

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ville Neuvonen

VALESOKKELIRAKENTEEN FEM-MALLINTAMINEN

Opinnäytetyö  
Lokakuu 2015



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Lokakuu 2015**  
**Rakennustekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU

**Tekijä**  
Ville Neuvonen

**Nimeke**  
Valesokkelirakenteen FEM-mallintaminen

**Tiivistelmä**

Valesokkelirakenne oli yksi yleisimmistä perustamisratkaisuista 70- ja 80-luvuilla. Se on tuulettumaton tai huonosti tuulettuva rakenne, missä seinärungon alaosan rakenteet ovat lattiapinnan alapuolella ja maanpinnan tasolla tai jopa sen alapuolella. Rakenne on luokiteltu riskirakenteeksi huonon kosteusteknisen toimivuutensa takia. Valesokkelikorjauksen tarve on arvioitu olevan yli 50 000 pientalossa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia valesokkelirakenteen ja sen korjausvaihtoehdon kosteus- ja lämpötekniistä käyttäytymistä Comsol Multiphysics -ohjelman ja kirjallisuudesta saadun tiedon avulla. Työssä pyrittiin saamaan selville, miten kosteus- ja lämpötekniiset ominaisuudet valesokkelirakenteessa paranevat sen korjauksen myötä. Korjausvaihtoehdoksi valittiin Valesokkelipalkki. Valesokkelipalkki on Takotek OY:n kehittämä valesokkelirakenteen korjausmenetelmä. Palkki on polyuretaania ja sen sisään on upotettu kantava poimulevy.

Tutkimustulokset osoittivat valesokkelirakenteen olevan kosteusteknisesti huono perustamisratkaisu. Valesokkelirakenteen kosteus- ja lämpötekniiset ominaisuudet paranivat käytettäessä Valesokkelipalkkia korjauksen yhteydessä.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 35  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 6

**Asiasanat**  
valesokkelirakenne, kosteus, fem, comsol multiphysics



**THESIS**  
**October 2015**  
**Degree Programme in civil engineering**  
Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND

Author  
Ville Neuvonen

Title  
FEM-modeling of the False Plinth Structure

#### Abstract

The fake plinth structure was a typical solution in building foundations in the 1970s and 80s. The structure wasn't ventilated well enough to remove moisture from the wooden parts of the wall below the floor surface, in the same level or under the ground level. The structure is classified as a risk structure nowadays. There is approximately 50 000 houses which are need to be renovated.

The purpose of this thesis was to examine the structure with a software called Comsol Multiphysics and find out the changes in thermal insulation and humidity after repairing the structure. False plinth beam (Valesokkelipalkki) was chosen as the solution for the repair work. It is made of polyurethane with a corrugated steel inside it.

The results indicated that the fake plinth structure is a poor solution for being used as a foundation. The biggest problem is the moisture which can be absorbed to the structure easily. The results show that when using False plinth beam as a repair solution, the moisture does not get absorbed into the wooden parts of the wall anymore.

Language  
Finnish

Pages35  
Appendices 2  
Pages of Appendices 6

#### Keywords

Moisture, false plinth structure, fem, comsol multiphysics

# SISÄLTÖ

1	Johdanto .....	5
2	Kosteus.....	6
2.1	Ilman kosteus.....	6
2.2	Vesihöyryn siirtyminen diffuusiolla .....	7
2.3	Veden kapillaarinen siirtyminen .....	8
2.4	Konvektio .....	8
3	Lämmön siirtyminen rakenteessa .....	8
4	Valesokkelirakenne.....	11
5	Valesokkelipalkki .....	13
6	Opinnäytetyön toteutus .....	16
6.1	Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä.....	16
6.2	Cmsol Multiphysics .....	16
6.3	Alkuperäinen rakenne.....	17
6.4	Korjatut rakenteet .....	18
6.5	Työprosessi .....	21
7	Tulokset .....	22
7.1	Valesokkelirakenne.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.2	Korjattu rakenne ilman lisäeristystä .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.3	Korjattu rakenne lisäeristyksellä .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.4	Lämpötekniinen tarkastelu.....	30
8	Pohdinta.....	31
8.1	Johtopäätökset .....	31
8.2	Luotettavuuden tarkastelu.....	33
8.3	Oppimisprosessi .....	34
8.4	Jatkotutkimusideat .....	34
	Lähteet.....	35

## Liitteet

Liite 1	Mallintaminen Cmsol Multiphysics -ohjelmalla
Liite 2	Suomen kuukausittainen keskilämpötila

## 1 Johdanto

Valesokkelirakenteita esiintyy 60-luvulta aina 90-luvun alkuun rakennetuista pientaloista. 70–80-luvulla rakenne olikin yksi yleisimmistä perustamistavoista omakoti- ja rivitaloissa. Kyseinen rakenne on luokiteltu jälkeensä riskirakenteeksi huonon kosteusteknisen toimivuutensa takia. Valesokkelin seinärungon alaosan rakenteet ovat jatkuvassa kosteusrasituksessa, koska ne sijaitsevat maanpinnan tasolla tai jopa sen alapuolella. Maanpinnalta tuleva kosteus imeytyy betonin kautta suoraan seinärakenteen puuosiin pitäen rakenteen koko ajan kosteana. Tämä aiheuttaa rakenteeseen otolliset olosuhteet kosteus- ja mikrobivaurioiden synnylle.

Valesokkelirakenteita on pyritty perinteisesti korjaamaan harkkomuurauksen avulla. Vanhat kosteusvaurioituneet puuosat ja kastuneet villaeristeet on poistettu, minkä jälkeen sokkelin päälle on tehty harkkomuuraus. Muurauksen avulla alaohjauspuuta on näin ollen saatu korotettua, mikä parantaa rakenteen kosteusteknisiä ominaisuuksia.

Takotek OY on kehittänyt harkkomuuraukselle vaihtoehtoisen korjaustavan. Valesokkelipalkki on polyuretaanieristeestä tehty kantava palkki. Palkin kantavana osana toimii poimulevy, mikä on sinkittyä terästä. Opinnäytetyössä tutkin valesokkelirakenteen ja valesokkelipalkilla korjatun rakenteen kosteus- ja lämpötekniisiä ominaisuuksia. Työssä oli tarkoitus saada selville, miten kosteus- ja lämpötekniiset ominaisuudet rakenteessa paranevat korjauksen myötä.

Työssä tutkin rakenteita Comsol Multiphysics -ohjelman avulla. Ohjelma perustuu elementtimenetelmään (FEM) ja ratkaisee osittaisdifferentiaaliyhtälöitä. Ohjelman avulla pystyin ratkaisemaan lämmön ja kosteuden siirtymisiä rakenteissa.

## 2 Kosteus

Kosteus on kemiallisesti sitoutumatonta vettä. Se voi esiintyä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa. Kaasumaisessa olomuodossaan se on vesihöyryä ja kiinteässä jäätä. [1, s. 2.] Veden olomuodon muuttuessa vapautuu tai sitoutuu aina energiaa. Tiivistyessä ja jäätyessä energiaa vapautuu, kun taas sulaaessa ja höyrystyessä energiaa sitoutuu. [2, s. 163.]

### 2.1 Ilman kosteus

Normaalioloissa ilmaan haihtuu aina jonkin verran kosteutta. Ilmassa olevan kosteuden määrä voidaan ilmaista eri tavoin. Absoluuttinen kosteus kertoo, kuinka paljon vesihöyryä on yhdessä kuutiometrissä ilmaa. Se saadaan kaavan 1 avulla [2, s. 220].

$$\rho = \frac{p_v}{461,4 * T} \quad (1)$$

missä

$\rho$	vesihöyrynpitoisuus (kg/m <sup>3</sup> )
$p_v$	vesihöyryn paine (Pa)
$T$	lämpötila (K)

Kyllästyskosteus on kosteuden määrä, mikä ilmassa voi enimmillään olla, ennen kuin vesihöyry alkaa tiivistyä nesteeksi. Lämpötila määrää aina, kuinka paljon vesihöyryä voi olla ilmassa. Mitä lämpimämpi ilma on, sitä enemmän ilma voi sisältää vesihöyryä. [3, s. 43.] Kyllästyskosteutta kuvataan termillä  $\rho_{kyl}$ .

Suhteellinen kosteus (RH%) on prosenttiluku, joka ilmaisee, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä siihen nähden, mitä tietyssä lämpötilassa voi enimmillään olla vesihöyryä. Suhteellinen kosteus on siis absoluuttinen kosteus jaettuna kyllästyskosteudella. Tämä on rakennustekniikan yksi tärkeimmistä vesihöyryn

pitoisuutta kuvaavista termeistä. Kaavan 2 mukaan lasketaan suhteellinen kosteus. [2, s. 221-222.]

$$RH(\%) = \frac{\rho}{\rho_{kyl}} * 100 \% \quad (2)$$

Kun ilman lämpötila alkaa laskea, ja mikäli vesihöyrypitoisuus ei muutu muiden ulkoisten tekijöiden seurauksesta, suhteellinen kosteus saavuttaa 100 %. Tämä tarkoittaa sitä, että vesihöyry alkaa kondensoitumaan, eli tiivistymään nesteeksi. Lämpötilaa, missä vesi alkaa tiivistymään, kutsutaan kastepisteeksi. [2, s. 222.]

Taulukko 1. Vesihöyryn kyllästyskosteus ja kyllästyspaine eri lämpötiloissa [4, s. 4].

Ilman ominaisuuksia normaali ilmakehän paineessa 101325 Pa (vesihöyryn kyllästyskosteus ja kyllästyspaine)

Lämpö-tila C	Kyll. kost. g/m <sup>3</sup>	Kyll. paine Pa	Lämpö-tila C	Kyll. kost. g/m <sup>3</sup>	Kyll. paine Pa	Lämpö-tila C	Kyll. kost. g/m <sup>3</sup>	Kyll. paine Pa	Lämpö-tila C	Kyll. kost. g/m <sup>3</sup>	Kyll. paine Pa	Lämpö-tila C	Kyll. kost. g/m <sup>3</sup>	Kyll. paine Pa
-20	0,88	102	-10	2,20	266	0	4,85	611	10	9,45	1234	20	17,28	2337
-19	0,95	111	-9	2,40	292	1	5,21	658	11	10,06	1318	21	18,31	2484
-18	1,04	122	-8	2,61	319	2	5,58	708	12	10,71	1408	22	19,40	2640
-17	1,14	135	-7	2,84	348	3	5,98	762	13	11,39	1502	23	20,54	2805
-16	1,25	149	-6	3,08	379	4	6,40	818	14	12,10	1603	24	21,74	2979
-15	1,38	164	-5	3,33	412	5	6,84	878	15	12,86	1708	25	23,00	3162
-14	1,52	181	-4	3,60	447	6	7,31	941	16	13,65	1820	26	24,32	3355
-13	1,67	200	-3	3,89	485	7	7,80	1008	17	14,49	1939	27	25,71	3559
-12	1,83	221	-2	4,19	524	8	8,32	1079	18	15,37	2064	28	27,17	3773
-11	2,01	243	-1	4,51	566	9	8,87	1154	19	16,30	2197	29	28,70	3999
												30	30,31	4237

## 2.2 Vesihöyryn siirtyminen diffuusiolla

Kun sisä- ja ulkoilman välillä vallitsee vesihöyrynpitoisuusero, tapahtuu fysikaalinen ilmiö nimeltä diffuusio. Diffuusiosta vesihöyry siirtyy suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta kohti pienempää pitoisuutta. Mitä suurempi vesihöyrynpitoisuusero rakenteen eri puolilla on, sitä voimakkaammin diffuusio tapahtuu. Rakennusteknisesti ajateltuna tätä tietoa tarvitaan, kun tarkastellaan tilannetta, missä diffuusion vaikutuksesta lämmin sisäilma siirtyy rakenteesta ulospäin kohti kylmempää ilmaa. Tämän avulla pyritään ratkaisemaan, tiivistyykö

kosteutta rakenteeseen. Kesäisin diffuusio ei ole niin voimakasta pienempien lämpötila- ja vesihöyrypitoisuuserojen takia. [5, s. 2.]

### **2.3 Veden kapillaarinen siirtyminen**

Kapillaarisuus tarkoittaa maaperän ja rakennusaineiden kykyä imeä ja siirtää itseensä vettä, kun ne ovat kosketuksissa veteen. Vesi pystyy siirtymään huokoisiin materiaaleihin veden pintajännitysvoimien aiheuttaman huokosalipaineen vaikutuksesta. Kapillaarinen siirtyminen on sitä voimakkaampi, mitä pienempi on materiaalin huokoskoko. Tästä syystä rakennusten ja maaperän väliin tulisi aina laittaa suurta raekokoa oleva kapillaarisen nousun katkaiseva kerros. Suuren raekoon ansiosta vesi ei pääse nousemaan maaperässä ylöspäin. [5, s. 3.]

### **2.4 Konvektio**

Konvektio on vesihöyryn siirtymistä ilmavirtauksien mukana. Vesihöyry siirtyy ilmavirtauksien mukana jos rakenteen eri puolilla vallitsee erilaiset ilman osapaine-erot. [3, s. 57-58.]

## **3 Lämmön siirtyminen rakenteessa**

Lämpö voi siirtyä rakenteessa johtumalla. Johtuminen tarkoittaa aineen lämpötilaeron tasoittumista. Jos esimerkiksi puisen kepin toista päätä lämmitetään, eli siihen tuodaan lämpöenergiaa, kepillä olevien atomien energia lisääntyy ja lämpötila nousee. Näin ollen tämä syntynyt lämpötilaero pyrkii tasoittumaan. Kepissä olevat vierekkäiset molekyylit vaihtavat toistensa kanssa energiaa, minkä seurauksena lämpö johtuu kohti kepin viileämpää päätä. Lämpövirta voidaan laskea kaavasta 3. [3, s. 12.]



$$\phi = \lambda * \frac{\Delta T}{d} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (3)$$

missä

$\phi$	lämpövirta (W/m <sup>2</sup> )
$\lambda$	materiaalin lämmönjohtavuus (W/mK)
$d$	materiaalin paksuus (m)
$\Delta T$	lämpötila ero materiaalin eri puolilla (K)

Lämpövirran kaava 3 voidaan myös asettaa muotoon

$$\phi = \frac{\Delta T}{\frac{d}{\lambda}} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (4)$$

Yksittäisen materiaalin paksuuden ( $d$ ) ja lämmönjohtavuuden suhdetta ( $\lambda$ ) kutsutaan lämmönvastukseksi  $R$ . Ainekerroksen lämmönvastus saadaan laskettua kaavasta 5 [6, s. 7].

$$R = \frac{d}{\lambda} \text{ (m}^2\text{K/W)} \quad (5)$$

Lämmönvastus kuvaa rakenneosan kykyä vastustaa lämmönsiirtymistä rakenneosan lävitse. Mitä suurempi lämmönvastuksen arvo on, sitä paremmin se eristää lämpöä. Kun rakenne sisältää useita lämmönjohtavuudeltaan ja paksuudeltaan erilaisia ainekerroksia, niin kyseisen rakenneosan kokonaislämmönvastus  $R_T$  saadaan kaavasta 6. [6, s. 7].

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (6)$$

missä

$R_T$	Rakennusosan kokonaislämmönvastus (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{si}$	Sisäpuolen pintavastus (m <sup>2</sup> K/W)
$R_1, R_2, \dots, R_n$	Rakennusosan ainekerrosten lämmönvastukset (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{se}$	Ulkopuolen pintavastus (m <sup>2</sup> K/W)

Taulukossa 2 on esitetty sisä- ja ulkopintavastusten arvot lämpövirran suunnan mukaan.

Taulukko 2. Rakenneosan sisä- ja ulkopuolen pintavastukset [6, s. 22].

Pintavastus m <sup>2</sup> K/W	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
sisäpuolen pintavastus (R <sub>si</sub> )	0,10	0,13	0,17
ulkopuolen pintavastus (R <sub>se</sub> )	0,04	0,04	0,04

Kokonaislämmönvastuksen käänteisluku  $1/R_T$  tarkoittaa rakenteen lämmönläpäisykerrointa  $U$ . Tätä kutsutaan yleisimmin  $U$ -arvoksi.  $U$ -arvo tarkoittaa lämpövirran määrää (W), mikä läpäisee 1m<sup>2</sup>:n suuruisen alan lämpötilaeron ollessa 1K (1°C).  $U$ -arvo saadaan siis kaavasta 7. [6, s. 6.]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (7)$$

missä

$U$	Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (W/m <sup>2</sup> K)
$R_T$	Rakennusosan kokonaislämmönvastus (m <sup>2</sup> K/W)

Muita lämmönsiirtymismekanismeja ovat konvektio ja lämpösäteily. Opinnäytetyössä lämmönsiirtymisen osalta keskityin vain johtumiseen, koska se on merkittävämpi osa rakenteen lämmönsiirtymistä, mikäli rakenne on tehty huolellisesti eikä siinä ole rakoja, mitkä aiheuttavat konvektiovuotoja.

## 4 Valesokkelirakenne

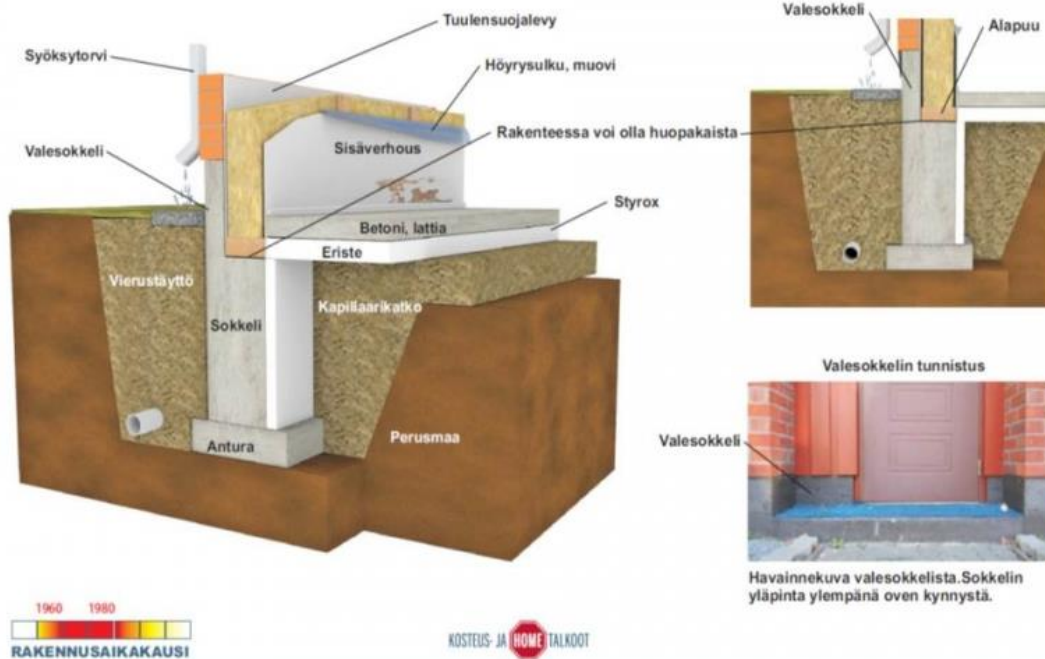
Valesokkelirakenne on 60-luvulta 90-luvun alkupuolelle esiintyvä perustamistapa. 70- ja 80-luvulla valesokkeli olikin yksi yleisimmistä perustamistavoista. Kyseinen rakenne on luokiteltu jälkeempään riskirakenteeksi sen huonon kosteusteknisen toteutuksen vuoksi. Valesokkelikorjauksen tarve on arvioitu olevan yli 50 000 pientalossa [7].

Valesokkelissa seinärungon alaosan rakenteet on lattiapinnan alapuolella ja maanpinnan tasolla tai jopa sen alapuolella. Alaohjauspuu on yleensä noin 100-200mm lattiapinnan alapuolella. [8, s. 32.] Sokkeli on halkaistu ja sen ulkokuorta on yleensä näkyvissä noin 300mm. Tyypillistä on myös se, että rakenteessa ei yleensä ole tarvittavaa tuuletusrakoa. Muurausta varten on saatettu jättää noin 10mm kynsirako, mutta laastipurseet täyttivät tiiliverhouksen takana olevan raon alaosan. Tiiliverhouksen alaosassa ei myöskään yleensä ole tuuletusaukkoja tiilien saumoissa. Seinää kasteleva viistosade pääsee kulkeutumaan laastia pitkin rakenteen sisään. [9, s. 18-19.] Kuvassa 1 on esitetty perinteinen valesokkelirakenne.

## PIENTALOJEN RISKIRAKENTEET

Valesokkelin rakennemalli

02A VALESOKKELI



Kuva 1. Valesokkelin rakennemalli [10, s. 11].

Kosteusvauriot valesokkelirakenteessa aiheutuvat pääosin määperän kosteuden kapillaarisesta nousemisesta sokkelin läpi huonosti tuulettuvaan tai tuulettumattomaan ulkoseinärakenteeseen. Myös sadevesien valuminen rakenteeseen riittämättömien maaperän kallistusten takia edesauttaa rakenteen kastumista [10, s. 14; 11, s. 5.]. Perustukset olivat useimmiten paikallavalettuja. Betonimuoteissa käytettiin tukipalikkana ns. surritappia. Jos surritappia ei poistettu valun yhteydessä, niin se lahoaa, ja sen kautta pääsee vettä kulkeutumaan rakenteen sisään. [10, s. 18.] Sokkelirakenteen ja perusmaa-aineksen välistä on usein puuttunut kapillaarisen veden nousun katkaiseva maa-aineskerros mikä helpottaa veden nousemista rakenteisiin [9, s. 18]. Ulkoseinärakenteessa kosteus pääsee tiivistymään alaohjauspuuhun sekä runkotolppien alaosaan ja ulkoseinävilloitukseen. Huonon tuulettuvuutensa takia kosteus ei pääse siirtymään rakenteesta pois, minkä seurauksena puu lahoaa ja rakenteeseen saattaa syntyä mikrobikasvustoa. [10, s. 12-15.]

## 5 Valesokkelipalkki

Valesokkelipalkki on Takotek OY:n kehittänyt yksi uusimmista valesokkelirakenteen korjausmenetelmistä. Palkki on polyuretaania ja sen sisään on upotettu kantava poimulevy. Poimulevy on kuumasinkittyä rakenneterästä, jonka teräslaatu on S350GD+Z275 MAC. Se toimii palkin kantavana rakenteena. Palkin kyljessä on lauta (20 x 120 mm) lattialistan kiinnitystä varten. Palkkeja löytyy 125 mm ja 100 mm levyisinä. Kuvassa 2 on esitetty valesokkelipalkki asennettuna.



Kuva 2. Valesokkelipalkki korjauskohteessa

Ennen korjausta on huolehdittava, että kosteusvaurion aiheuttaja on poistettu. Yleensä tämä tarkoittaa maa-alueiden kuivausta. Tähän tehdään tapauskohtaisesti erillinen suunnitelma. Tämän jälkeen sisäpuolinen levytys poistetaan, sekä höyrynsulku ja eristysmateriaalit poistetaan kosteusvaurioituneilta osin. Seinän pystyrungot katkaistaan sopivalta korkeudelta, jotta valesokkelipalkki saadaan asennettua ja uusi alaohjauspuu saadaan nostettua ylemmäs. Vanhat kosteusvaurioituneet alaohjauspuut ja runkotolppien alaosat poistetaan sokkelin päältä. Vanhat tiilimuurauksen laastipurseet on poistettava, jotta nämä eivät enää tukkisi ilmarakoa. On myös huolehdittava sokkelin sisäpuolisesta kuivauksesta sekä mikrobikasvuston desinfioimisesta ennen toimenpiteen jatkamista. [12, s. 2, 4-5.]

Valesokkelipalkit kiinnitetään sokkeliin liimakiinnitykseen soveltuvalla polyuretaanivaahdolla. Tämän lisäksi joka toinen valesokkelipalkki ankkuroidaan uretaanivaahdon lisäksi kiila-ankkureilla betoniin. Uusi alaohjauspuu asennetaan valesokkelipalkin päälle. Palkin ja alaohjauspuun väliin laitetaan yhtenäinen solumuovikaista. Kuvassa 3 on esitetty solumuovikaistan ja alaohjauspuun asentaminen. Alaohjauspuu kiinnitetään pystyrunkoon sinkityillä teräslevyillä, esim. 2 x 50 x 200. Levyt kiinnitetään vähintään 8kpl/levy itseporautuvalla sinkityillä ruuvilla laudan läpi. Joka toisen pystyrungon kohdalla on varmistettava, että ruuvit uppoavat poimulevyyn saakka. Kuvassa 4 on esitetty havainnekuva asennetuista valesokkelipalkeista korjauskohteessa. [12, s. 4-8.]



Kuva 3. Solumuovikaistan ja alaohjauspuun asennus korjauskohteessa.



Kuva 4. Havainnekuva asennetuista valesokkelipalkeista korjauskohteesta.

## 6 Opinnäytetyön toteutus

### 6.1 Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia valesokkelirakenteen ja sen korjausvaihtoehdon kosteus- ja lämpötekniistä käyttäytymistä Comsol Multiphysics- ohjelman ja kirjallisuudesta saadun tiedon avulla. Työn tarkoituksena oli myös saada selville, kuinka kosteus- ja lämpötekniiset ominaisuudet valesokkelirakenteessa paranevat sen korjauksen myötä. Autocad-ohjelman avulla tein 3D-mallit rakenteista. Rakenteita tuli yhteensä 3 kappaletta, joista ensimmäinen oli alkuperäinen valesokkelirakenne. Lisäksi tein kaksi mallia valesokkelin korjausvaihtoehdoista. Korjausratkaisuksi valitsin Termotuotteen valesokkelipalkin. Syötin mallit Comsol Multiphysics ohjelmaan, minkä avulla tarkastelin valesokkelin kosteus- ja lämpötekniistä käyttäytymistä.

Työssäni keskityin kosteuden osalta lähinnä diffuusion tarkasteluun. Comsolista saatujen tulosten perusteella pystytään näkemään, missä ovat kriittisimmät paikat mihin kosteus voi rakenteessa tiivistyä. Lämpötekniisesti tarkasteltiin lämmönsiirtymistä rakenteessa.

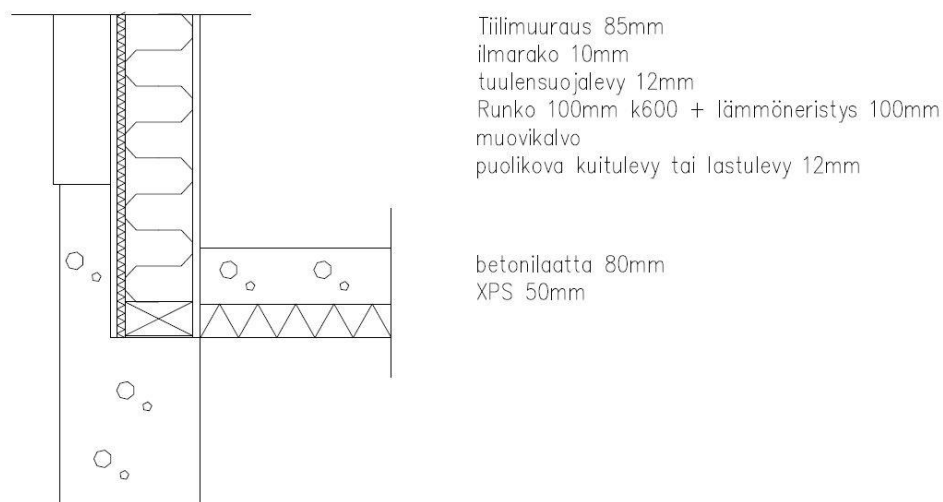
### 6.2 Comsol Multiphysics

Comsol Multiphysics on tietokoneohjelma, jolla voidaan mallintaa fysikaalisia ilmiöitä rakenteille. Ohjelma perustuu elementtimenetelmään (finite element method (FEM)) ja ratkaisee osittaisdifferentiaaliyhtälöitä. Opinnäytetyössä ohjelmaa käytettiin kosteuden ja lämmön siirtymisen mallintamisessa. Ohjelma tukee dwg-piirustuksia, joten rakenteet voitiin mallintaa Autocad-ohjelmalla ja siten siirtää suoraan Comsoliin [13].



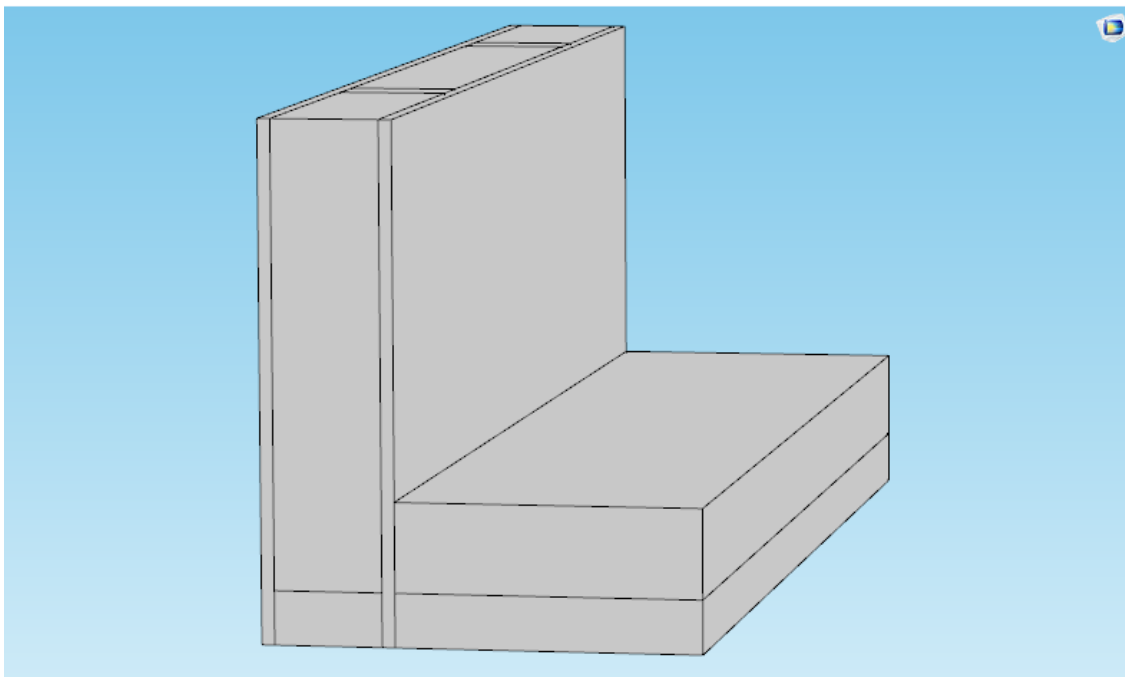
### 6.3 Alkuperäinen rakenne

Alkuperäiseksi rakenteeksi valitsin perinteisen 70-luvulla rakennetun valesokkelirakenteen [10, s. 11]. Kuvassa 5 on esitetty tutkittava rakenne.



Kuva 5. Valesokkelin rakennemalli

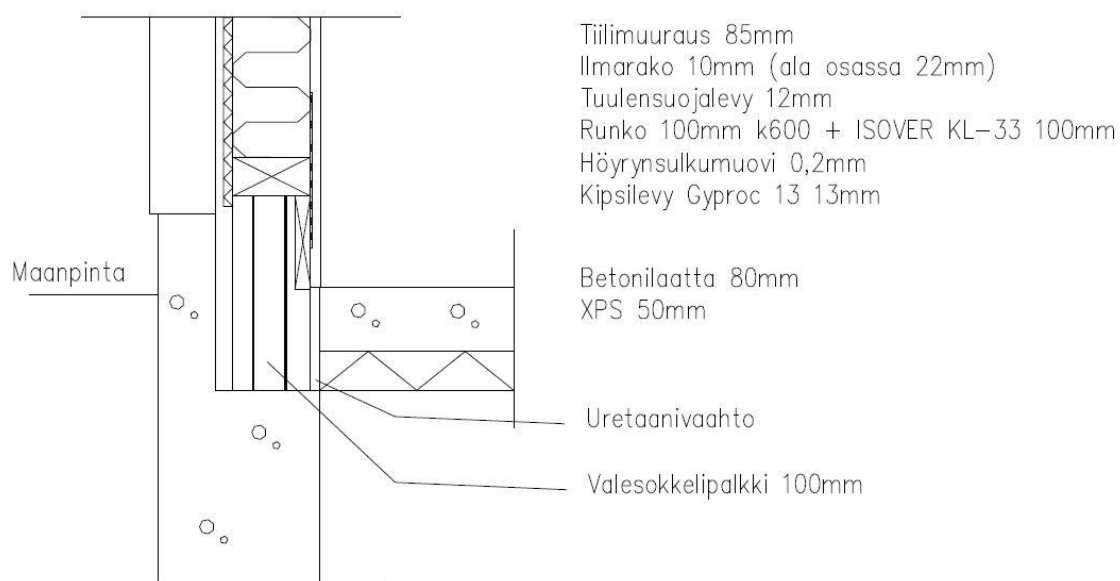
Rakennetta voitiin yksinkertaistaa Comsol-mallinnusta varten poistamalla tiilivuoraus ja sokkeli. Tiilimuuraus pystyttiin poistamaan, koska ilman lämpötila ja kosteus on sama tuuletusraossa kuin ulkopuolella rakennetta. Viistosateen vaikutusta ei myöskään pystytä mallintamaan comsolilla. Veden kapillaarista nousua ei pystytty mallintamaan comsolilla, joten valesokkelin kuoriosa jätettiin myös pois mallinuksesta. Kuvassa 6 on esitetty comsol-malli alkuperäisestä rakenteesta.



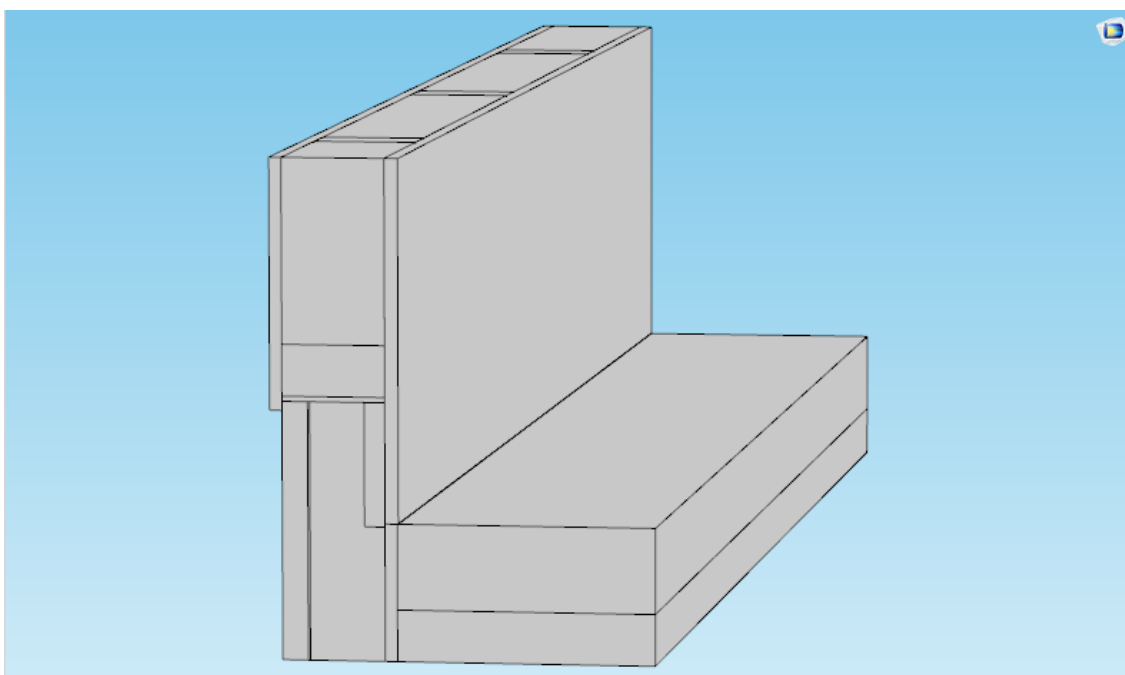
Kuva 6. 3D-malli yksinkertaistetusta valesokkelirakenteesta

#### 6.4 Korjatut rakenteet

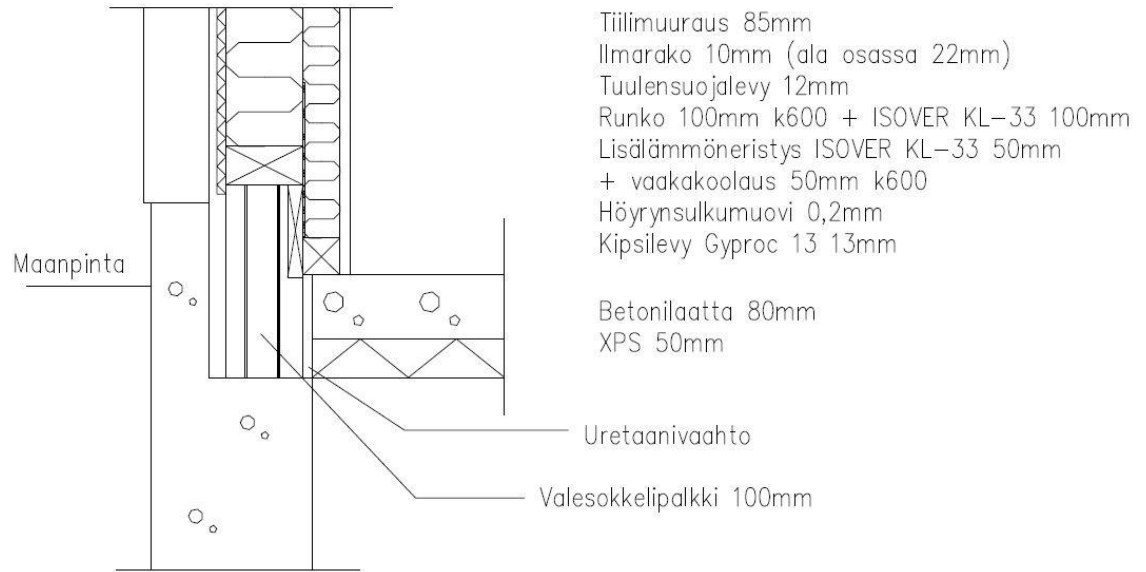
Valesokkelipalkeilla korjatut rakenteet pyrin mallintamaan mahdollisimman tarkasti. Rakenteissa ei toisiinsa nähden ollut muuta eroa paitsi lisäeristettyyn korjausratkaisuun laitoin 50 mm sisäpuolisen lisäeristyksen. Mallinsin myös rakenteelle teräslevyt, millä kiinnitetään valesokkelipalkki, alaohjauspuu sekä seinärunko toisiinsa. Rakennusmääräyskokoelma C2:n mukaan ilma- ja äänieristys tulisi ulkoseinärakenteessa olla vähintään 30 mm [1, s. 10]. Koska ilmarako alkuperäisessä tutkittavassa rakenteessa on vain 10mm, eikä siinä ole ulkopuolista vaakakoolausta, on rakenteen ilma- ja äänieristys suurentaminen korjauksen yhteydessä mahdotonta. Tästä syystä myös korjausvaihtoehdoissa jouduin käyttämään samaa ilmarakoa. Tämä ei tosin vaikuttanut Comsol – mallintamiseen millään lailla, koska poistin tiilivuorauksen mallintamisesta. Rakenteen tuuletusta pyrittäisiin oikeassa tilanteessa parantamaan aukaisemalla tiilimuurauksen alimman rivin vähintään joka kolmas pystysauma. Kuvissa 7 ja 9 on esitetty korjattujen rakenteiden rakennemalli. Kuvissa 8 ja 10 on esitetty korjattujen rakenteiden 3D-mallit.



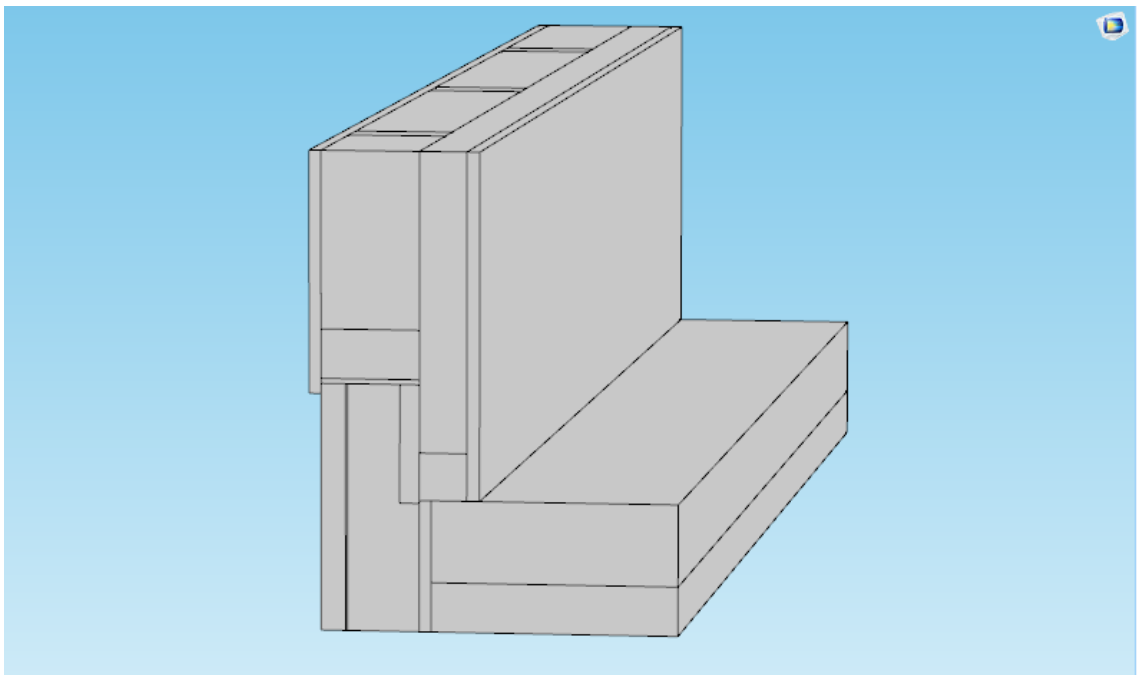
Kuva 7. Korjattu rakenne ilman lisäeristystä



Kuva 8. 3D-malli korjatusta rakenteesta ilman lisäeristystä



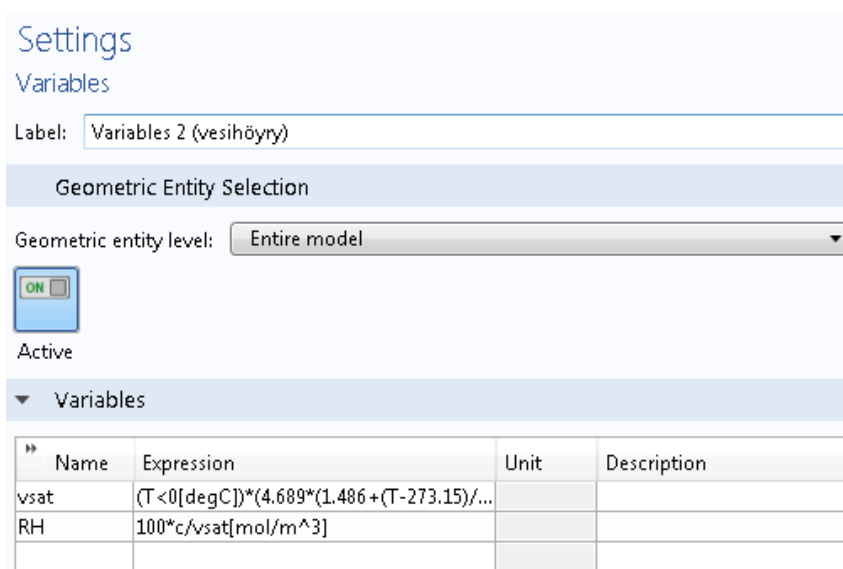
Kuva 9. Lisäeristetty rakenne



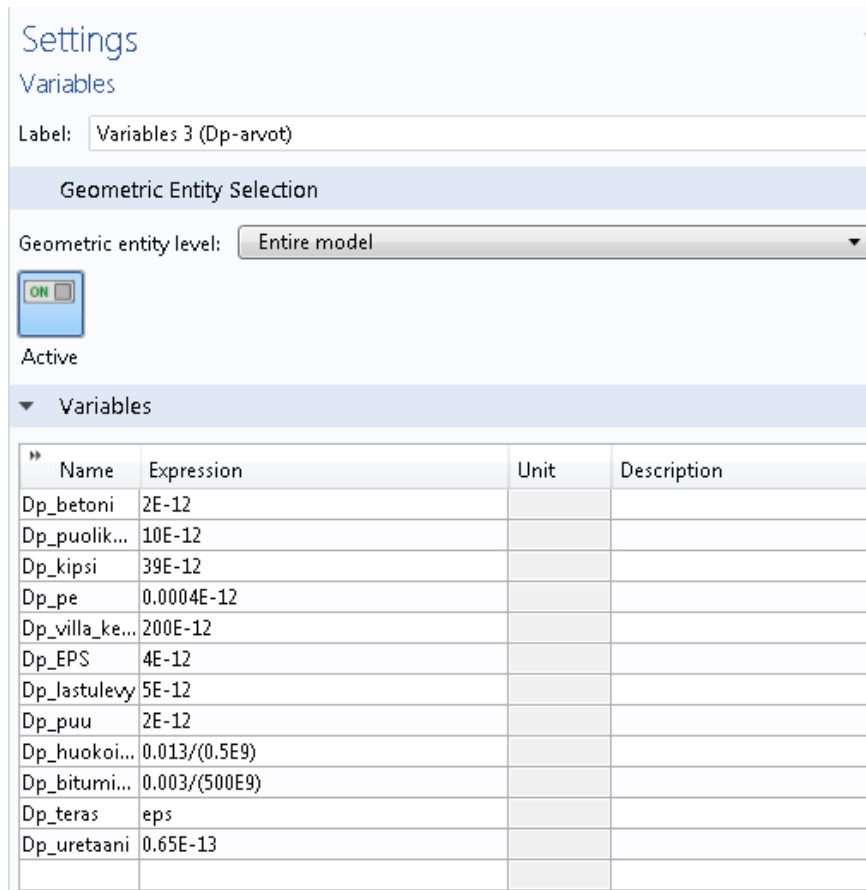
Kuva 10. 3D-malli lisäeristetystä rakenteesta

## 6.5 Työprosessi

Ensimmäiseksi tutkittava rakennetyyppi tuotiin dxf-tiedostona import-työkalun avulla Comsoliin. Mallintaminen aloitettiin syöttämällä lähtötietoja Definitions-välilehden alle. Tämän alle avattiin Variables – välilehtiä (kuvat 11 ja 12), joihin asetettiin useampi muuttuja. Opinnäytetyössä asetettiin ulko- ja sisäilman lähtöarvot siten, että lämmön ja kosteuden siirtyminen olisi mahdollisimman realistista, mutta samalla myös mahdollisimman voimakasta. Ajankohdiksi valittiin talvi ja kesä. Talven ulkoilman lämpötilaksi valittiin -20°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 90%. Kesän ulkoilman lämpötilaksi valitsin 25°C ja suhteelliseksi kosteudeksi 80%. Sisäilmalle laitettiin lähtöarvoiksi 20°C ja 55%. Näiden tietojen lisäksi lähtötietoihin laitettiin myös vesihöyrynkyllästymispitoisuuden kaava, vesihöyrynpitoisuuden kaava, suhteellisen kosteuden kaava sekä kaikkien työssä käytettävien materiaalien vesihöyrynläpäisevyysarvot. Kuvissa 11 ja 12 on esitetty edellä mainitut lähtötiedot.



Kuva 11. Vesihöyrynkyllästymispitoisuuden ja suhteellisen kosteuden kaava



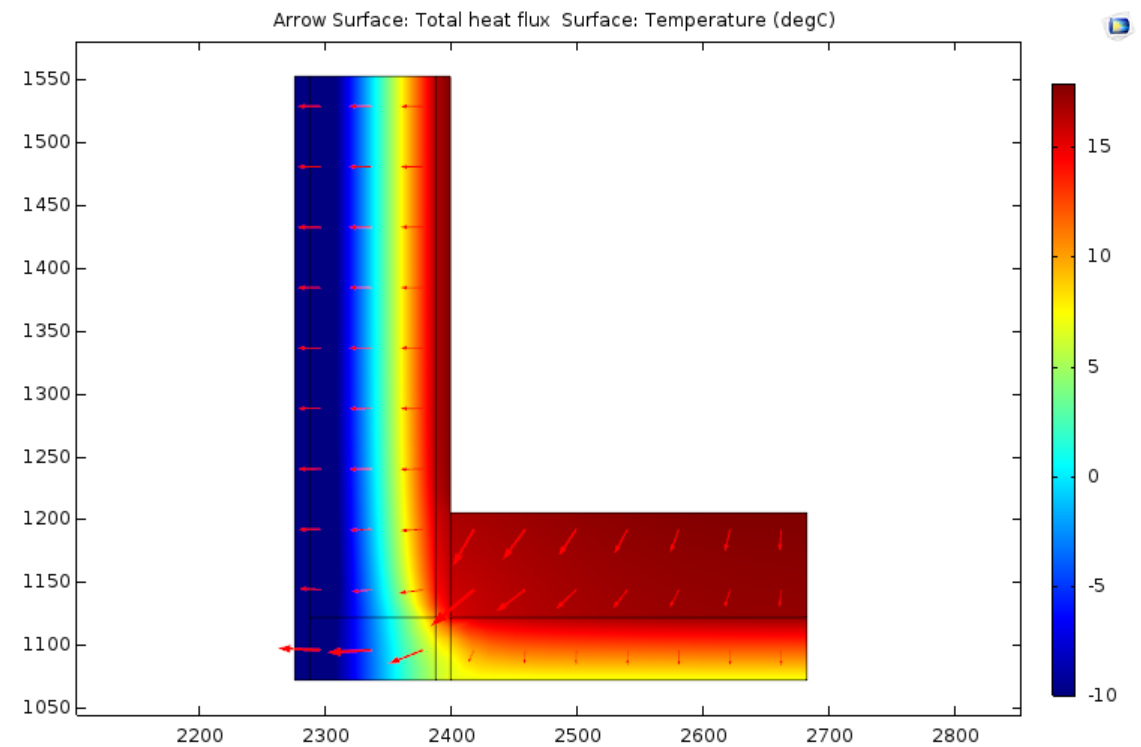
Kuva 12. Vesihöyrynläpäisevyysarvot

## 7 Tulokset

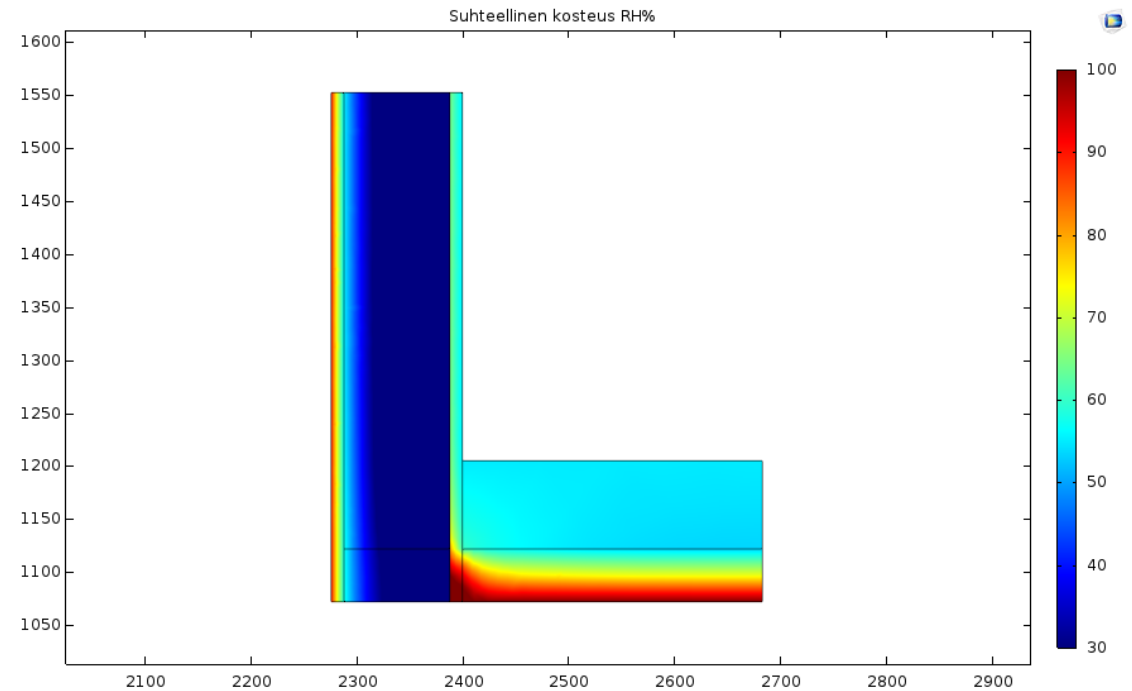
### 7.1 Alkuperäinen rakenne

Comsol-laskennasta saatujen tulosten perusteella valesokkelirakenne osoittautui riskirakenteeksi, kuten nykytietämyksellä voidaan olettaa. Valesokkelin alaohjauspuu on alttiina kosteusrasitukselle, huonon sijaintinsa takia lattiatason ja maanpinnan alapuolella. Talviolosuhteissa sisältä tuleva lämpövirta pyrkii voimakkaimmin karkaamaan rakenteesta sisänurkan kautta kohti alaohjauspuuta, mistä se siirtyy kohti ulkoilmaa. Kuvassa 16 on esitetty valesokkelirakenteen lämpövirran kulku. Nuolten koko on verrannollinen lämpövirran suuruuteen. Kuvasta nähdään, että sisältä tuleva lämmin ja vesihöyrypitoisempi ilma kohtaa matkalla kylmän alaohjauspuun, minkä

seurauksena vesihöyrypitoisuus ylittää kyllästyskosteuden, ja vettä alkaa kondensoitumaan. Kuvassa 17 on esitetty leikkauskuva valesokkelirakenteesta, missä näkyy suhteellisen kosteuden määrät. Kuvasta nähdään, että suhteellinen kosteus saavuttaa 100% alapohjassa EPS-eristeessä sekä kipsilevyssä, minkä seurauksena näillä alueilla vesihöyry alkaa kondensoitua.



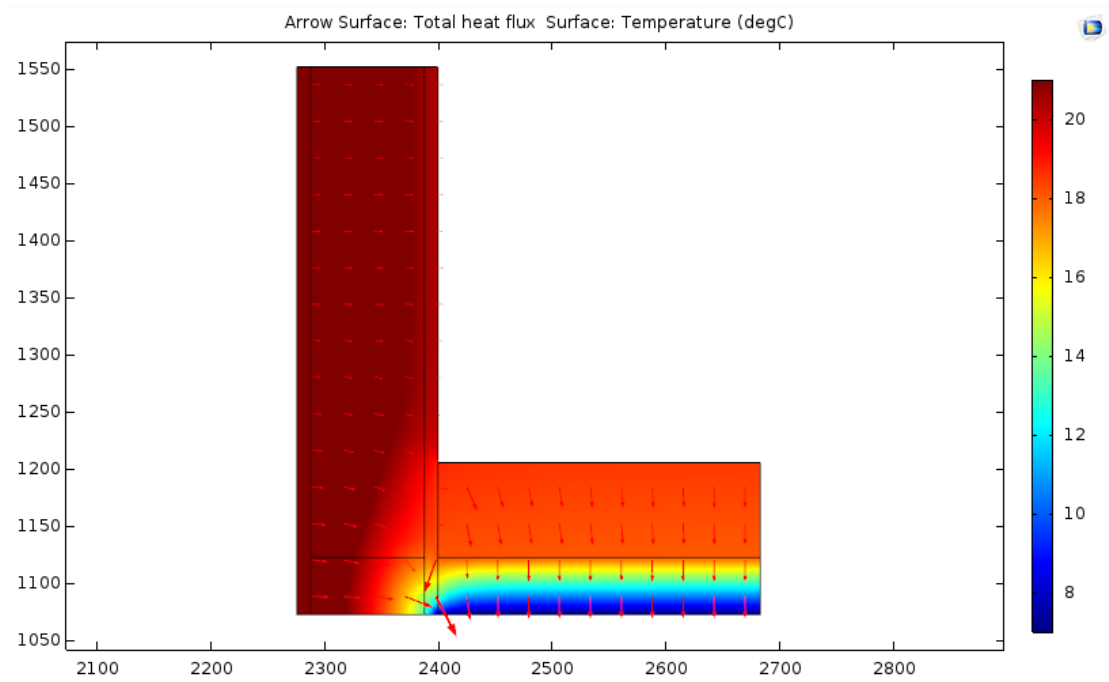
Kuva 16. Valesokkelirakenteen lämpövirta ja lämpötilajakauma talviolosuhteissa



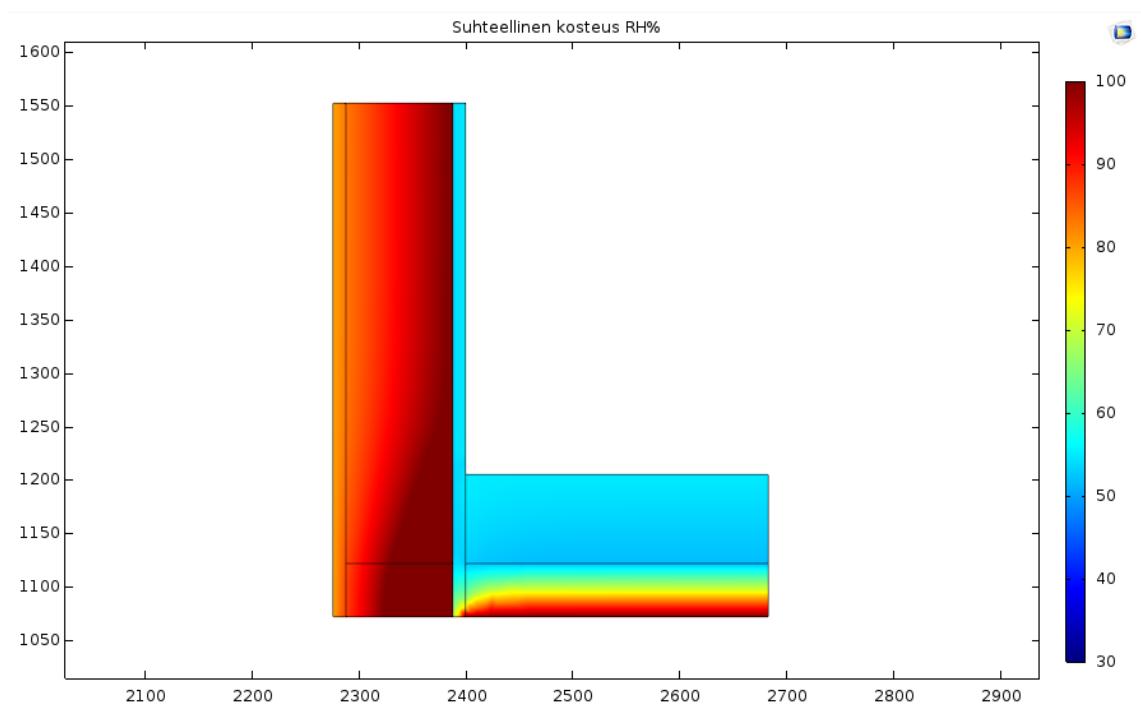
Kuva 17. Valesokkelirakenteen suhteellisen kosteuden määrät talvella

Comsol-mallinuksessa tein myös laskelmat kesältä. Sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden lähtöarvot pysyivät samana, mutta ulkoilman lämpötilaksi asetin 25°C ja suhteelliseksi kosteudeksi asetin arvon 80%. Kesällä lämpövirran ja diffuusion suunta muuttuu. Tämä tapahtuu siis vain, jos ulkona on lämpimämpää tai ulkoilma sisältää enemmän vesihöyryä kuin sisäilma. Kuvassa 18 on esitetty valesokkelirakenteen lämpövirran kulku. Lämpövirta pyrkii kulkeutumaan ulkoseinärakenteen läpi kohti sisäilmaa ja suoraan alapohjaa kohti. Kuvasta 19 nähdään, että suhteellinen kosteus ylittää 100% melkein koko alapohjauspuun alueella. Myös villoitukseen kondensoituu vettä.





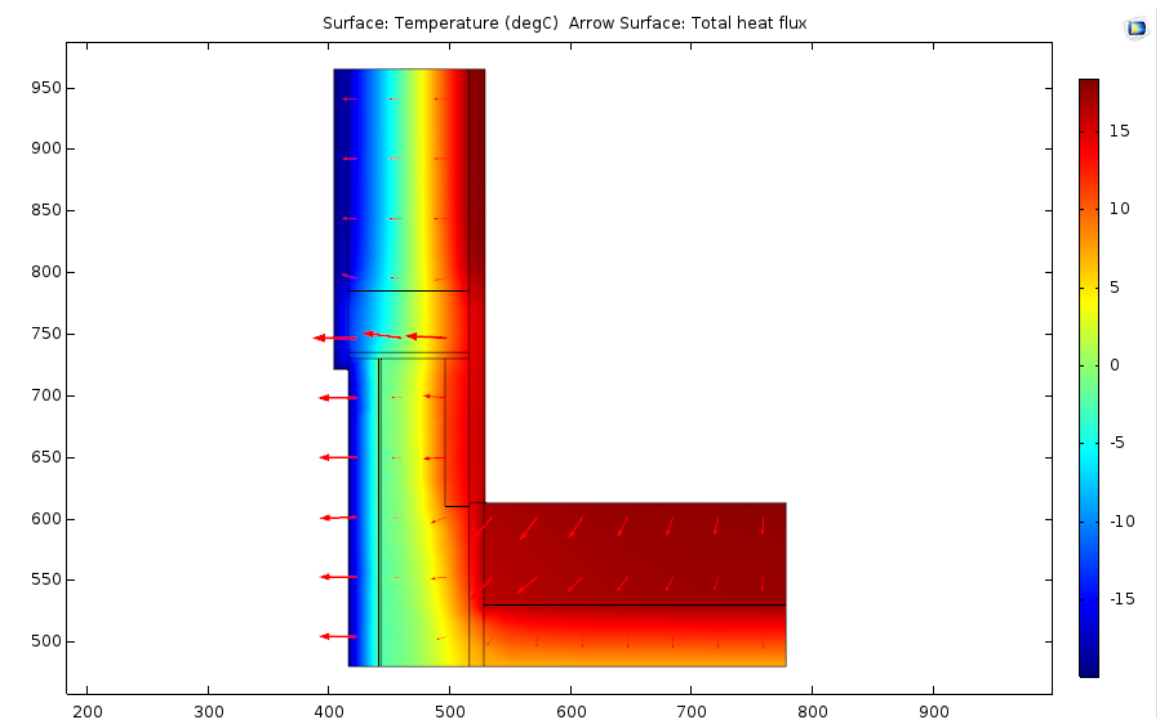
Kuva 18. Valesokkelirakenteen lämpövirta ja lämpötilajakauma kesäolosuhteissa



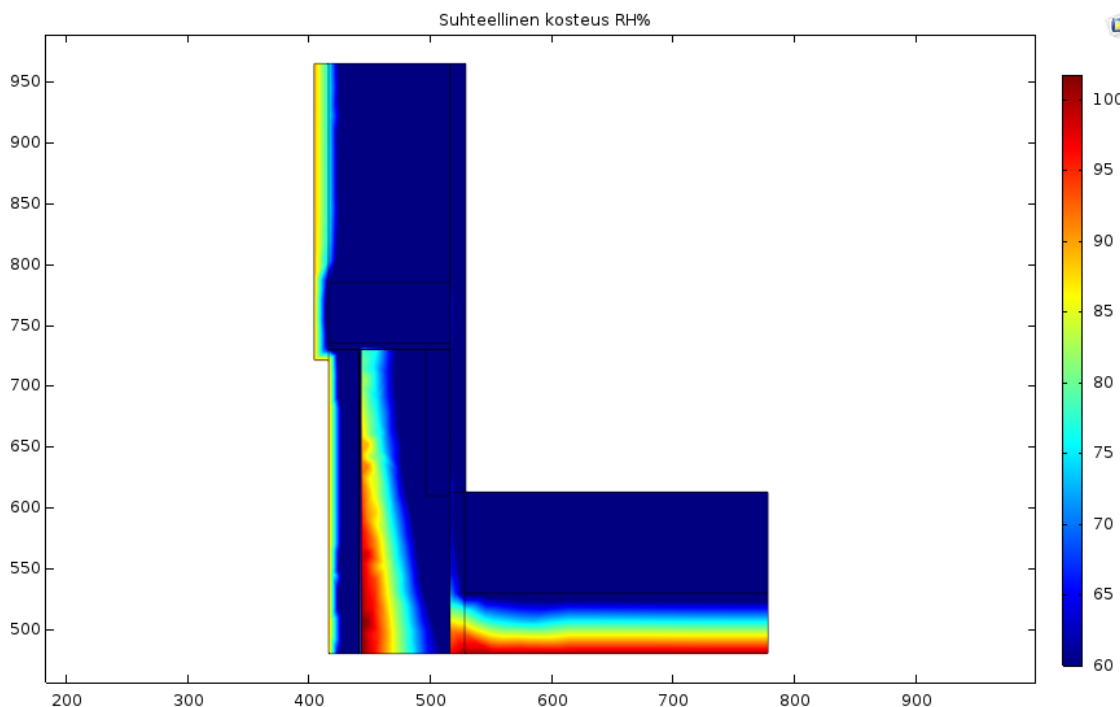
Kuva 19. Valesokkelirakenteen suhteellisen kosteuden määrät kesäolosuhteissa

## 7.2 Lisäeristämätön rakenne

Valesokkelipalkilla korjattu rakenne ilman lisäeristystä osoittautui Comsol-laskennasta saatujen tulosten perusteella kosteusteknisesti päteväksi ratkaisuksi. Nykytietämyksellä jo pelkästään alaohjauspuun nostaminen valesokkelirakenteessa auttaa rakenteen kosteusongelmien ehkäisemisessä. Tulosten perusteella kosteusongelmat rakenteessa paranevat huomattavasti alkuperäiseen rakenteeseen verrattuna. Kuvasta 20 nähdään, kuinka lämpövirta on suurimmillaan nostetun alaohjauspuun kohdalla. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että alaohjauspuu olisi taas alttiina kosteusvaurioille. Noston ansiosta alaohjauspuun korkeudella vallitsee korkeammat lämpötilat, minkä seurauksena kyllästyspitoisuus alueella nousee. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että alue voi vastaanottaa vesihöyryä enemmän sen kuitenkaan tiivistymättä vedeksi. Kuvassa 21 on esitetty valesokkelipalkilla korjatun rakenteen suhteellisen kosteuden määrät.



Kuva 20. Valesokkelipalkilla korjatun rakenteen lämpövirta ja lämpötilajakauma

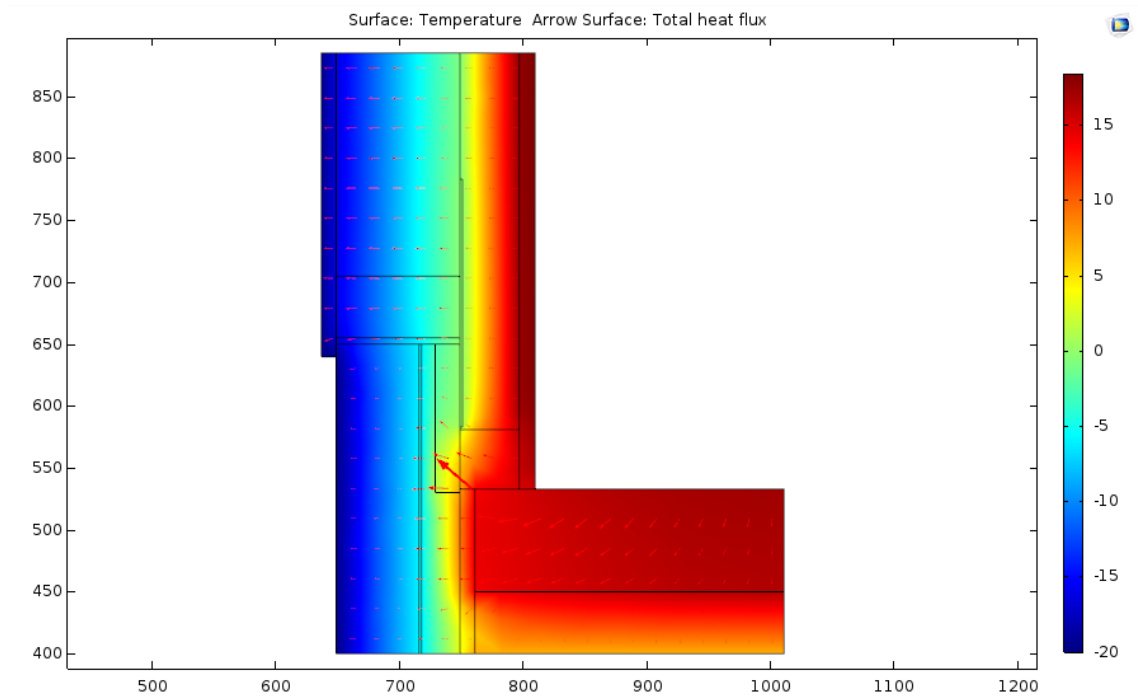


Kuva 21. Valesokkelipalkilla korjatun rakenteen suhteellisen kosteuden määrät

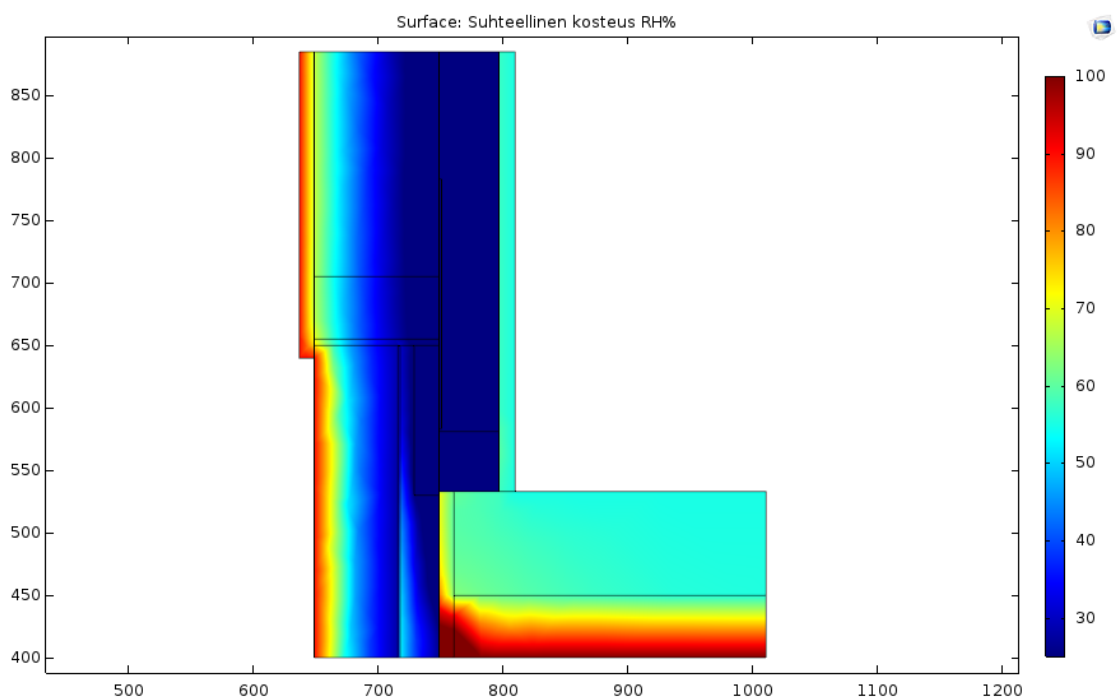
Comsol-laskelmat osoittivat, että korjattu rakenne ilman lisäeristystä toimii kosteusteknisesti melko hyvin myös kesällä. Kosteutta tiivistyy hieman valesokkelipalkin sisään upotetun poimulevyn pintaan.

### 7.3 Lisäeristetty rakenne

Valesokkelipalkki lisäeristyksen kanssa osoittautui talviolosuhteissa kosteusteknisesti myös melko hyväksi ratkaisuksi. Radikaaleja muutoksia ilman lisäeristystä tehtyyn ratkaisuun verrattuna ei kosteuden osalta ollut. Poikkeavuus löytyi kuitenkin palkin alaosasta, minne vettä kondensoitui höyrynsulkumuovin pintaan. Tämä nähdään kuvasta 23. Kuvassa 22 on esitetty lisäeristetyn korjausratkaisun lämpövirran suuruuksia ja lämpötiloja rakenteesta. Lisäeristämisen myötä seinärakenne hieman kylmenee, jonka seurauksena kyllästyskosteus laskee alaohjauspuun keskialueella noin 50% verrattuna lisäeristyksettömään rakenteeseen. Liitteestä 2 selviää kyllästyskosteuden laskeminen ja vesihöyrypitoisuuksien rakenteessa pysyminen lähes samana.

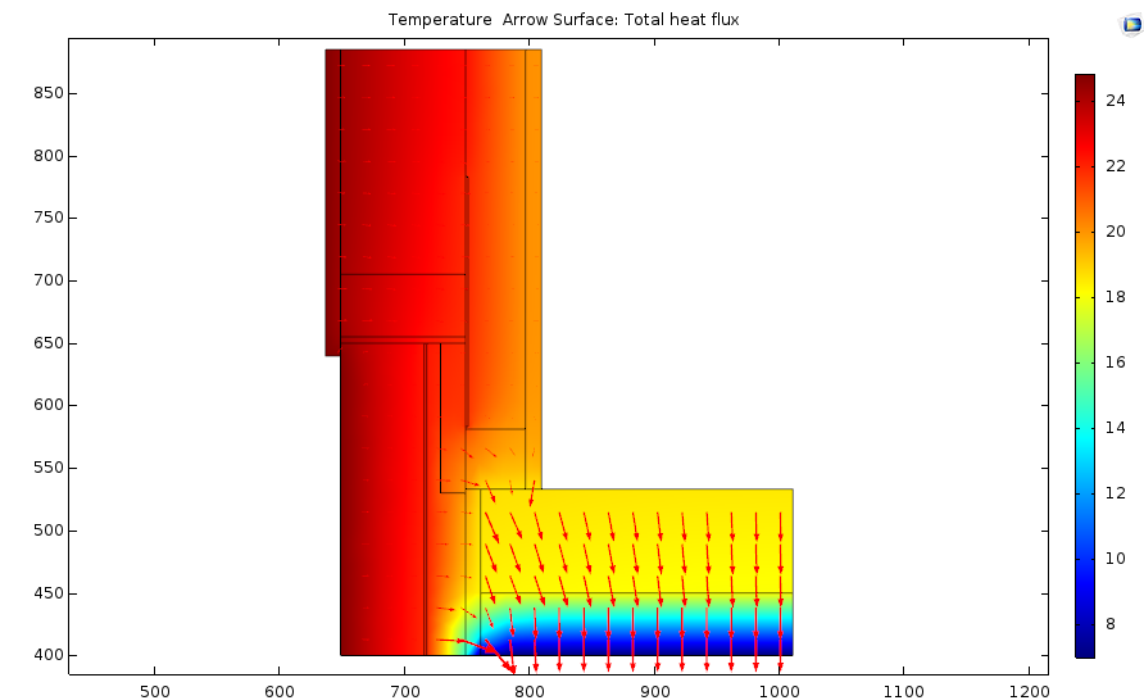


Kuva 22. Lisäeristetyin valesokkelipalkilla korjatun rakenteen lämpövirta ja lämpötilajakauma

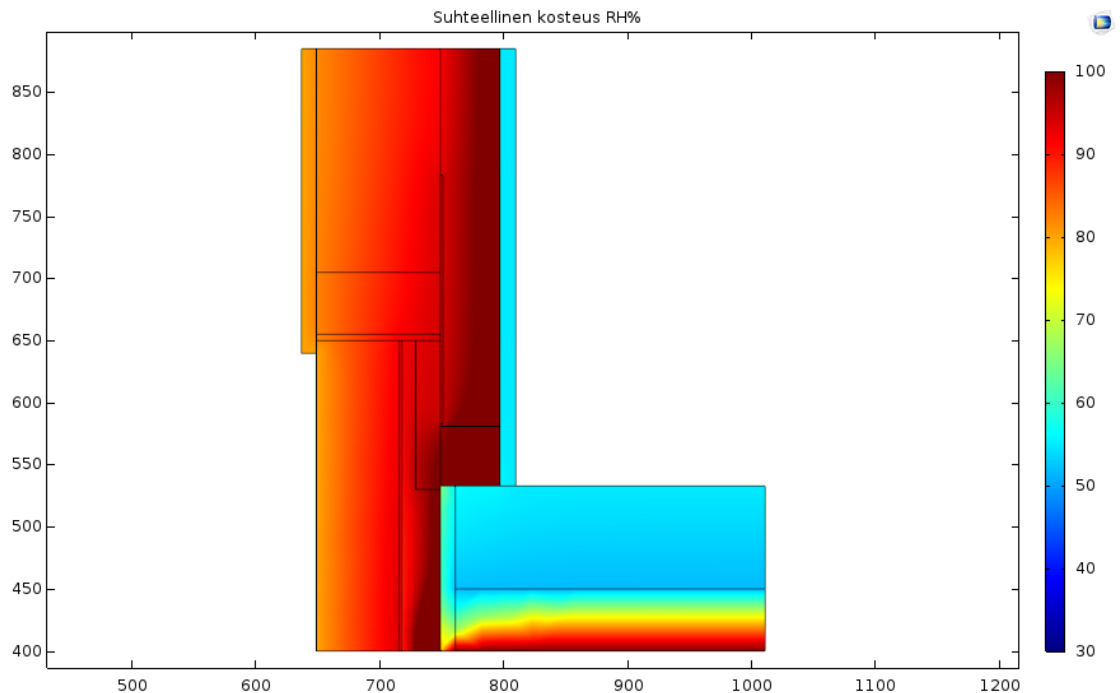


Kuva 23. Valesokkelipalkilla korjatun ja lisäeristetyin rakenteen suhteellisen kosteuden määrät

Lisäeristetyin korjausratkaisun Comsol-laskelmat kesältä osoittivat rakenteen olevan hieman altis kosteuden tiivistymiselle. Kuvassa 24 on esitetty lämpövirran kulkua rakenteessa. Suurimmat lämpövirrät rakenteeseen kulkeutuvat lähinnä alaohjauspuun kautta valesokkelipalkissa olevaa lautaa pitkin kohti betonisen alapohjan ja vaakakoolauksen saumaa. Laskelmista saatujen tulosten perusteella tänne tiivistyy myös kosteutta. Kuvan 25 perusteella rakenne on altis kosteuden tiivistymiselle. Kriittisimmät paikat rakenteessa ovat lattialistan kiinnitykseen tarkoitettu lauta valesokkelipalkissa, vaakakoolauspuu lattian tasossa sekä lisäeristys.



Kuva 24. Lisäeristetyin valesokkelipalkilla korjatun rakenteen lämpövirta ja lämpötilajakauma kesällä.



Kuva 25. Valesokkelipalkilla korjatun ja lisäeristetyin rakenteen suhteellisen kosteuden määrät kesällä

#### 7.4 Lämpötekkinen tarkastelu

Comsolin laskentaosioista sain selville jokaisen rakenteen ulkoseinän lävitse kulkevan lämpövirran sekä sisäpinnan pinta-alan. Näiden tietojen avulla laskin rakenteille lämmönläpäisykertoimet. Taulukossa 3 on esitetty rakenteiden lämmönläpäisykertoimet. On kuitenkin otettava huomioon, että nämä kyseiset laskennasta saadut arvot antavat rakenteelle huonommat U-arvot, mitä ne rakennusmääräysten mukaan laskettaessa antaisivat. Tähän on syynä se, että rakennusmääräysten mukaisissa laskuissa nurkan viivamainen kylmäsilta erotetaan suoran seinän U-arvosta ja näissä laskuissa kylmäsilta on mukana seinän U-arvossa. Myös mallinnuksesta tiilivuorauksen ja sokkelin ulkokuoren pois jättäminen vaikuttanee rakenteen U-arvoon heikentävästi. Työssä oli tarkoituksena kuitenkin myös verrata rakenteita keskenään ohjelman laskennasta saatujen lämpövirtojen avulla laskettavia U-arvoja. Rakenteet pyrin pitämään mahdollisimman vertailukelpoisina keskenään. Liitteessä 1 on esimerkki U-arvon määrittämisestä.

Taulukko 3. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet

Rakenne	U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)
Alkuperäinen rakenne	0,43
Korjattu rakenne ilman lisäeristystä	0,55
Korjattu rakenne lisäeristyksellä	0,3

## 8 Pohdinta

### 8.1 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia valesokkelirakenteen ja sen korjausratkaisun kosteus- ja lämpötekniistä käyttäytymistä Comsol Multiphysics-ohjelman ja kirjallisuudesta saadun tiedon avulla. Korjausratkaisuksi valitsin Termotuotteen Valesokkelipalkin. Työn tarkoituksena oli saada selville, kuinka kosteus- ja lämpötekniiset ominaisuudet valesokkelirakenteessa paranevat sen korjauksen myötä.

Kuten opinnäytetyöni teoriaosuudesta jo selviää, on valesokkelirakenne kosteusteknisesti huono perustamisratkaisu. Valesokkelirakenteen alaohjauspuun huono sijainti lattiatason ja jopa maanpinnan alapuolella aiheuttaa rakenteeseen kosteus- ja mikrobivaurioita. Valesokkelirakenteiden huono tai olematon tuulettuvuus on myös yksi valesokkeleiden vaurioita aiheuttavista tekijöistä. Jos rakenne ei pääse tuulettumaan, niin kosteus ei pääse kuivumaan ulospäin. Pahimmassa tapauksessa tämä kosteus pyrkii siirtymään sisäilmaan ja tuo mukanaan epäpuhtauksia ja aiheuttaa sisäilmaongelmia [10, s. 17].

Kuten tekemästani Comsol – mallinuksesta saadut tulokset osoittavat, on valesokkelirakenne altis kosteuden tiivistymiselle ainakin kesäolosuhteissa, kun ulkona on lämmintä 25°C sisälämpötilan ollessa 20°C. Kriittisimmät kohdat kondensoitumiselle ovat alaohjauspuu ja villoitus. Talviolosuhteissa rakenteessa ei havaittu kosteutta muualla kuin höyrynsulkumuovin pinnassa kipsilevyn

kohdalla. Uskoisin, että todellisuudessa alaohjauspuu ja villoitus ovat märkänä ympäri vuoden rakenteen huonon tuulettuvuutensa takia. Comsol – laskelmat eivät ota huomioon veden kapillaarista nousua eikä sitä, että valesokkelirakenne on oikeasti lähes tuulettumaton rakenne. Tästä syystä kosteus ei pääse poistumaan rakenteesta niin hyvin, kuin ohjelma tämän laskee. Tuloksista kuitenkin selviää, että valesokkelin alaohjauspuun matala sijainti maanpintaan ja lattiatasoon nähden on rakenteen suurin kosteustekninen epäkohta.

Valesokkelin korjausratkaisuna tutkin valesokkelipalkin käyttöä korjauksen yhteydessä. Korjausratkaisuja tein kaksi. Toinen oli ilman lisälämmöneristämistä, ja toinen lisälämmöneristykseen kanssa. Comsol – laskelmista saatujen tulosten perusteella kummatkin korjausratkaisut osoittautuivat kosteusteknisesti hyviksi ratkaisuksiksi.

Kuten tutkimukseni tuloksista on nähtävillä, on lisäeristämätön korjausratkaisu kosteusteknisesti toimiva ratkaisu. Kyseiseen rakenteeseen ei Comsol-laskelmien perusteella tiivistynyt vettä mihinkään kohtaan. Rakenne pysyi kuivana kumpanakin tarkasteluajankohtana.

Lisäeristetyt korjausratkaisun tulokset osoittautuivat kosteusteknisesti hieman huonommiksi. Talviolosuhteilla rakenteeseen tiivistyi hieman kosteutta valesokkelipalkin alaosan ja höyrynsulkumuovin väliin. Määrät eivät ole suuria, koska vesihöyrypitoisuus ylittää vain hieman kyllästyskosteuden määrän. Kesäolosuhteilla rakenteessa ilmeni hieman yllätyksellisesti kosteuden tiivistymistä valesokkelipalkin kyljessä olevaan lautaan ja sisäpuolisen vaakakoolaus alaosaan. Kosteus tiivistyy siis höyrynsulkumuovin pintaan. Tähän on syynä yksinkertaisesti se, että tutkimuksessa käytettyjen kesäolosuhteiden ulkoilman vesihöyrypitoisuudet ovat todella suuret lämpötilan ollessa 25°C. Diffuusion vaikutuksesta ulkoa tuleva kosteus ei pääse rakenteesta menemään muualle, joten se tiivistyy edelle mainittuihin kohtiin. Tämä mahdollistaa hyvän kasvupaikan mikrobikasvustolle, mikäli rakenne ei pääse kuivumaan. Tämä ei kuitenkaan mielestäni ole todellisuudessa täysin huolestuttava asia, koska Suomessa näitä reippaasti yli 20°C päiviä ei vuodessa ole montaa. Kosteuden runsas tiivistyminen rakenteeseen vaatisikin monta tällaista päivää putkeen, jotta



tällaista pääsisi tapahtumaan. Liitteen 2 kuvasta 1 selviää, niin Suomen keskilämpötilat ovat suhteellisen alhaisia. Käytännössä diffuusion suunta on suurimmaksi osaksi vuodesta sisältä ulospäin.

Lämpöteknisessä tarkastelussa vertailin rakenteiden lämmönläpäisykertoimia. Tutkimustulosten mukaan U-arvoltaan parhaimmaksi osoittautui lisäeristetty korjausratkaisu. Kyseisen rakenteen U-arvoksi sain 0,30 (W/m<sup>2</sup>K). Valesokkelin U-arvo oli 0,43 (W/m<sup>2</sup>K) ja lisäeristämättömän korjausratkaisun 0,55 (W/m<sup>2</sup>K). Yllättävää näissä tuloksissa oli mielestäni se, että lisäeristämättömän ratkaisun lämmönläpäisykerroin oli huonompi kuin alkuperäisen valesokkelirakenteen. Tähän syynä voi olla se, että valesokkelipalkin keskelle on upotettu kantava poimulevy. Poimulevy on sinkittyä teräslevyä. Teräs on erittäin huono eristämään lämpöä. Toisin sanoen se on hyvä lämmönjohde, eli se johtaa lämpöä hyvin. Tästä syystä rakenne luultavasti sai hieman huonomman U-arvon mitä osasin odottaa. Kaikkien edellä mainittujen rakenteiden eristykset ovat kuitenkin vielä vähäisiä verrattuna nykypäivän rakentamiseen. Mielestäni lisäeristetyn rakenteen lämmönläpäisykerrointa saadaan parannettua vielä entisestään, jos 50mm lisäeristykseen tilalle laitettaisiin esimerkiksi Kingspanin valmiiksi pinnoitettu SPU anselmi 70 lämmöneristelevy, jonka lämmönjohtavuus on pienempi kuin isoverin KL-33 villalla.

## 8.2 Luotettavuuden tarkastelu

Perusratkaisun kuten valesokkelirakenteen comsol – mallintaminen on erittäin haastavaa. Valesokkelin seinärungon alaosat ovat kokoajan erilaisten kosteusrasitusten vaikutusten alaisena. Opinnäytetyöstäni saadut tulokset valesokkelirakenteen osalta ovat mielestäni kosteusteknisesti hieman suotuisammat kuin mitä ne todellisuudessa ovat. Tähän on syynä se, että comsol – mallinnus ei ota huomioon veden kapillaarista nousua, viistosateen vaikutusta eikä pintavesien imeytymistä rakenteeseen. Kaikki edellä mainitut asiat vaikuttavat suuresti valesokkelirakenteen seinärungon alaosan kosteusvaurioihin. Tulokset antavat kuitenkin todella hyvän viitteen siitä, miten kosteusolosuhteet paranevat rakenteessa korjauksen jälkeen.

### 8.3 Oppimisprosessi

Opinnäytetyöni aiheessa halusin käyttää Comsol Multiphysics - ohjelmaa, koska sen käyttö on itselleni mieluista. Koulussa saadun hyvän tietoperustan avulla ohjelman käyttö ja mallintamisen suorittaminen helpottuivat. Opinnäytetyön aikana ohjelman kanssa oli myös omat haasteensa. Muutaman kerran ohjelma ei suostunut aloittamaan laskentaosiota erinäisten virheiden takia, joiden syy jäi itselleni epäselväksi. Opettajan avustuksella sain kuitenkin laskennan toimimaan. Ohjelman käyttö sekä tietämys valesokkelirakenteesta ja rakenteiden kosteusteknisistä asioista paranivat huomattavasti opinnäytetyön tekemisen aikana. Tietämys vesihöyryndiffuusiosta ja lämmön siirtymisestä rakenteessa auttavat varmasti tulevaisuudessa työelämässä.

### 8.4 Jatkotutkimusideat

Opinnäytetyötäni voisi hyödyntää tehdessä jatkotutkimuksia Valesokkelipalkista. Tutkimuksessa voisi vertailla lämpö- ja kosteusteknisiä asioita valesokkelipalkilla korjattuun, sekä perinteisempään harkolla korjattuun vaihtoehtoon. Tutkimustuloksissa voisi näkyä kumpi rakenteista on kosteus- ja lämpöteknisesti toimivampi. Samassa tutkimuksessa voisi myös verrata korjaustapojen aikaa ja korjauskustannuksia. Tuloksista nähtäisiin kumpi vaihtoehdoista olisi kustannustehokkaampi ja kumpi nopeampi korjausratkaisu.

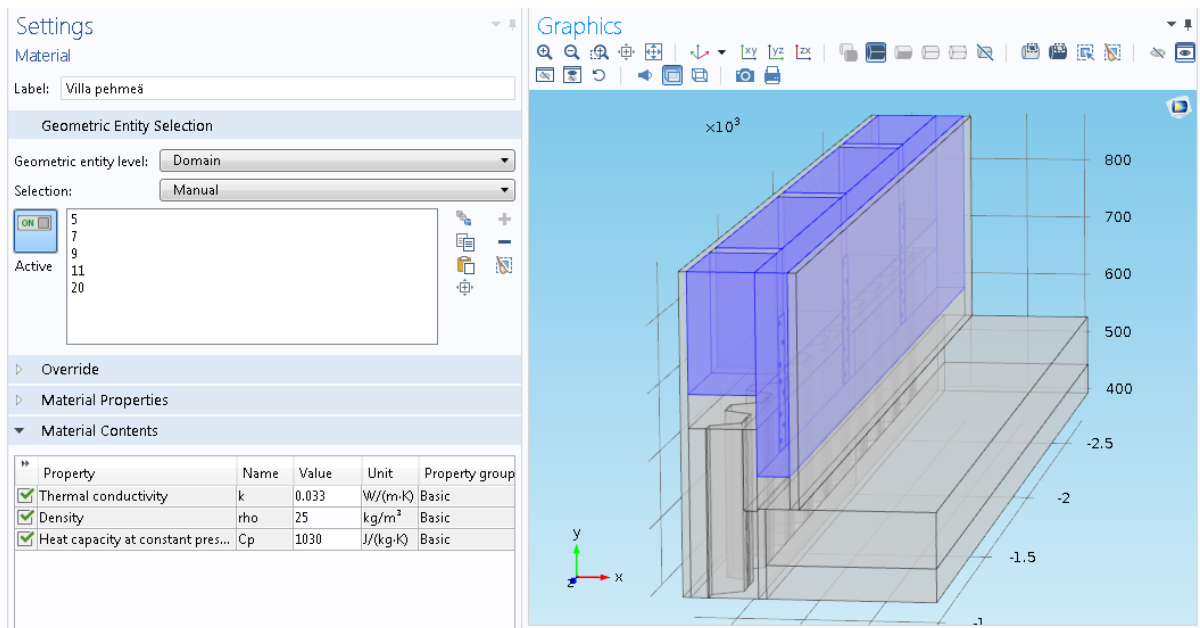
## Lähteet

1. Ympäristöministeriö. C2 Suomen rakennusmääräyskokoelma: Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>. 15.9.2015
2. Hautala, M & Peltonen, H. Lahden Teho-Opetus OY. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 1. 2007
3. Björkholtz, Dick. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Rakennustieto OY. Helsinki. 1997
4. Tyrväinen Hannu. Rakennusfysiikan kaavoja ja taulukoita. Karelia-AMK. 2014.
5. Rakennustieto Oy. RT-net. Kortistot. RT 05-10710. Kosteus rakennuksissa. 1999. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10710.html.stx>. 21.9.2015
6. Ympäristöministeriö. C4 Suomen rakennusmääräyskokoelma: Lämmöneristys. Ohjeet 16.3.2012.
7. Kosteus- ja hometalkoiden uutiskirje nro. 19/5. 2013. Saatavissa: [http://ym.multiedition.fi/hometalkoot/Uutiskirje\\_nro19/5.php](http://ym.multiedition.fi/hometalkoot/Uutiskirje_nro19/5.php). 30.9.2015.
8. Kärki, Jukka-Pekka & Öhman, Heikki. Kuopion Yliopisto. Homevaurioiden korjausopas. 2007. Saatavissa: [http://www.sisailmatalo.fi/files/2213/9629/6058/Homevaurioiden\\_korjausopas.pdf](http://www.sisailmatalo.fi/files/2213/9629/6058/Homevaurioiden_korjausopas.pdf). 20.9.2015.
9. Moilanen, Tapani. 70-luvun pientalon korjausopas. Koulutus- ja kehittämispalvelu Educate. Kuopio: Itä- Suomen yliopisto. 2011. Saatavissa: [http://epublications.uef.fi/pub/urn\\_isbn\\_978-952-61-0338-9/urn\\_isbn\\_978-952-61-0338-9.pdf](http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0338-9/urn_isbn_978-952-61-0338-9.pdf). 21.9.2015
10. Hometalkoot. Tunnista ja tutki riskirakenne. 2012. Saatavissa: [http://devhometalkoot.mcasiaakas.net/filebank/904-Tunnista\\_ja\\_tutkiriskirakenne2012.pdf](http://devhometalkoot.mcasiaakas.net/filebank/904-Tunnista_ja_tutkiriskirakenne2012.pdf). 1.10.2015.
11. Rakennustieto Oy. RT-net. Kortistot. RT 80-10712. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Korjausrakentaminen. 1999. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10712.html.stx>. 3.10.2015.
12. Lamox. Vsp valesokkelipalkin suunnittelu ja asennusohjeet. 2015. Saatavissa: <http://www.lamox.fi/wp-content/uploads/2015/08/385-VSP-suunnittelu-ja-asennusohjeet1.pdf>. 10.9.2015
13. Comsol inc. Comsol multiphysics kotisivut, The Platform for Physics-Based Modeling and Simulation. Saatavissa: <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>. 2.10.2015
14. Ilmatieteenlaitos. Ilmasto. Kuukausitilastot. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>. 14.10.2015.

## Mallintaminen Comsol Multiphysics -ohjelmalla

Tässä liitteessä on tarkoitus näyttää Comsol-mallituksen pääperiaatteet. Liite on jatkoa lähtötietojen asettamiselle.

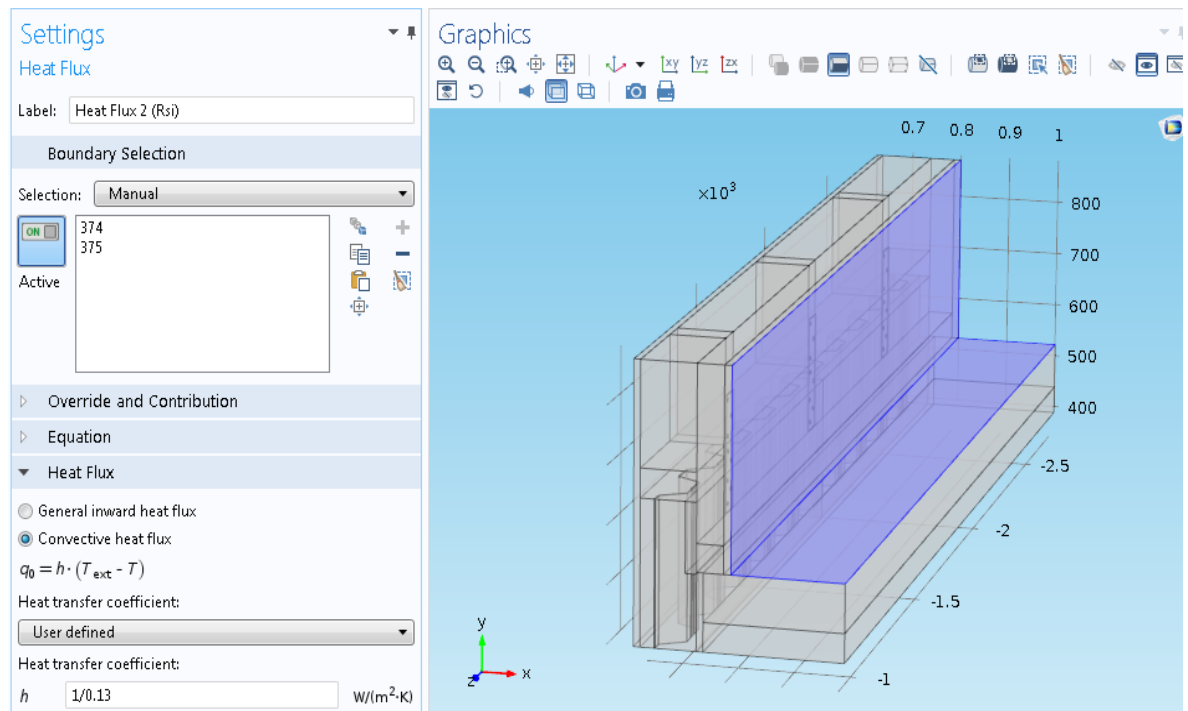
Materials-välilehden alle lisäksi tutkittavan rakenteen kaikki materiaalit. Jokainen materiaali täytyi tämän jälkeen käydä painamassa aktiiviseksi rakennekuvasta. Tämän jälkeen syötin jokaiselle materiaalille erikseen kolme materiaalitietoa. Näitä olivat tiheys, ominaislämpökapasiteetti sekä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ( $\lambda_u$ ). Kuvassa 1 on esimerkki materiaalitietojen syöttämisestä. Kyseiset materiaaliominaisuudet on löydettävissä Rakennusmääräyskokoelmasta C4 (Lämmöneristys). Tarkkoja arvoja löytyy myös materiaalien valmistajien sivuilta.



Kuva 1. Materiaalin ominaisuuksien syöttäminen

Heat transfer in solids –toiminnossa määritellään mitä fysikaalisia ominaisuuksia ja tekijöitä ohjelma ottaa huomioon laskennassa. Toiminnon alle aukaisin kaksi uutta Heat Flux –välilehteä. Tällä pystytään määrittämään rakenteelle ulkopintavastus ( $R_{se}$ ) ja sisäpintavastus ( $R_{si}$ ) minkä kautta lämpövirta rakenteessa tapahtuu. Ulkopintavastuksena käytin arvoa  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja

sisäpintavastuksena  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  [11 s.22]. Sisäpintavastuksen määrittämisestä on esimerkki kuvassa 2. Temperature –välilehti avattiin myös, mihin määrittelin alapohjan alla olevan maanpinnan lämpötilan. Lämpötilana käytin  $280,15\text{K}$  ( $7^\circ\text{C}$ ).

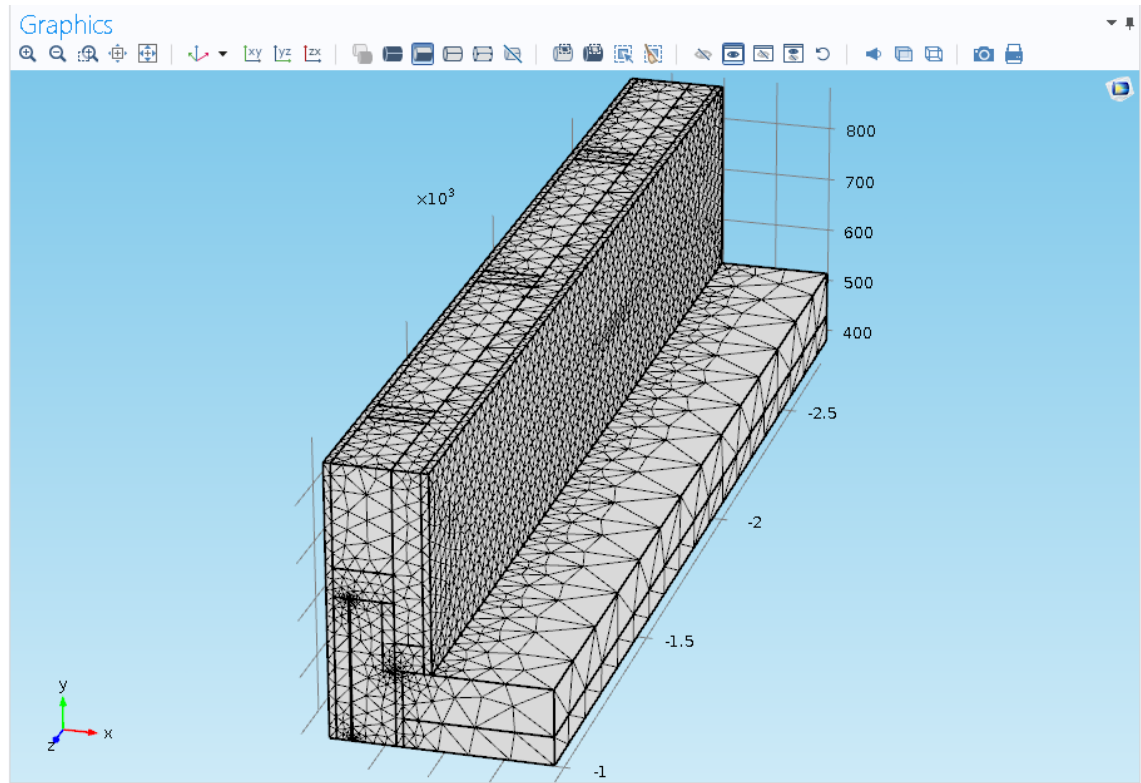


Kuva 2. Sisäpintavastuksen määrittäminen

Tämän jälkeen avasin kosteusteknisiä asioita käsittelevän Transport of diluted species –toiminnon. Tämän alle lisäsin jokaiselle materiaalille oman Transport properties -välilehden, mistä kävin aktivoimassa oikeat materiaalit samalla tavalla, kuten kuvassa 1 on esitetty. Pintavastusten määrittämisen tavoin, pitää rakenteelle myös määrittää pinnat mistä kosteutta siirtyy. Työkaluna tässä tilanteessa toimii Concentration –välilehti. Pinnat merkittiin aktiiviseksi samalla tavalla kuin kuvassa 2 on esitetty. Lisäsin myös maanvastaisen alapohjan EPS-eristeen alapinnan Concentration –välilehden alle. Tähän syötin kaavan  $v_{\text{sat}} * 1$ , mikä kuvaa sitä, että maa on kokoajan märkää rakenteen alapuolella.

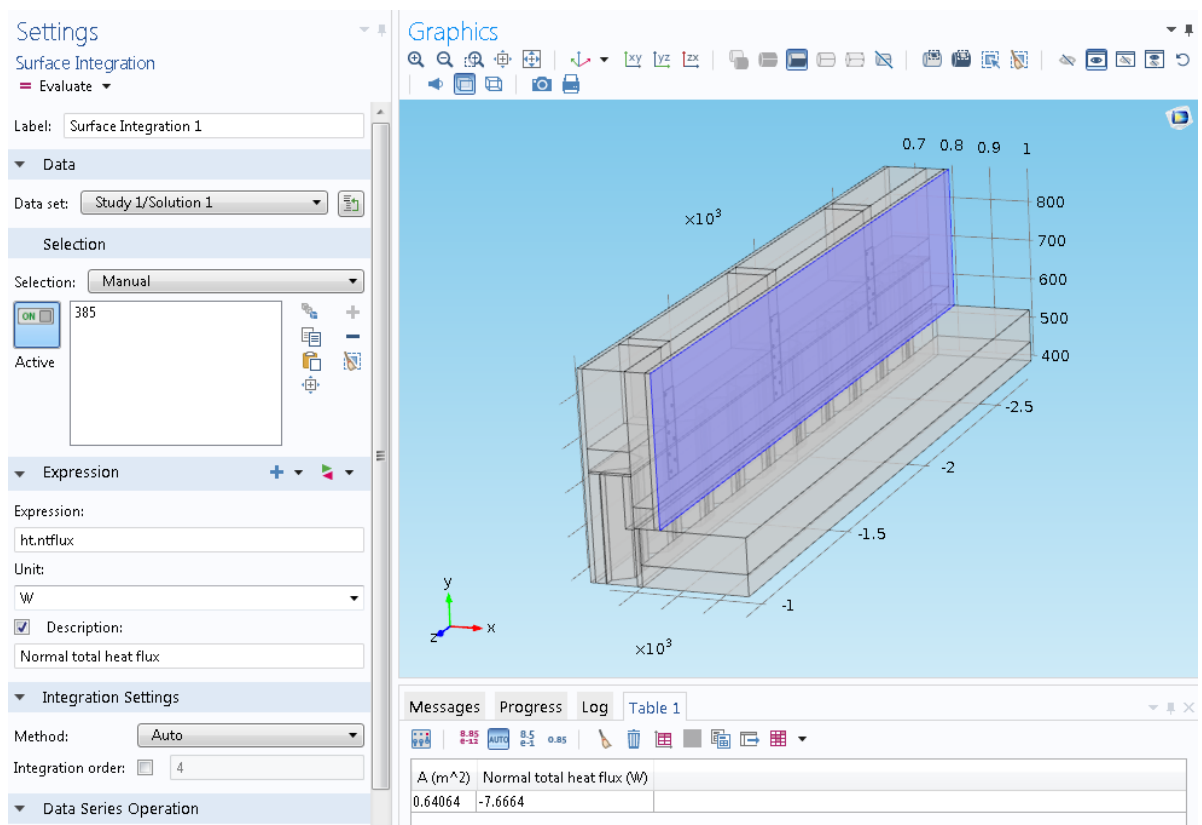
Verkotus (mesh) on viimeinen toiminto ennen kuin laskennan voi aloittaa. Tällä toiminnolla ohjelma luo malliin elementtiverkon. Verkotus jakaa mallin pienempiin kolmionmuotoisiin elementteihin, minkä avulla ohjelma toteuttaa laskennan.

Verkotuksen tiheyttä voi itse säätää. Laskenta on sitä tarkempi, mitä tiheämpi verkotus on. Kuvasta 3 nähdään verkotuskuva lisäeristeisestä korjausmallista.



Kuva 3. Esimerkki mesh-toiminnosta

Lämpövirran ulkoseinärakenteen läpi sain selville derived values –välilehden alle avattavan surface integration toiminnon avulla. Rakenteesta valitsin aktiiviseksi ulkoseinän sisäpinnan. Expression –kohtaan valitsin Normal total heat flux –toiminnon, mikä laskee rakenteen läpi kulkevan lämpövirran watteina (W). Kuvassa 4 on esitetty lisäeristetyin korjausratkaisun lämpövirran määrittäminen.



Kuva 4. Lämpövirran määrittäminen

Laskennasta sain lämpövirraksi rakenteelle 7,6664 W. Sisäpuolisen seinän pinta-ala on 0,64064 m<sup>2</sup>. Näiden tietojen avulla pystyin ratkaisemaan rakenteelle U-arvon lämpövirran kaavan 1 avulla.

$$\dot{Q} = UA(\Delta T) \quad (1)$$

Tästä johtamalla saadaan

$$U = \frac{\dot{Q}}{A\Delta T}$$

missä

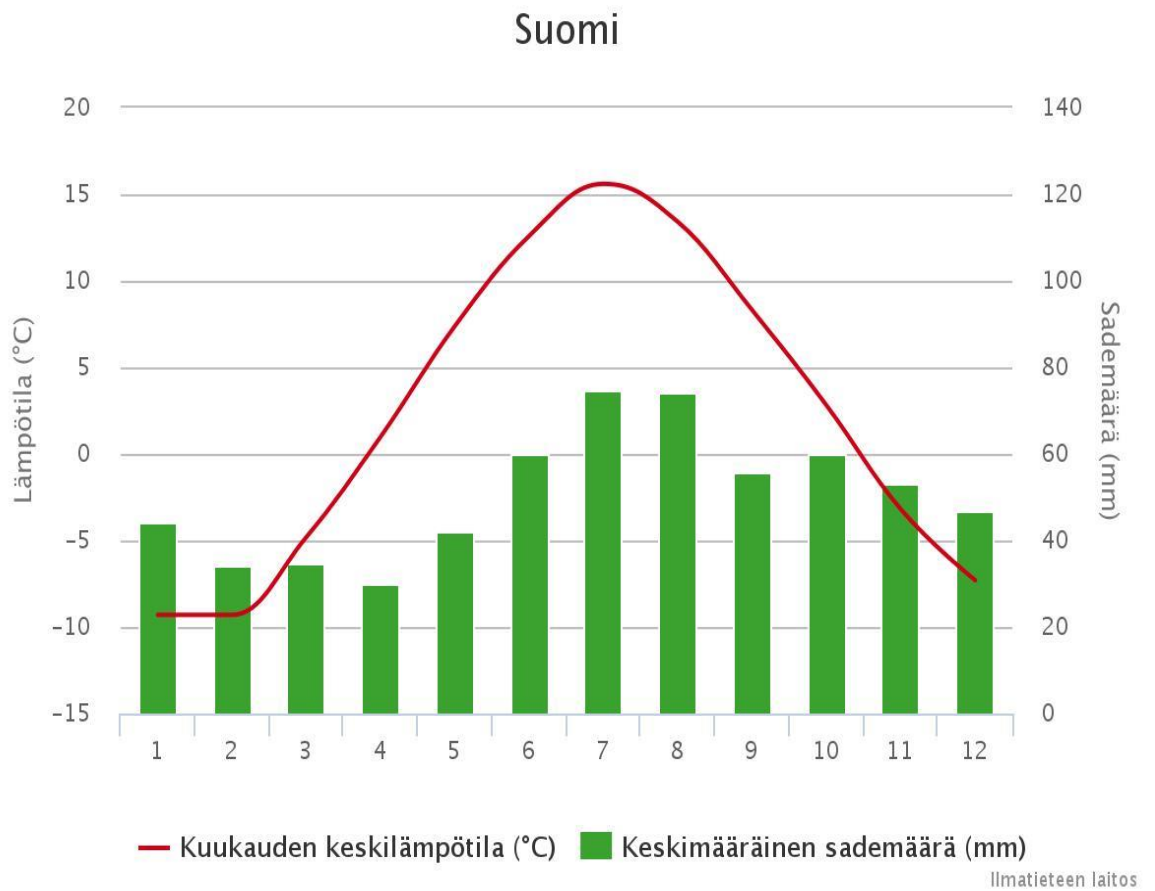
- $U$  rakenteen lämmönläpäisykerroin (W/m<sup>2</sup>K)
- $\dot{Q}$  rakenteen lämpövirta (W)
- $A$  tarkasteltavan rakenneosan pinta-ala (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  lämpötilaero rakenteen eripuolilla (K)

Näin ollen rakenteen U-arvoksi saadaan

$$U = \frac{7.6664 \text{ W}}{0,64064 \text{ m}^2 \cdot 40\text{K}} = 0,299 \text{ W/m}^2\text{K}$$



## Suomen kuukausittainen keskilämpötila



Kuva 1. Suomen kuukausittainen keskilämpötila ja sademäärän keskiarvo jaksolla 1981-2010 [14].