongelmia, jos esimerkiksi seinän sisäpuolinen rappaus on ehjä, eikä eristeestä ole suoraa ilmayhteyttä sisäilmaan. On kuitenkin hyvä tiedostaa, että riski on olemassa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli verrata talon alkuperäisiä ja lisälämmöneristettyjä rakenteita simulointiohjelman avulla ja tutkia niiden mahdollisia riskejä. Simulointiohjelman tuloksien perusteella seinärakenteissa havaittiin riskejä. On muistettava, että simuloinnin tulokset ovat suuntaa antavia, eikä niitä voida pitää ehdottomana totuutena. Tulokset ovat kuitenkin hyvä lähtökohta rakenteiden tarkempia tutkimuksia varten. Opinnäytetyö tuli hyvään saumaan, koska talossa olevat rakenteet ovat tulleet käyttöään päähän ja vaativat uusimista. Rakenteiden uusimisen yhteydessä voi kiinnittää erityistä tarkkuutta opinnäytetyössä havaittuihin riskeihin. Opinnäytetyöstä on suuri hyöty työn tilaajalle uusiessa ja suunniteltaessa korjaavia rakenteita.

## LÄHTEET

SIIKANEN, Unto. 2014. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy

BJÖRKHOLTZ, Dick. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy

Hengitysliitto.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-11-11] Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/rakennusten-kosteus-ja-homevauriot/mita-rakennusten-mikrobit-ovat>

Wufi.de [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-11-11] Saatavissa: <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>

Puinfo.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-11-11] Saatavissa: <http://www.puinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Tut.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-11-11] Saatavissa: <http://www.tut.fi/fi/tutkimus/tutkimus-alat/rakennustekniikka/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli>

Gtk.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-11-11] Saatavissa <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>

## LIITE 1: MATERIAALIEN LÄHTÖARVOT

## Lähteet:

RakMK C4.
Fraunhofer-IBM – Holzkirchen, Saksa tietokannasta.
RIL 255-1-2014 kirjasta.
Oma arvio

Materiaali	Raakatiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Raja-arvot(jos on)	Huokoisuus (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Ominaislämpökapasiteetti, kuiva, (J/kgK)	Lämmönjohtavuus, kuiva, 10C (W/mK)	Raja-arvot (jos on)	Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin (-)	Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin (-)	Diff.vas.kertoimenä käytettävä arvo
Betoni	2200	2000-2400	0,18	1000	1,65	1,37-2,5	92	70...120	95
Polystyreeni. (EPS 50mm)	15	10-50	0,95	1450	0,05	-	30	30	32,5
Polyuretaania (Finnfoam 50mm)	35	28-55	0,95	1400	0,030	0,024-0,030	50	160-4900	50
Sahanpuru sullottuna	200	-	0,883	1600	0,08	-	3,3	2	3,3
Mineraalivilla, levy ja matto (Lasivillalevy)	115	10-200	0,95	1030	0,05	-	3,4	1...1,2	3,4
Täystiilet. (Poltettu tiili 75)	1500	1300-1700	0,38	1000	0,65	0,6-0,7	17	4...13	17
Puu. (Ulkooverhouspaneeli (tiheä))	700	450-700	0,47	1600	0,15	0,12-0,18	200	50 (200, jos RH <70%)	50
Puu. (Vinolaudoitus)	500	450-700	0,73	1600	0,13	0,12-0,18	130	50 (20, jos RH >70%)	20
Puukuitulevy (Halltex levy 12mm) *	250	250-800	0,8	1700	0,07	0,070-0,18	12,5	13	13
Lastulevy 12mm	600	300-900	0,5	1700	0,14	0,10-0,18	70	50	50
Kipsilevy 13mm	700	700-900	0,65	1000	0,21	0,21-0,25	8,3	7...10	8,3
Kalkkisementtilaasti (Rappaus)	1800	-	0,3	1000	1,0	-	25	17...26	25
Kuitusementtilevy 12mm	1100	1100-1500	0,48	900	0,25	-	28	17...54	37
Ilmarako 30mm	1,23	-	0,999	1008	0,025	-	0,46	-	0,46
Ilmansulkupahvi 2mm	400	-	0,5	1700	0,1	-	-	10(5 jos RH>70%)	10
Pinkopahvi 2mm	400	-	0,5	1700	0,1	-	-	10(5 jos RH>70%)	10
Höyrynsulkumuovi(mallinnettaessa 1mm)	980	-	0,001	2000	0,4	-	-	47000	47000
Bitumisively 3mm	1100	-	0,001	1000	0,23	-	-	50000...100000	50000
Laatta 6mm	2000	-	0,001	850	1,3	-	-	310	310

\* Käytetään raakatiheytenä ja lämmönjohtavuutena alinta raja-arvoa, koska esim huokoleijonalla joka on samankaltainen levy, tiheys ja lämmönjohtavuus ovat samankaltaiset

## Kirjan RIL 255-1-2014 antamat raja-arvot diffuusiovastuskertoimeksi samankaltaisille materiaaleille.

Materiaali	Perustelut
Betoni	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 70-120 riippuen RH-pitoisuudesta. Käytetään keski-arvoa.
Polystyreeni. (EPS 50mm)	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi "EPS 60S seinä" 27...38. Tämä on lähimpänä oleva tuote mistä tieto on saatavilla. Käytetään tämän keskiarvoa.
Polyuretaania (Finnfoam 50mm)	RIL antoi diff.vas.kertoimeksi raja-arvot 160-4900. Talossa olevaa finfoam levyä ei ole kuitenkaan eristetty tiiviiksi polyuretaanilla eikä muullakaan, vaan levyt ovat koolauksien välissä vapaana. Tämän takia käytetään arvoa 50, mikä on saksalaisten lähteestä ja lähempänä totuutta.
Sahanpuru sullottuna	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 2 "Sahanpuru (irtoeriste)" Tiheyden ollessa 168kg/m <sup>3</sup> . Sullotun sahanpurun tiheys on kuitenkin enemmän. Vertailuna lastuvillalevy, minkä tiheyden ollessa 250...450kg/m <sup>3</sup> arvo on 5, kun RH <70% ja 3 kun RH >70%. Käytetään näiden noin keski-arvoa.
Mineraalivilla, levy ja matto (Lasivillalevy)	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 1-1,2 pinnoittamattomalle lasivillalevyille. Talossa sokkelin välissä oleva eriste on kuitenkin pinnoitettu paperille/pahvilla joten käytetään vastuksena 3,4 mikä on Fraunhofer-IBM – Holzkirchen tietokannasta.
Täystiilet. (Poltettu tiili 75)	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi "Poltettu tiili" 4-13. Talossa oleva tiili on erityisen lujaa joten voidaan käyttää arvoa 17.
Puu. (Ulkooverhouspaneeli (tiheä))	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 200 puutavarelle jonka tiheys on 700kg/m <sup>3</sup> . Tämä silloin jos RH on vähemmän kuin 70%. RH:n ollessa sama tai enemmän kuin 70%, arvo on 50 ja koska kyseessä on ulkooverhouspaneeli joka on kosteusrasitukselle erityisen altis, käytetään arvona 50.
Puu. (Vinolaudoitus)	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 50 puutavarelle jonka tiheys on 450-500kg/m <sup>3</sup> . Tämä silloin kun RH on pienempi kuin 70%. Jos RH sama tai enemmän kuin 70%, käytetään arvoa 20. Saksalainen lähde antoi arvoksi 130.
Puukuitulevy (Halltex levy 12mm) *	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 13.
Lastulevy 12mm	Ril antaa diff.vas.kertoimeksi 27...63 "Lastulevy, yleisesti". 50 jos RH <70% ja 10...20 kun RH sama tai suurempi kuin 70%. Oletus että RH pienempi kuin 70%, joten käytetään arvoa 50.
Kipsilevy 13mm	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 7...10 "Kipsilevy 12,5mm" Käytetään arvoa 8.3
Kalkkisementtilaasti (Rappaus)	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 17...26 "Kalkkisementtilaasti". Käytetään arvoa 25. Vertailuna sementtilaasti jonka arvo on 26...130.
Kuitusementtilevy 12mm	RIL antaa diff.vas.kertoimeksi 17...54 "Kuitusementtilevy, yleisesti" Käytetään näiden keskiarvoa.
Ilmarako 30mm	
Ilmansulkupahvi 2mm	Tiheys, ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus ja diff.vas.kerroin ovat "Kuitulevy ja MDF yleisesti" tietoja, RIL:n kirjasta. Ilmansulkupahvi muistuttaa ohutta MDF-levyä.
Pinkopahvi 2mm	Käytetään samoja arvoja kuin ilmansulkupahvissa.
Höyrynsulkumuovi(mallinnettaessa 1mm)	Arvot on otettu vertailemalla esim "Seinäpäällyste muovinen 1mm", bitumi- ja höyrynsulkumuovi arvoja keskenään. Arvot ovat suuntaa antavat.
Bitumisively 3mm	RIL:n kirjasta.
Laatta 6mm	Ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus ja diff.vas.kerroin ovat "Keraaminen laatta 150x150x6 (saumattuna)" tietoja, RIL:n kirjasta. Tiheys on lasimosaiikin tieto. Tällä lämmönjohtavuus 1,2 ja ominaislämpökapasiteetti 750.