



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Rakennus- ja ympäristötekniikan laitos

Marko Asell

VALESOKKELIN KOSTEUSVAURION KORJAUS

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 01.04.2017
Valvoja: Professori Jarek Kurnitski
Ohjaaja: DI Klaus Viljanen

AALTO-YLIOPISTO TEKNIIKAN KORKEAKOULUT PL 12100, 00076 Aalto http://www.aalto.fi	DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Marko Asell		
Työn nimi: Valesokkelin korjauksen kosteustekninen analyysi		
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu		
Laitos: Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka		
Professori: Talonrakennustekniikka	Koodi: Rak-43	
Työn valvoja: Professori Jarek Kurnitski		
Työn ohjaaja: DI Klaus Viljanen		
<p>Diplomityössä tutkittiin kosteusvaurioituneen valesokkelin korjauksen onnistumista kapselointimenetelmällä. Korjausmenetelmässä valesokkelirakenne, jossa seinärakenteen alajuoksu sijaitsee lattiatason alapuolella, jätetään ennalleen ja muutostyöt suoritetaan rakennuksen ulkopuolelta käsin. Suurimmat muutostyöt ovat kattorakenteen muuttaminen tasakattoisesta harjakatoksi, salaojituksen teko ja taloa kiertävän maanpinnan uudelleen muotoilu rakennuksesta pois päin viettäväksi.</p> <p>Korjauksen onnistumista seurattiin mittaamalla alaohjauspuun kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa remontin jälkeen vuoden ajan. Seurantajakso oli lokakuun 2009 ja lokakuun 2010 välinen aika. Rakenteesta tehtiin myös laskentamalli, jonka tuloksia verrattiin mittaustuloksiin. Kosteuspitoisuus aleni alkutilanteen yli 20 painoprosentin lukemista seurantajakson aikana alle kriittisen 20 painoprosentin kosteuspitoisuuden.</p> <p>Kapselointimenetelmällä korjattaessa täytyy muutamista seikoista päästä varmuuteen, ennen kuin menetelmää voidaan soveltaa muihin korjauskohteisiin. On ensiarvoisen tärkeää huomata, että kapselointimenetelmän käyttö korjausmenetelmänä vaatii erittäin hyvää ammattitaitoa kaikilta korjaushankkeeseen ryhtyviltä osapuolilta. Lisäksi tulee varmistaa, että alaohjauspuu tai siihen liittyvät pystytolpat eivät ole ehtineet päästä lahoon asti. Jos lahottajat ovat päässeet tekemään tuhojaan, tulee korjausmenetelmänä käyttää massamenetelmää, jossa valesokkelirakenne muutetaan toisella tavalla toimivaksi esimerkiksi muuraamalla tiilimuuraus alajuoksun alapuolelle.</p>		
Päivämäärä: 01.04.2017	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 69
Avainsanat: Valesokkeli, kosteus, korjaus, kosteudensiirtyminen		

AALTOUNIVERSITY SCHOOLS OF TECHNOLOGY PO Box 12100, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS
Author: Marko Asell		
Title: Moisture technical analysis of the repair of the false plinth structure		
School: School of Engineering		
Department: Structural Engineering and Building Technology		
Professorship: Building physics		Code: Rak-43
Supervisor: Professor Jarek Kurnitski		
Instructor(s): M.Sc Klaus Viljanen		
<p>This thesis studied the success of false plinth moisture technical repair using the Encapsulation method. In the repair method, the false plinth structure, in which the wall structure [alajuoksu] is located below the floor level, is left intact and alteration work is performed from outside the building only. The greatest alterations are modifying the roof structure from flat roof to ridge roof, installing drainage pipe system and reformation of the ground surface near the walls to incline outwards from the building</p> <p>Success of the repair was monitored with follow-up measurements of the [alajuoksu] moisture content and temperature. The tracking period was from October 2009 to February 2010. The moisture content decreased from over 20 weight percent reading in the beginning to below the critical 20 weight percents during the tracking period. According to the obtained results, it seems that the method in question is viable for further studies to establish the reliability of the method to full extent.</p> <p>Few issues must be taken in account before the encapsulation method can be applied to other repair targets. It is vital to take notice that the encapsulation method as a repair method requires good professional skills from all of the parties taking part in the repair project. Additionally one must ensure, that the [alajuoksu] or the connecting vertical columns must not have reached the state of decay. If decay is progressing, the mass method must be used and the false plinth structure must be transformed into another mode of functionality.</p>		
Date: 01.04.2017	Language: Finnish	Number of pages: 69
Keywords: moisture, renovation, moisture transport		

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Oulun yliopiston konetekniikan osaston rakennesuunnittelun ja rakentamisteknologian laboratoriossa. Diplomityössä esitetään betoniperustuksen ja puisen seinän liitoksen korjausprojektin tulokset.

Vanhan pääaineeni eli rakennusfysiikan edesmennyttä professoria Martti Viljasta Aalto-yliopistolta haluan muistaa hyvästä opetuksesta pääaineeni kursseilla, ilmiöiden ja suuruusluokkien ymmärtäminen on edellytys laskentakaavojen käytölle, kiitos tästä. Diplomityön valvojaa Jarek Kurnirnitskia haluan kiittää kannustavasta suhtautumisesta työtäni kohtaan. Diplomityön ohjauksesta kiitän Klaus Viljasta, työn pitkästä kestosta huolimatta apusi ja neuvosi auttoivat pääsemään hyvään lopputulokseen. Oulun yliopiston Prof. Timo Ahoa haluan kiittää diplomityön käytännön järjestelyjen hoitamisesta. Mitta-antureiden valmistuksen ja mitalaitteiden käytön mahdollistamisesta haluan kiittää Oulun Ammattikorkeakoulun Rakennusosaston laboratoriossa työskenteleviä Hannu Kääriäistä, Pertti Uhlbäckä ja Markku Seppästä.

Pauli Sekkiä kiitän WUFI-simulointiohjelmiston käytön opastuksesta. Lauri Uotista kiitän englanninkielisen tiivistelmän oikoluvusta ja kommentteista. Lisäksi haluan kiittää Merja Pietilää, Senni Asellia ja Jalmari Asellia. Teidän antaman kannustuksen ja tuen turvin sain opintoni lopulta 17 vuoden jälkeen päätökseen.

Esossa 01.04.2017

Marko Asell

Sisällysluettelo

Tiivistelmä
Abstract
Alkusanat

Sisällysluettelo	1
Symboliluettelo.....	2
1 JOHDANTO	3
1.1 Taustat.....	3
1.2 Tutkimuksen rajaukset.....	4
1.3 Tavoitteet.....	4
2 AIEMMAT TUTKIMUKSET	5
3 VALESOKKELIRAKENTEEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA	7
3.1 Yleistä	7
3.2 Lämmön ja kosteuden siirtyminen rakenteissa	8
3.3 Lämmön ja kosteuden yhteisvaikutukset	14
3.4 Valesokkelin ja alaohjauspuun liitoksen rakennusfysikaalinen toiminta.....	15
3.5 Käytössä olevat korjausmenetelmät	17
4 KENTTÄTUTKIMUS	20
4.1 Kokeiden tarkoitus	20
4.2 Tutkimuskohde	20
4.3 Mittalaitteisto.....	25
4.4 Mittausohjelma.....	27
4.5 Mittaustulokset.....	34
4.6 Mittaustulosten tarkastelu	41
5 VALESOKKELIRAKENTEEN LASKENNALLINEN MALLINNUS	44
5.1 Yleistä	44
5.2 Laskentamallin luonti	44
5.3 Laskentatapaukset.....	49
5.4 Laskentatulokset.....	50
5.5 Laskentatulosten tarkastelu	61
5.6 Mittaus- ja laskentatulosten vertailu.....	62
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	64
6.1 Korjatun rakenteen kosteustekninen toimivuus tutkimustulosten perusteella	64
6.2 Jatkotutkimustarpeita	65
7 YHTEENVETO	66
8 LÄHDELUETTELO	68
9 LIITTEET	70

Symboliluettelo

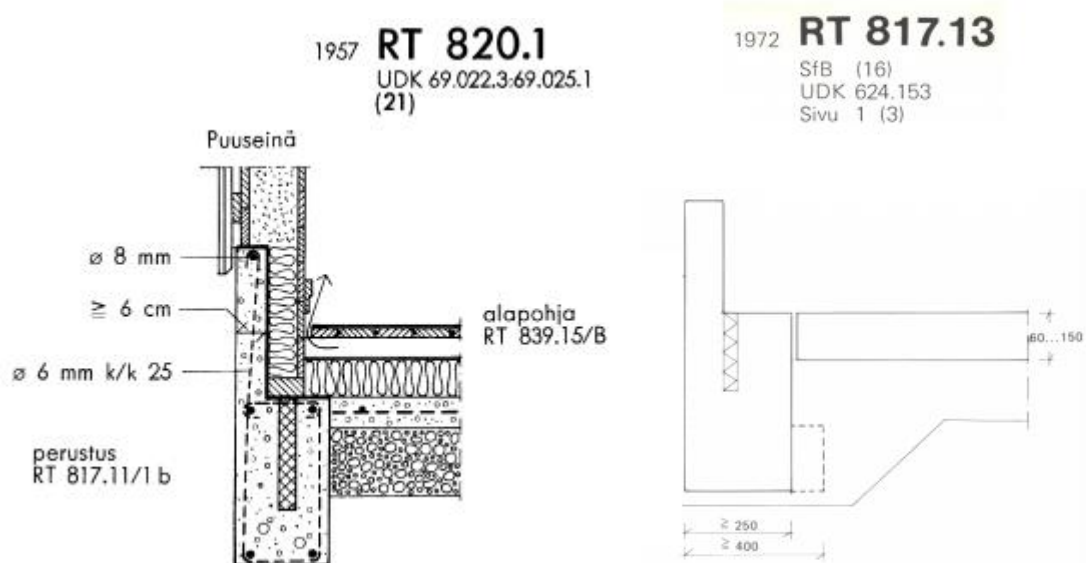
Δx	diffuusiomatka	m
d	kappaleen paksuus	m
T	kappaleen lämpötila	K
g	kosteusvirta	g / m^2
Δv	kosteusero rakenteen yli	$\frac{kg}{m^3}$
v_i	kosteuspitoisuus	g / m^3
v_{kr}	kriittinen kosteuspitoisuus	g / m^3
q	lämpövirta	$\frac{W}{m^2}$
λ	lämmönjohtavuus	$\frac{W}{m * K}$
Δt	lämpötilaero rakenteen yli	$^{\circ}C$
$p\%$	Kosteuspitoisuus painoprosentteina kuivapainosta	%
RH	suhteellinen kosteuspitoisuus	%
σ	Stefan-Bolzmännin vakio $\sigma = 5,67 * 10^{-8} W / (m^2 * K^4)$	
Q	säteilyteho	W / m^2
δ_v	vesihöyryn läpäisevyys	m^2 / s

1 JOHDANTO

1.1 Taustat

Suomessa on rakennettu runsaasti valesokkelillisia pientaloja 1970- 1980-luvuilla. Valesokkelirakenteessa puisen seinärakenteen alaosa on peitetty ulkopuolelta noin 15 cm korkealla betonivalulla. Tällä ratkaisulla lämmöneriste on saatu jatkumaan katkeamattomana seinältä lattian alapuolelle. Lisäksi on ajateltu, että seinän alaosan päälle nostettu betonivalu suojaisi puuseinän alaosaa. Osassa valesokkelillisista taloista on kuitenkin havaittu alaojhauspuun kastuneen rakenteeseen tulevan kosteusrasituksen seurauksena. Kastunut alajuoksu on kuivunut hitaasti ja mahdollistanut rakenteen mikrobivaurioitumisen.

1970-luvulla valesokkelirakennetta käytettiin yleisesti matalaperusteisissa pientaloissa, mutta nykyään sen käyttöä ei suositella rakenteen epävarman kosteusteknisen käyttäytymisen johdosta. Epävarmasta kosteusteknisestä käyttäytymisestä huolimatta valesokkelirakenne yhdistettynä tasakattoon ja salaojattomuuteen löytyy useista sen aikaisista rakentamista ohjaavista virallisista ohjeista, esim. RT-korteista, RIL-ohjeista, VTT:n julkaisuista ja RYL-ohjeista. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty RT-kortistosta vuosilta 1958 ja 1972 löytyneet rakennelleikkaukset, joista löytyy valesokkelin rakennusohje.



Kuvat 1 ja 2. RT-kortisto ohjeisti valesokkelin rakentamiseen 1950- ja 1970-luvuilla.

Virallisista ohjeista päätellen rakennetta oli tutkittu ja se oli todettu toimivaksi. Aika on kuitenkin näyttänyt, että valesokkelirakenteen valmistusohjeistuksessa ei ollut huomioitu ilmiöitä, jotka rakenteen ympärillä vaikuttavat. Tämän seurauksena tuhansissa asunnoissa on nykyäskäytöksen mukaan vääränlainen rakenne. Useat ihmiset ovat altistuneet homeiden tuottamille haitta-aineille.

Uusissa virallisissa rakentamisohjeissa valesokkelin kaltaista rakennetta ei suositella. Ulkoilmaan rajoittuvat seinärakenteet on liitettävä sokkeliin ja maanvastaiseen lattiarakenteeseen siten, että kosteuden haitallinen siirtyminen ja kertyminen seinärakenteeseen sokkelin tai viereisen lattiarakenteen kautta on estetty

ja seinän alareunan kuivuminen on tarvittaessa mahdollista (SRMK C2. s.11). Rakennusinsinööriliiton veden ja kosteudeneristysohjeissa tarkennetaan, että maanvastaisen betonilaatan tai betonisen alapohjan päälle rakennettavan puurunkoisen seinän (myös väliseinän) aluspuu tulee sijoittaa laatan yläpuolelle niin, ettei puuta jää betonivalun sisään (RIL 107 -2012). Näillä määräyksillä ja ohjeilla on pyritty siihen, että rakennus kestää vaurioitumatta koko rakennuksen käyttöajan.

1.2 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimus rajattiin koskemaan Oulun Rajakylässä sijaitsevan rivitaloyhtiön kaltaisia valesokkelirakenteita ja taloyhtiöön tehtyjä korjaustoimenpiteitä. Kyseisessä taloyhtiössä tehtiin peruskorjausta. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli tarkoitus vaihtaa parvekerakenteet uusiin, muuttaa tasakatto harjakatoksi ja lisäeristää julkisivut puujulkisivujen osalta. Korjauksen yhteydessä havaittiin, että kahden talon alaohjauspuut ovat kosteita. Mittauksissa selvisi, että kosteuspiitoisuus oli jopa yli 35 painoprosenttia. Puurakenteen kosteuspiitoisuuden tulisi olla alle 20 painoprosenttia (Viitanen, et al. 2002. s.13), jotta homerihmastot eivät alkaisi kasvaa rakenteessa. Alaohjauspuiden vaihto olisi tullut liian kalliiksi, joten päädyttiin muiden korjaustoimenpiteiden lisäksi vaihtamaan taloa ympäröivät maat vettä paremmin läpäiseviksi ja salaojittamaan rakennuksen ympäristö. Alaohjauspuun kuivuminen valesokkelirakenteessa on aina hidasta ja tietyissä olosuhteissa se ei välttämättä kuivu ollenkaan. Tutkimuksessa seurattiin tehtyjen korjaustoimenpiteiden vaikutusta mittaamalla alaohjauspuun kosteuspiitoisuutta määräajoin.

1.3 Tavoitteet

Tavoitteena oli mittaamalla selvittää, olivatko tehdyt korjaukset ja muutostyöt riittäviä alaohjauspuun kuivumiseksi. Lisäksi valesokkelirakenteesta tehtiin laskentamalli, jonka avulla rakenteen teoreettista toimintaa verrattiin kenttätutkimuksiin. Laskentamallin avulla voitiin myös arvioida, miten kosteusvaurioitunut alaohjauspuu käyttäytyy eri olosuhteissa. Erilaiset olosuhteet saatiin laskentamalliin muuttamalla ilmansuuntia ja viistosaderasitusta.

2 AIEMMAT TUTKIMUKSET

Maanvaraisten alapohjien ja siihen liittyvien seinärakenteiden rakennusfysikaalista toimivuutta on tutkittu Suomessa ja Ruotsissa 1980-luvulta lähtien. Maanvaraisen betonilaatan ja puisen seinärakenteen liitoksen hyvän rakennusfysikaalisen toiminnan varmistaminen on tärkeää. Betoniperustuksen ja puurunkoisen seinärakenteen liitos on alttiina kosteusvaurioille, joista voi nopeassa tahdissa seurata mikrobiongelmia sisätiloihin. Vielä 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa mikrobiongelmasta puhuttiin vain kiusallisena hajuhaittana (Tulla, K. 1984. s.9) Nykyään mikrobien aiheuttamiin haittoihin suhtaudutaan huomattavasti vakavammin. Tiedon lisääntymisen seurauksena on alettu ymmärtää, miten mikrobien aineenvaihduntatuotteet vaikuttavat ihmisiin. On havaittu, että altistuminen mikrobeille ja niiden aineenvaihduntatuotteille saattaa sairastuttaa altistuneet ihmiset vakavasti (Hengityслиitto).

Kauko Tulla selvitti vuosien 1982–1983 aikana suppealla kenttätutkimuksella valesokkelirakenteiden omakotitalojen alajuoksujen kosteuspitoisuuksia. Tullan tutkimus tehtiin, koska kentällä oli tehty havaintoja, joiden mukaan seinärakenteen alaohjauspuu joutuu toisinaan liian suureen kosteuspitoisuuteen. Tutkimuksella haluttiin alustavasti selvittää syitä korkeisiin kosteuspitoisuuksiin. Mittaukset oli suoritettu vastusmittauksena syksyllä 1982 ja keväällä 1983. Keväällä 1983 kohteista oli otettu koekappaleet, joiden kosteuspitoisuus oli määritetty punnitsemalla ja kuivattamalla näyte. Olemassa olevista rakennuksista oli mitattu homeen ja lahon kasvun kannalta liian korkeita, yli 20 p%:n kosteuspitoisuuksia. Koekohteista, joita oli 15 kappaletta, haitallisen korkeita kosteuspitoisuuksia oli mitattu joka kolmannesta kohteesta (Tulla, K.1984). Tutkimuksessa Tulla yritti alustavasti selvittää syitä kohonneisiin kosteuspitoisuuksiin, mutta selviä syitä kohonneisiin kosteuspitoisuuksiin ei yhtä poikkeusta lukuun ottamatta löytynyt. Ainoa selvä yhteys kohonneeseen kosteuspitoisuuteen saatiin kylpyhuoneen vesieristyksen puutteista johtuen.

Seuraavassa vaiheessa Tulla mittasi vastavalmistuneiden talojen alaohjauspuun kosteuspitoisuuksia seurantamittauksena 1984 - 1986. Tutkimuksessa Maanvaraiseen alapohjaan liittyvien puurakenteiden kosteus todetaan, että lyhyen mittausjakson n. 1,5 vuoden perusteella toimivia valesokkelillisiä rakennuksia voidaan rakentaa. Tullan suorittamassa tutkimuksessa oli mukana 8 vasta valmistunutta omakotitaloa, joiden alajuoksun kosteuspitoisuuksia mitattiin vastusmittauksena.

Tutkimuksen kahdeksasta talosta neljässä talossa sokkelirakenteena oli valesokkelirakenne. Tutkimuksen talojen valesokkelin rakenne edustaa hyvin 1980-luvun alun ohjeistuksen mukaista rakennustapaa. Alajuoksujen alapuolella oli bitumikermi kosteuseristyksenä, ulkopuolinen maanpinta sijaitsi alajuoksun tason alapuolella ja sokkelirakenteen ulkoreunan betoni oli nostettu n. 20-30 cm alajuoksun yläpuolelle. Tarkat rakenneleikkaukset kaikista neljästä valesokkelirakenteesta on esitetty liitteessä 1. Tutkimuksessa mukana olleista rakennuksista ei mitattu liian suuria kosteuspitoisuuksia (Tulla, K. 1987).

Tutkijat seurasivat ja dokumentoivat rakennusten edistymistä työmailla. Tutkituissa rakennuksissa rakentamisen laatu on saattanut olla ajankohtaan nähden keskimääräistä parempaa, koska tutkijat ovat toiminnallaan varmistaneet suun-

nitelmien mukaisen laadun toteutumisen työmailla. He ovat toimineet nykytermin mukaan työmailla valvojina.

Valesokkelirakenteen ongelmat näyttäisivät Tullan tutkimusten perusteella liittyvän, joko rakenteen ikääntymiseen, tai rakentamisen laatuun. Uusissa rakennuksissa ei korkeita kosteuspitoisuuksia havaittu, mutta vanhoissa rakennuksissa korkeita kosteuspitoisuuksia havaittiin. Uusien Kauko Tullan tutkimien rakennusten laatu on saattanut olla keskimääräistä parempi, koska rakentajat ovat tienneet alusta asti, että tekeillä oleva rakennus on tutkimuskohteena. Rakentamisen aikana tutkijat ovat käyneet dokumentoimassa eri työvaiheet ja materiaali paksuudet. Näin toimiessaan tutkijat ovat ehkä tahtomattaankin toimineet myös laadun tarkkailijoina.

3 VALESOKKELIRAKENTEEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA

3.1 Yleistä

Kosteusteknisesti toimivia rakennuksia on osattu rakentaa arviolta jo tuhansia vuosia. Viime vuosisadan tyypillinen rossipohjallinen hirsitalo on oiva esimerkki kosteusteknisesti toimivasta rakenteesta. Tällaisessa talossa sisätiloissa vettä käytettiin vähän, suihkua ei ollut, ja sauna sijaitsi erillisessä piharakennuksessa. Talo oli myös rakennettu korkealle ”irti” maasta, näin ehkäisten veden kulkemista alakautta rakenteisiin. Talossa oli harjakatto, jossa oli pitkät räystäät, kattorakenne esti veden pääsyn rakenteisiin ylhäältä päin. Seinät olivat massiivipuuta, joka on yksinkertainen ja kosteusteknisesti toimiva seinärakenne.

1970-luvulla rakennusmateriaaleina käytettiin kohtalaisen uusia materiaaleja, kuten lastulevyä, erilaisia muovikalvoja ja mineraalivillaa. Rakennusalalla työskennelleet henkilöt eivät olleet vielä tottuneet käyttämään näitä materiaaleja, joten materiaaleja saatettiin yhdistellä sopimattomilla tavoilla. 1970-luvun talojen ongelmista pienimmät liittyvät edellä mainittuun kokemuksen puutteeseen.

1970-luvun ongelmat ovat saaneet alkunsa jo arkkitehtien työpöydillä. 1970-luvulla oli muotivirtauksena pientaloissa rakentaa ns. maata myöten (Halme, M. 2004). Matalarakennusbuumi oli alkanut ulkomailla jo 1960-luvulla, josta tšekäläiset arkkitehdit kopioivat tyylin myös tänne pohjolaan. Tyyllille ominaista ovat erittäin matala perustus ja tasakatto. Matalan perustuksen ajatuksena oli kulkesteettömyys ja ajatus maanläheisestä asumisesta. Tasakaton käyttö johtui osin myös halvemmasta hinnasta (Haahtela, Y. Kiiras, J. 2008) , sekä uudesta ja erilaisesta ulkonäöstä.

Rakennusten vaurioissa kosteus on yleensä aina mukana jollain tavalla (Leivo 1998, s.25). Rakennukseen kohdistuvat seuraavat kosteusrasitukset: maaperän kosteus, vajovesi, roiskevedet, pintavesi, sulamisvesi, rakennekosteus, lumi, jää, vesisade, lumisade, kapillaarisesti nouseva vesi, ulkoilman kosteus, putki-
vuodot, sisällä käytettävä vesi ja sisätilan kosteustuotto. Kuvassa 3 on esitetty

pyrkivät tasoittumaan. Tasoittumisnopeus eli lämpövirta voidaan laskea kaavalla (1) (Björkholtz, D. 1997) .

$$q = \lambda * \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (1)$$

missä

q on lämpövirta (W / m^2)

λ on materiaalin lämmönjohtavuus ($\frac{W}{m * K}$)

Δt on lämpötilaero rakenteen yli (K)

Δx on kappaleen paksuus (m)

Säteilyssä lämpöenergia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Kaikki kappaleet emittoivat lämpösäteilyä. Säteilyteho saadaan laskettua kaavan (2) avulla (Björkholtz, D. 1997).

$$Q = \varepsilon * \sigma * T^4 \quad (2)$$

missä

Q on säteilyteho (W / m^2)

σ = Stefan-Bolzmännin vakio $\sigma = 5,67 * 10^{-8} W / (m^2 * K^4)$

T on kappaleen lämpötila (K)

Konvektiossa lämpö siirtyy fluidin virtauksen mukana. Konvektio voi olla luonnollista tai pakotettua. Luonnollisessa konvektiossa kaasu liikkuu lämpötilaerojen aiheuttamien tiheuserojen vuoksi. Puhtaasti luonnollista konvektiota esiintyy rakennuksissa harvoin. Pakotetussa konvektiossa kaasu liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Sisätiloissa esim. ilmanvaihto ja ihmisten liikkeet aiheuttavat pakotettuja virtauksia. Ulkotiloissa tuuli on ensisijainen pakotetun konvektion aikaan saaja.

Rakennuksesta lämpöenergia siirtyy pääosan vuotta kaikilla edellä esitetyillä tavoilla sisältä ulos. Säteilyn osuus energia kulutuksesta on verrattain pieni, mutta säteilyn aiheuttamilla pintalämpötila eroilla on merkitystä asuinviihtyvyyden kannalta. Ulkolämpötilan ollessa alhainen saattaa ikkunan edusta tuntua vetoisalta juuri säteilystä johtuen. Johtumalla rakenteen läpi kulkeutuu vuositasolla jo huomattavasti säteilyä enemmän lämpöenergiaa. Johtumalla kulkeutuvan energian määrää pyritään rajoittamaan erilaisia eristemateriaaleja käyttämällä. Nykyään mineraalivillaeristeet ovat suuressa suosiossa hyvän eristävyys- den, helpon käytettävyyden ja halvan hinnan takia. Konvektiovirtausten mukana kulkeutuva energian määrä on merkittävä. Ilmanvaihdon jäteilmän mukana rakennuksesta ulos kulkeutuu myös lämpöenergiaa. Huonosti tiivistetyssä rakennuksessa hallitsemattomat ilmavirtaukset selittävät osan rakennuksen energi- ankulutuksesta.

3.2.2 Ominaislämpökapasiteetti ja tiheys

Ominaislämpökapasiteetti

Materiaalin kykyä sitoa lämpöenergiaa itseensä kuvataan ominaislämpökapasiteetilla c_p . Ominaislämpökapasiteetin yksikkö on $\frac{J}{K \cdot kg}$.

Tiheys

Materiaalin tiheys ilmaisee kappaleen massan suhteessa sen tilavuuteen. Tiheys esitetään kaavalla (3).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

missä

m = massa (kg)

V = tilavuus (m^3)

Terminen diffusiviteetti

Aineen kykyä johtaa lämpöä suhteessa kykyyn varastoida lämpöenergiaa kuvataan termisellä diffusiviteetilla α , joka määritellään kaavalla (4).

$$\alpha = \frac{\lambda_h}{\rho_{mass} \cdot c_p} \quad (4)$$

missä

α_h = lämmönjohtavuus ($\frac{W}{K \cdot m}$)

ρ_{mass} = tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

c_p = ominaislämpökapasiteetti ($\frac{J}{K \cdot m}$)

Aineet, joilla on suuri termien diffusiviteetti, reagoivat nopeasti ympäristössään tapahtuviin lämpötilan muutoksiin. Pienen termisen diffusiviteetin omaavien aineiden tapauksessa ympäristön lämpötilan muuttuessa tasapainotilan saavuttaminen kestää pidempään.

3.2.3 Kosteudensiirtyminen

Kosteus kulkeutuu rakenteissa diffuusiolla, kapillaarisesti ja konvektiolla. Lisäksi vesi voi valua gravitaatiolla rakenteita pitkin.

Diffuusio

Diffuusiolla tapahtuva kosteuden siirtyminen on seurausta Fickin laista. Kosteuden konsentraatioerot pyrkivät tasoittumaan. Yleensä asuinrakennuksessa vallitsee tilanne, jossa sisäilmassa on enemmän kosteutta, kuin ulkoilmassa. Täl-

löin sisäkosteus pyrkii diffuusiolla siirtymään ulkoseinärakenteen läpi ulos. Diffuusiolla kulkeutuvan kosteuden määrä voidaan laskea kaavalla (5) (Björkholtz, D. 1997).

$$g = \delta_v * \frac{\Delta v}{\Delta x} \quad (5)$$

,missä

g on kosteusvirta (kg/s)

δ_v on vesihöyryn läpäisevyys (m^2 / s)

Δv on kosteusero ($\frac{kg}{m^3}$)

Δx on diffuusiomatka (m)

Konvektio

Konvektiossa vesihöyryä siirtyy ilmavirran mukana. Ilmavirtauksia syntyy, kun rakenteen eripuolilla vallitsee erilaiset ilman kokonaispaineet. Ilmanpaine-eroja aiheuttavat tuuli, lämpötilaerot ja ilmanvaihtojärjestelmät. Ulkoa rakenteeseen virtaava ilma yleensä kuivaa rakennetta, koska ulkoilma on sisäilmaa kylmempää ja kuivempaa. Sisältä rakenteeseen virtaava ilma saattaa aiheuttaa kosteuden kondensoitumista rakenteeseen, koska yleensä sisäilma on lämmintä ja sisäilman sisältämä absoluuttinen kosteus on ulkoilmaa korkeampi. Kylmetessään sisäilman sisältämä kosteus saattaa tiivistyä rakenteen sisään.

Kapillaarinen siirtyminen

Kapillaarivoima aiheuttaa veden imeytymisen kiinteän materiaalin huokosiin. Kapillaarivoima johtuu vesimolekyylien ja kiinteän aineen välisestä vetovoimasta. Materiaalissa, jossa on positiivisia ja negatiivisia osia, vesimolekyylit pyrkivät sijoittumaan sähköstaattisen vetovoiman vaikutuksesta pinnoille. Materiaalit, joissa kapillaarivoima vaikuttaa, ovat koostuneet polaarista yhdisteistä. Tällaisia materiaaleja ovat epäorgaaniset ionisidokselliset yhdisteet ja orgaanisista yhdisteistä ne, joissa on runsaasti happea sisältäviä funktionaalisia ryhmiä. Polaarista yhdisteistä muodostunut pinta on hydrofiilinen eli vesihakuinen. Kun hydrofiilisessä materiaalissa on jatkuva hienojakoinen huokosverkosto, vesi pyrkii peittämään huokosten seinämät ja samalla vesi kulkeutuu materiaalin sisään. Mitä hienojakoisempi huokosverkosto on, sitä enemmän siinä on hydrofiilistä pintaa ja sitä voimakkaammin huokosverkosto imee vettä. Suurissa huokosissa hydrofiilisten pintojen aiheuttama imu ei riitä vesimassan liikuttamiseen, koska veteen kohdistuva painovoima on kapillaarivoimaa suurempi ja ohjaa veden alaspäin. Tästä syystä esim. karkearakeiset maa-ainekset kuten sora ja sepeli läpäisevät vettä, mutta hienojakoinen savi imee hyvin vettä.

Huokoiset mineraaliset rakennusmateriaalit kuten betoni, tiili ja laastit sekä orgaaninen puu ovat kapillaarisia, joten niiden huokokset ovat kosteissa oloissa vesitäytteisiä. Valesokkelirakenteessa tämä täytyy huomioida asentamalla kapillaarikatko sokkelirakenteen alapuolelle. Koska kapillaarivoima vaikuttaa myös sivusuunnassa, täytyy alaohjauspuun ulkoreunalle asentaa kapillaarikatko, esimerkiksi bitumihuopa, koska betoni siirtää tehokkaasti viistosateen tuomaa vet-

tä rakenteessa. Kuvassa 4 on esitetty eri maalajien kapillaarisia nousukorkeuksia. Betonissa kapillaarinen nousukorkeus voi olla jopa kymmeniä metrejä. Puussa kapillaarinen siirtyminen (nousukorkeus) on voimakkaasti riippuvainen siirtymissuunnasta, kapillaarinen siirtyminen on hyvin voimakasta puun syiden suuntaisesti, kun taas syitä vastaan kapillaarinen nousu on huomattavasti vähäisempää.

16. Kapillaarisuus eri maalajeissa [2].

Maalaji	Keskimääräinen raekoko mm		Kapillaarisuus cm	
	D_{50}		Löyhä	Tiivis
Karkeahiekka	0,6	2,0	3 ... 12	4 ... 15
Keskihiekka	0,2	0,6	10 ... 35	12 ... 50
Hienohiekka	0,08	0,2	30 ... 200	40 ... 300
Karkeasilte	0,02	0,06	150 ... 500	250 ... 800
Siltti	0,02	0,002	400 ... 1000	600 ... 1200
Savi		0,002	800	1000

Kuva 4. Eri maalajien kapillaariset nousukorkeudet (RIL – 155).

Kapillaarista veden siirtymistä vapaasta vesipinnasta materiaaliin voidaan arvioida yhtälöillä (6) ja (7) (Nevander, L. Elmarsson, B. 2009).

$$t = mx^2 \quad (6)$$

$$G = B\sqrt{t} \quad (7)$$

, missä

t = aika (s)

m = virtausvastus ($\frac{s}{m^2}$)

x = tunkeutumissyvyys (m)

G = imeytynyt vesimäärä ($\frac{kg}{m^2}$)

B = kapillaarisuuskerroin $\frac{kg}{m^2\sqrt{s}}$

Kosteuslisä

Sisäilma on yleensä ulkoilmaa kosteampaa, koska rakennuksen toiminnot tuottavat vesihöyryä sisäilmaan. Ruuan laitto, suihkussa käynti, hikoilu, hengitys ja viherkasvien kastelu ovat yleisimpiä kosteuslisän aiheuttajia (Leivo 1998, s.25).

Kosteuslisä lasketaan kaavalla (8).

$$\Delta v = v_s - v_u \quad (8)$$

,missä

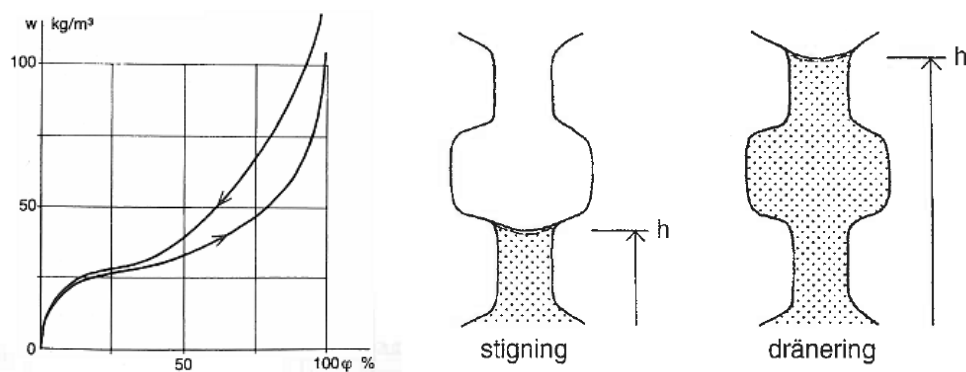
Δv on kosteuslisä (g / m^3)

v_s on absoluuttinen kosteuspitoisuus (g / m^3)

v_u on kriittinen kosteuspitoisuus ()

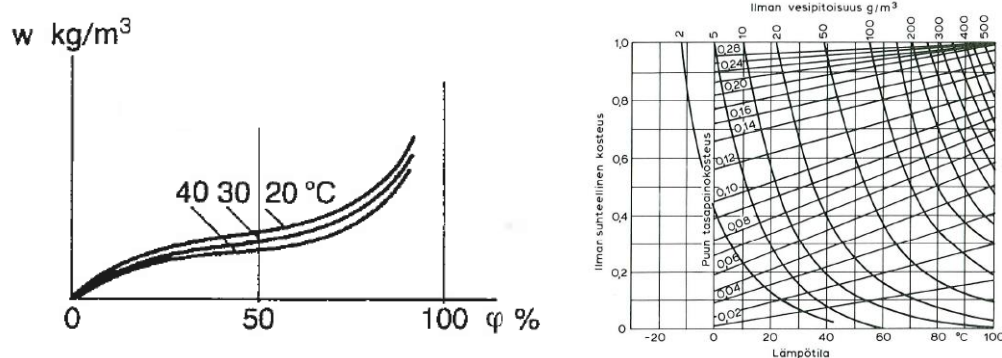
3.2.4 Kosteuskapasiteetti

Kosteuskapasiteetti kuvaa rakennusaineen kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta. Kosteuskapasiteetti vaikuttaa rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Suuri kosteuskapasiteetti tasaa kosteuden liikkeitä ja vähentää kosteusvaurion vaaraa. Eri materiaaleilla tasapainokosteuskäyrät on määritetty kokeellisesti. Kosteuskapasiteetti kuvataan yleensä suhteellisesta kosteuspitoisuudesta riippuvana, koska useimmilla materiaaleilla lämpötilan vaikutus materiaalin kosteuspitoisuuteen on pieni. Materiaalin kastumis- ja kuivumistasapainokosteuskäyrät eroavat toisistaan. Kuvassa 5 on esitetty betonin K25 tasapainokosteuskäyrät, joista nähdään että materiaalin kyky sitoa kosteutta kasvaa huomattavasti suhteellisen kosteuspitoisuuden noustua lähelle 100 %:a. Kastuvassa materiaalissa on vähemmän kosteutta, kuin samoissa olosuhteissa olevalla kuivuvalla materiaalilla. Ilmiö on seurausta materiaalin sisäisestä vaihtelevasta huokosjaosta. Erikokoiset kapillaarit, jotka ovat yhteydessä toisiinsa pyrkivät säilyttämään kosteuspitoisuutensa. Kuvassa 6 on esitetty vesipatsaan liikkuminen materiaalin huokosissa. Kuvasta nähdään, että kastuva materiaali sisältää vähemmän kosteutta kuin kuivuva materiaali. Ilmiötä kutsutaan hystereesiksi.



Kuva 5. Materiaalin kosteudensitomiskyky riippuu suhteellisesta kosteuspitoisuudesta (Nevander, L. 1994, s.479). **Kuva 6.** Materiaalin sisäinen huokosjako pyrkii säilyttämään kosteuspitoisuutensa (Nevander, L. 1994, s.255).

Kuvassa 7 on esitetty lämpötilan vaikutus materiaalin kykyyn sitoa kosteutta. Kylmällä materiaalilla on parempi kosteudensitomiskyky kuin lämpimällä materiaalilla. Puulla lämpötilan vaikutus kosteudensitomiskykyyn on suurempi kuin useimmilla muilla rakennusmateriaaleilla. Kuvan 8 käyrästä nähdään, että lämpötila vaikuttaa voimakkaasti puun kykyyn sitoa kosteutta.



Kuva 7. Materiaalin kosteudensitomiskyky riippuu, sekä suhteellisesta kosteuspitoisuudesta, että lämpötilasta (Nevander, L. 1994, s.483). **Kuva 8.** Puulla lämpötilan vaikutus kykyyn sitoa kosteutta on muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna suuri (RIL – 120 1990).

3.3 Lämmön ja kosteuden yhteisvaikutukset

3.3.1 Yleistä

Kosteusteknisesti toimivassa rakenteessa suhteellisen kosteuspitoisuuden pitäisi materiaalista riippuen olla alle 75–95 %. Tutkimustiedon (Viitanen et al, 2002 s.13) perusteella puuta sisältävän seinärakenteen suhteellinen kosteuspitoisuus pitäisi olla alle 80 %, jotta erilaiset homeet eivät viihtyisi rakenteessa. Puun paino-osuutena $RH = 80 \%$ vastaa noin 20 painoprosenttia (RIL 120-1991, s.22).

Lyhytaikaista korkeampaa kosteuspitoisuutta rakenteet kestävät jonkin verran, mutta optimiolosuhteissa homeet alkavat kasvaa jopa alle kahden viikon kuluttua kastumisesta (Viitanen et al, 2002 s.14). Rakenteen kastuminen on järkevää ehkäistä mahdollisimman hyvin. Rakenteen kastuminen on kuitenkin mahdollista erilaisista syistä esim. putkirikoista johtuen, joten rakenne pitää suunnitella sellaiseksi, että rakenteen riittävän nopea kuivuminen on mahdollista.

3.3.2 Rakennusmateriaalien turmeltuminen

Rakennusmateriaalien turmeltumisessa kosteus on lähes aina mukana jollain tavalla. Rakennusmateriaalien kosteusvauriot ilmenevät kosteusmuodonmuutoksina ja home- ja lahovaurioina.

Lahovaurion alkaminen puussa edellyttää tutkimusten mukaan noin 25-30 painoprosentin kosteuspitoisuuksia (Viitanen et al, 2002 s.13), suhteellisen kosteuspitoisuutena tämä vastaa 95–100%. Yksin korkea kosteuspitoisuus ei takaa lahon alkamista, vaan rakenteen tulee olla myös tarpeeksi lämmin. Asuntohallituksen opasjulkaisun (Pientalon kosteustekniikka. 1989) mukaan lahottajien rihmastot voivat kasvaa vasta, kun lämpötila nousee nollan celsiusasteen yläpuolelle. Optimilämpötila lahottajille on saman lähteen mukaan +15- +45 asteen välillä.

Homeaurion alkaminen edellyttää lahoa hieman matalampaa, eli n. 20 p-%:n kosteuspitoisuutta, joka vastaa 80 %:n suhteellista kosteuspitoisuutta. Lämpötilan tulee myös homeen kasvulle olla yli nollan celsiusasteen.

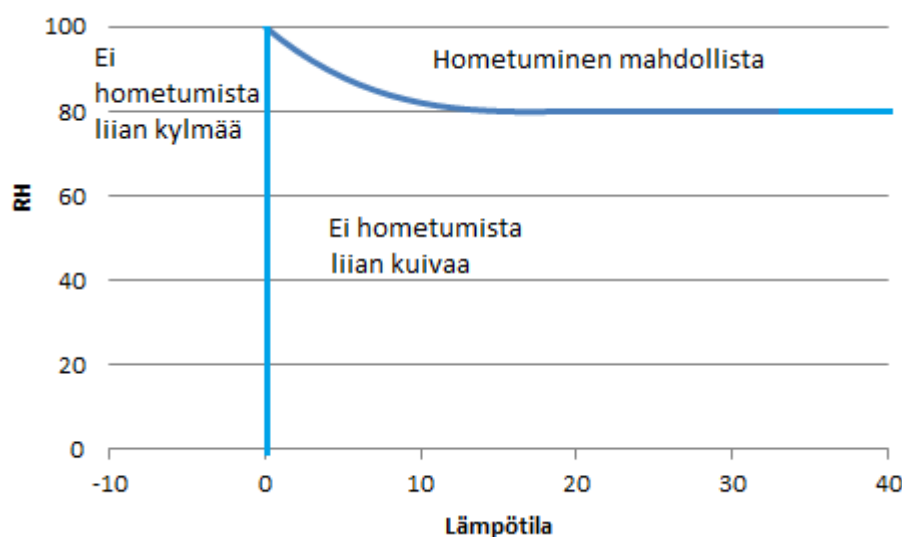
Valesokkelirakenteessa on yleisesti käytetty painekyllästettyä puuta, joka estää lahon ja homeen kasvun itse kyllästetyssä puussa. Home pystyy kuitenkin kasvamaan painekyllästetyn puun pinnalla, jos pinnalla on tarpeeksi ravinteita, esim. pölyä. Kaiken puumateriaalin pitäisi siis pysyä sellaisessa kosteusstilassa, joka ei mahdollistaisi homeen, eikä lahon kasvua.

3.3.3 Homehtumisriski

Tarkempi menetelmä homehtumiselle on käyttää VTT:n ja TTY:n yhteistyössä kehittämää homeindeksilaskelmaa (Vinha, J, 2011). Homeindeksillä saadaan laskettua homeen alkamiseen kuluva aika, kun kosteuspitoisuus ja lämpötila ovat tiedossa. Homehtumisriskin tarkempi laskennallinen tutkiminen homeindeksillä on perusteltua, koska matalissa eli alle $+20^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa home tarvitsee korkeamman suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaakseen.

Yhtälö, jonka VTT ja TTY ovat esittäneet homehtumisen kriittiseksi rajaksi, on esitetty kaavassa (9). Yhtälöistä piirretty kuvaaja on esitetty kuvassa 9.

$$RH_{kriit} = \begin{cases} -0,00267T^3 + 0,160T^2 - 3,13T + 100 \\ RH_{min} \end{cases}, \text{ kun } \begin{cases} T \leq 20^{\circ}\text{C} \\ T > 20^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (9)$$



Kuva 9. Homehtumisriski kuvaaja.

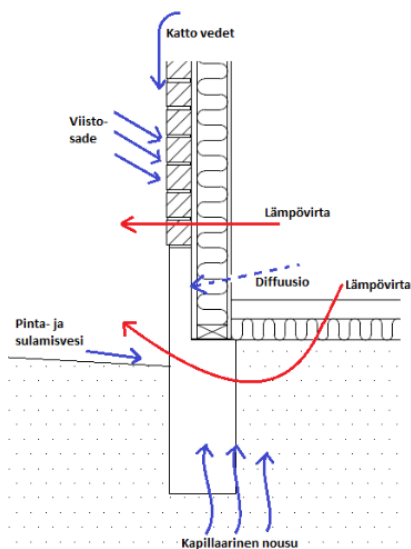
Homehtumisriskikuvaajasta nähdään, että alle 15°C lämpötilat vaativat yli 80 %:n suhteellista kosteuspitoisuutta. 5°C lämpötilassa suhteellisen kosteuspitoisuuden pitää olla noin 90 %, jotta homeet voisivat kasvaa.

3.4 Valesokkelin ja alaohjauspuun liitoksen rakennusfysiikallinen toiminta

3.4.1 Valesokkelirakenteen kosteusrasitukset

Valesokkelirakenteen selkeänä etuna voidaan nähdä kylmäsillan puuttuminen liitoksesta käytännössä kokonaan. Kylmäsillattomaksi rakenteeksi valesokkeli rakenne on helppo ja edullinen toteuttaa. Maaperästä kosteus siirtyy rakenteeseen kapillaarisesti, jos kunnollista kapillaarikatkoa ei ole tehty. Puutteellisesti muotoillut pintamaat ohjaavat maahan tulevat sadevedet rakennuksen vierelle, josta kosteutta voi kulkeutua valesokkelirakenteeseen. Kukkapenkkiin yms. kasvualustoiden pitäisi sijaita etäällä rakennuksesta. Jos hyvin kosteutta sitova kasvualusta sijaitsee rakennuksen vierellä, saattaa kukkien kastelun yhteydes-

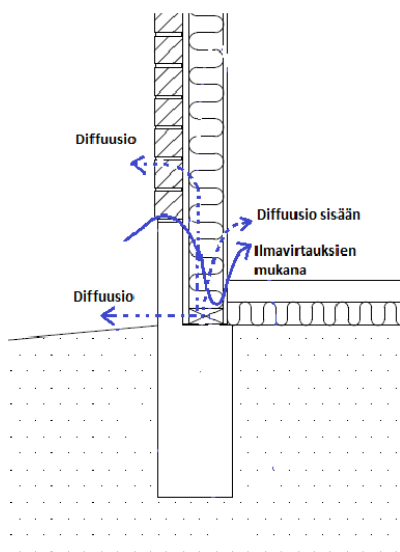
sä kosteutta päästä siirtymään myös valesokkelirakenteeseen. Räystäiden toiminnan pitäisi estää katolta tulevan veden valuminen seinää pitkin. Räystäskourujen tulisi kaataa syöksytorviin päin, jotta vesi poistuisi hallitusti katolta. Katolta tulevat sadevedet pitäisi johtaa hallitusti sadevesiviemäriin tai muulla tavalla pois rakennuksen lähistöltä, jotta vesi ei lammikoidu seinän viereen. Valesokkelin kosteusrasitukset on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Valesokkelirakenteeseen kohdistuu kosteusrasitusta monella eri tavalla.

3.4.2 Valesokkelirakenteen kosteusongelmat

Valesokkelirakenne sinänsä ei ole ongelmarakenne, vaan valesokkelirakenteen kuivumiskyky on alhainen. Valesokkelirakenteen kuivumisreitit on esitetty kuvassa 11. Toimiva valesokkelirakenne edellyttää alhaista kosteusrasitusta, koska kosteuden poistuminen valesokkelirakenteesta on hidasta. Valesokkelirakenteen ongelmien yhteydessä tulee rakennusta tarkastella kokonaisuutena, jolloin saadaan käsitys myös valesokkelirakennetyypin kosteusongelmien syistä.



Kuva 11. Valesokkelin kuivuminen tapahtuu diffuusiolla ulos tai mahdollisten ilmavirtausten mukana sisälle. Mikäli höyrynsulun tilalla käytetään diffuusioavointa ilmansulkua, niin kosteutta pääsee kulkeutumaan sisälle diffuusiolla ilmansulun läpi.

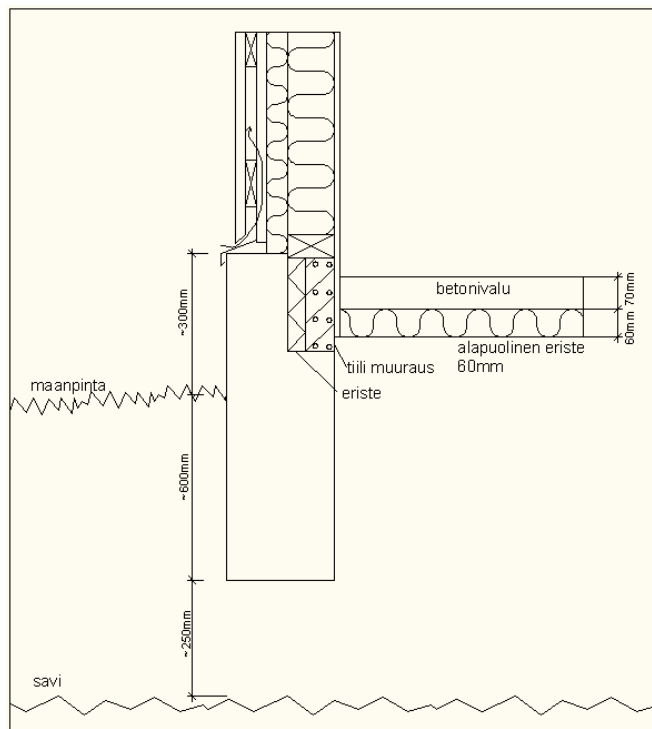
Valesokkelirakenne kestää jonkin verran kosteusrasitusta, mutta jos kosteusrasitus kasvaa liian suureksi, on ongelmia väistämättä luvassa.

3.4.3 Ilmavirtausten merkitys valesokkelirakenteen toimintaan

Normaaliolosuhteissa lähes vuoden ympäri valesokkelirakenteen sisäpuolella vallitsee alipaine ulkoilmaan nähden. Tällöin ulkoilma pyrkii kulkeutumaan valesokkelirakenteen läpi mahdollisista epätiiveyskohdista sisätiloihin. Tällainen ilmavirtaus kuivattaa valesokkelirakennetta, mutta ilmavirtauksen mukana mahdollisesti kulkeutuvat epäpuhtaudet eivät ole toivottuja sisäilmaan. Mikäli valesokkelirakenne on mikrobivaurioitunut, niin ihmiselle haitallisia yhdisteitä pääsee kulkeutumaan näiden ilmavirtausten mukana sisätilaan.

3.5 Käytössä olevat korjausmenetelmät

Yleensä kosteusvaurioituneen valesokkelin korjausmenetelmäksi suositellaan rakenteen muuttamista siten, että alaohjauspuu nostetaan lattiatason yläpuolelle. Tällöin rakenne ei olisi enää valesokkelirakenne, vaan vastaisi nykyaikaista sokkelirakennetta. Kuvassa 12 on esitetty muuraamalla korjattu valesokkelirakenne. Korjausmenetelmä on esitelty mm. lähteissä (Ympäristöopas 29, s. 36), (Kärki, J. 2007) ja (Pirinen, J. 2008).



Kuva 12. Tekemällä muuraus alajuoksun alapuolelle saadaan alajuoksu nostettua lattiatason yläpuolelle.

Markkinoilla on myös käytössä hieman yksinkertaisempi tapa muuttaa valesokkelirakenne toisella tavalla toimivaksi. Tällä menetelmällä runkotolpat katkaistaan mahdollisen vaurioalueen yläpuolelta ja runkotolpan alle asennetaan teräskenkä, joka valetaan kiinni betonilaattaan. Teräskenkämenetelmällä saadaan aikaan säästöä, koska teräskenkä saadaan asennettua paikalleen vähemmällä työvaiheilla.

Edellä kuvatut korjausmenetelmät ovat kalliita, aikaa vieviä ja asukkaille remonin aikaista asumista suuresti häiritseviä korjaustoimenpiteitä. Tässä tutkimuksessa menetelmää jatkossa kutsutaan massamenetelmäksi menetelmän laajuudesta johtuen.

Pienemmällä korjaustavalla voidaan selvittää, jos lahottajat eivät ole ehtineet lahottaa seinärakenteen alaosia tai alaohjauspuuta. Tällöin valesokkelirakenteelle ei tehdä varsinaisia muutostöitä, vaan keskitytään estämään rakenteen kastuminen järkevillä ulkopuolisilla rakenteilla ja rakenteen kuivumisen mahdollistavilla järjestelmillä. Näitä ovat salaojitusjärjestelmän rakentaminen, pintamaiden uudelleen muotoilu, tasakaton purkaminen ja sen muuttaminen harjakatoksi, tiilen impegointi, sekä pitkien räystäiden rakentaminen. Julkisivun mahdolliset vesivuodot tulee myös tukkia. Vesi voi päästä tunkeutumaan rakenteen sisään mm. huonosti tehtyjen pellitysten kautta. Mahdollinen homekasvusto poistetaan mekaanisesti, niin hyvin kuin se on mahdollista. Desinfioivien aineiden käytöstä on ristiriitaista tietoa ja hyödyt ovat kyseenalaisia, joten niiden käyttöä ei nykyään suositella. (Valvira. 2013)

Tässä tutkimuksessa jatkossa pienempää edellä kuvattua korjausmenetelmää kutsutaan kapselointimenetelmäksi. Kapselointimenetelmässä tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteen tulevaan tiiviyteen. Rakenteen tulee olla sisäosistaan niin tiivis, että sieltä ei pääse mikrobiperäisiä aineenvaihdunta tuotteita sisäilmaan. Tiivistys varmistetaan esimerkiksi butyylikittauksen avulla tai asentamalla veden eristyskaista lattian ja seinärakenteen liitokseen.

3.5.1 Korjausmenetelmien kustannukset

Korjaushankkeeseen ryhtyessä kannattaa korjausmenetelmäksi valita sellainen menetelmä, joka täyttää korjaukselle edellytetyt vaatimukset ja on edullisin kaikista mahdollisista vaatimukset täyttävistä menetelmistä. Taulukkoon 1 on kerätty kustannukset yleisesti käytössä olevista menetelmistä. Kustannukset on

kerätty lähteestä (Haahtela, Y. 2008. s.191–240) ja ne on laskettu euromääräisenä seinän juoksumetriä kohden. Taulukoitujen hintojen alv on 24%.

Taulukko 1. Eri menetelmien kustannukset seinän juoksumetriä kohden.

Työtehtävä	Massamenetelmä tiilimuuraus:	Massamenetelmä teräskenkä:	Kapselointimenetelmä:
Salaojat:	64	64	64
Sadevesijärjestelmä:	26	26	26
Vesikaton muutos:	472	472	472
Pintamaiden muotoilu:	32	32	32
Sokkelirakenteen muutos:	868	352	0
Yhteensä:	1463	947	595

Kuten taulukosta nähdään, massamenetelmien käyttö korjausmenetelmänä on kalliimpaa, kuin kapselointimenetelmän käyttö. Teräskengällä korjaus on 59 %:a ja tiilimuurauksella 145 %:a kalliimpaa, kuin kapselointi menetelmällä korjatesa. Lisäetuna kapselointimenetelmässä on se, että asunnoissa sisäpuolella tiivistetään vain betonilaatan ja seinän liitos vedeneristyskaistan tai butyylikittauksen avulla. Massamenetelmällä korjatesa saattaa lisäkustannuksia aiheutua sisätiloissa mahdollisesti aiheutuvista vahingoista, esim. erilaisista rikkoontumisista. Asumisviihtyvyys laskee massamenetelmällä korjattaessa lähes asumiskelvottomalle tasolle sokkelin muutostöiden ajaksi.

3.5.2 Kokemukset eri korjausmenetelmistä

Ensimmäisenä kuvatussa tiilimuurauksella toteutetusta massamenetelmästä on hyviä kokemuksia, muun muassa Juha-Pekka Kärki ja Heikki Öhman esittävät menetelmän valesokkelirakenteen korjaustavaksi Homevaurioiden korjausoppaassa (Kärki, J. Öhman, H. 2007. s.32-33). Muuttamalla valesokkelirakenne siten että alaohjauspuu ei makaa betonisessa montussa, saadaan rakenne sel-laiseksi, että se toimii kosteusteknisesti oikealla tavalla.

Kokemukset teräskenkämenetelmällä korjatuista kohteista rajoittuvat valmistajan eli Suomen valesokkelikengän kokemuksiin. Valmistajan mukaan menetelmä on toimiva ja valmisrakenne vastaa harkkoperusteista rakennusta.

Kapselointimenetelmän käytännön kokemusten perusteella tiedetään, että joissain tapauksissa tehtyjen tiivistyskorjausten jälkeen sisäilman laatu on parantunut. Joissain tapauksissa asukkaat ovat taas kokeneet tehdyt korjaustoi-menpiteet riittämättömiksi, jotta sisäilman laatu olisi selvästi parantunut. Asuk-kaiden oireilu on tällöin jatkunut myös tehtyjen korjausten jälkeen. Kapselointi-menetelmän tuloksia kirjallisuudessa ei ole laajemmin esitelty, vaikka menetel-mää on korjauksissa käytetty.

4 KENTTÄTUTKIMUS

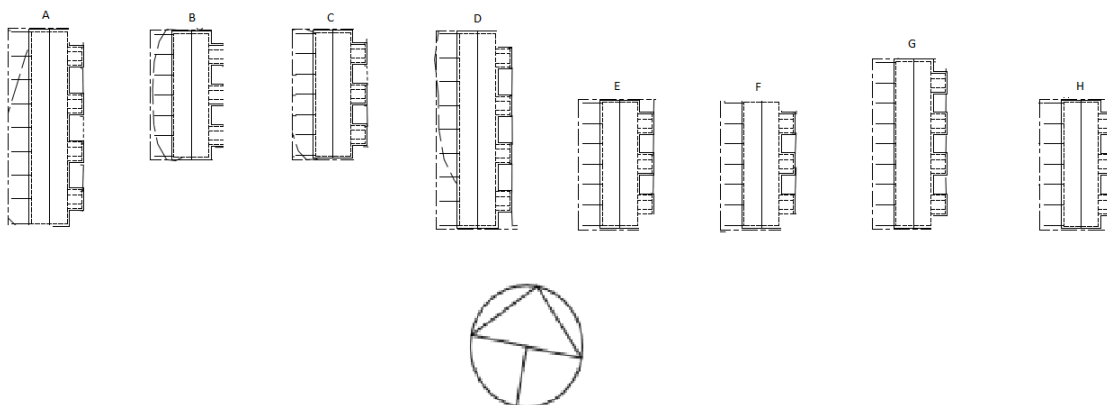
4.1 Kenttätutkimuksen tarkoitus

Kenttämittauksilla haluttiin varmistaa alaohjauspuun kuivuminen tehtyjen kuivausjärjestelmäsennusten jälkeen. Mittauksia suoritettiin aina määräajoin n. 2-3 viikon välein, jotta kuivumisen nopeus koekohteen tapaisissa rakenteissa saatiin selvitettyä. Puun kuivumisnopeuden tunteminen koekohteen kaltaisissa tapauksissa on tärkeää, jotta pystytään arvioimaan korjausmenetelmän onnistumista ja tehtävän korjauksen paras mahdollinen ajankohta. Kenttämittauksella haluttiin myös varmentaa laskentamallin toimivuus kuivumistilanteessa.

4.2 Tutkimuskohde

4.2.1 Vanha rakenne

Mittauskohde on vuonna 1972 rakennettu rivitaloyhtiö, joka sijaitsee Koisoitiellä Oulussa. Taloyhtiöön kuuluu 8 rivitaloa (talot A-H). Kaikki taloyhtiön rakennukset sijoittuvat riviin itä-länsi suunnassa. Kuvasta 13 nähdään taloyhtiön asuintalot ja niiden maantieteellinen sijoittuminen. Asuntojen sisäänkäynnit ovat kaikissa taloissa sijoittuneet talon länsisivulle. Länsisivuilla on asuntoihin kuuluvat piha-alueet.



Kuva 13. As. Oy. Koisopuiston talojen sisäänkäynnit ovat rakennusten itäjulkisivuilla.

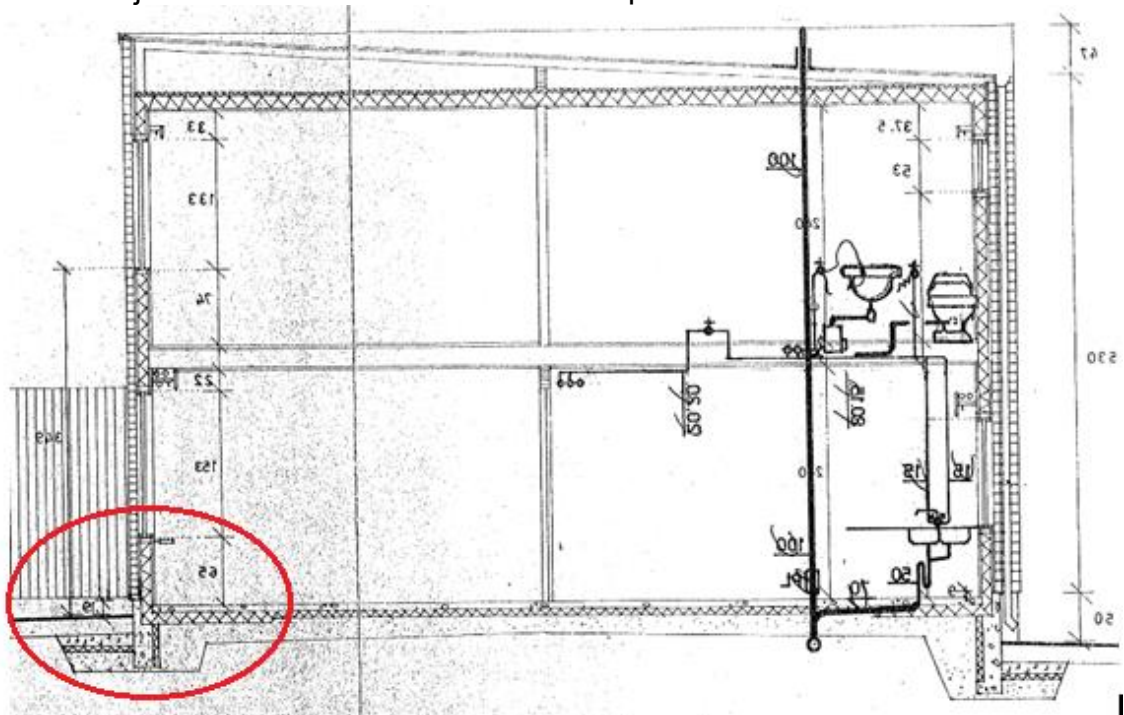
Kesällä 2010 alkaneen remontin yhteydessä, taloista F ja G mitattiin alaohjauspuun korkeita kosteuspitoisuuksia. Muissa taloissa kosteusmittausta ei suoritettu. Kaikissa taloissa oli havaittavissa kosteuden aiheuttamia tummentumia tai homekasvustoa alaohjauspuihin liittyvissä runkotolpissa. Itse alaohjauspuut olivat painekyllästettyä puuta, joten niissä kosteuden aiheuttamia jälkiä tai homeita ei havaittu. Sokkelirakenne on valesokkeli. Seinät ovat puurunkoisia ja julkisivumateriaaleina ovat tiili ja puupaneeli. Sisäverhouslevynä on ollut lastulevy.

Korjaustoimenpiteitä suoritetaan vain tämän sisäverhouslevyn ulkopuolella. Alkuperäinen kattorakenne oli tasakatto. Kuvassa 14 näkyy B-talo ennen korjausta. Parvekkeiden purkutyöt olivat kuvan ottohetkellä jo alkaneet.



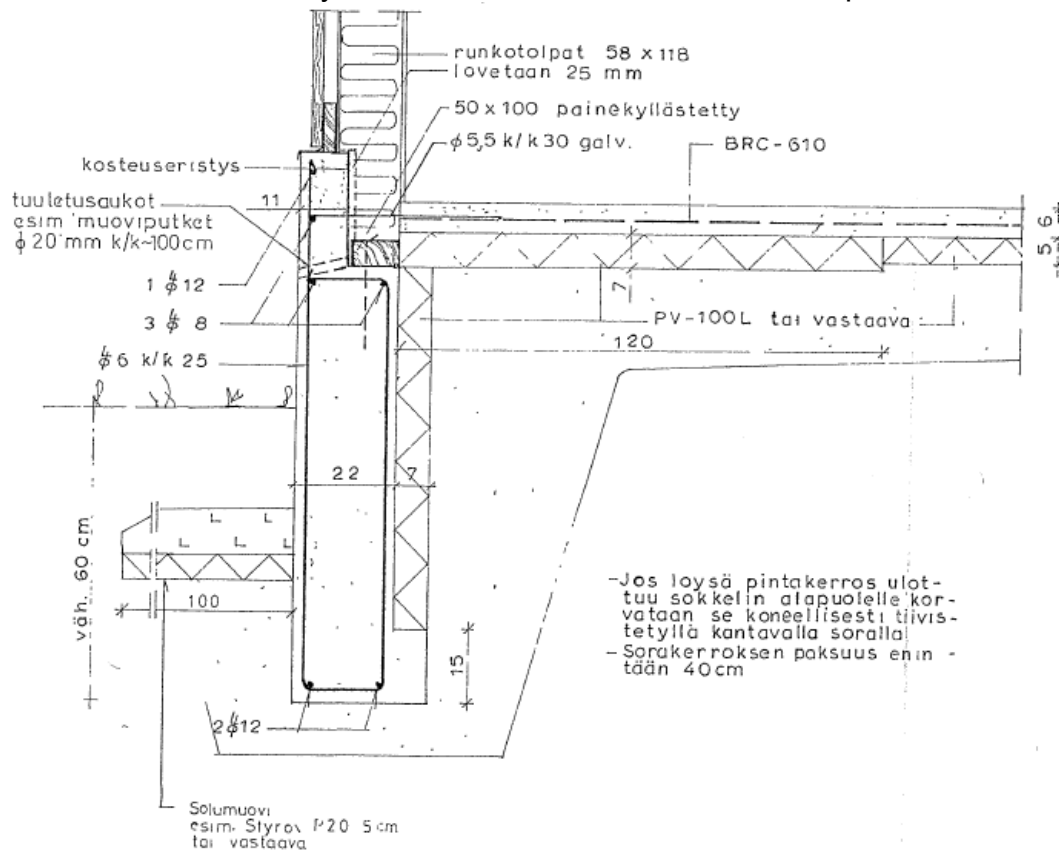
Kuva 14. Ennen remonttia talossa oli tasakatto ja erikoiset parvekkeet.

Alkuperäisestä rakenneleikkauksesta kuvasta 15 nähdään, että takapihan puolella maanpinta on piirretty alaohjauspuun yläpuolelle. Etupihan puolella maanpinta on alaohjauspuun alapuolella, koska sisäänkäynti ja portaikko toiseen kerrokseen sijaitsevat varsinaisen lattiatason alapuolella.



Kuva 15. Rakenneleikkaus vanhasta valesokkelirakenteesta. Valesokkeli on kuvassa ympyröity punaisella.

Detaljikuvasta kuvassa 16 nähdään, että millaiseksi valesokkelirakenne on alun perin suunniteltu. Todellinen rakenne muistuttaa jonkin verran suunniteltua, suurimmat erot suunnitellun ja todellisen rakenteen välillä ovat: tuuletusputkien puuttuminen, erilainen runkomateriaali ja routasuojauksen puuttuminen. Tuuletusputket mahdollistaisivat valesokkelirakenteen tuulettumisen, jos niitä olisi asennettu riittävä määrä ja tuulettuminen olisi mahdollista alaohjauspuun tasolta tuuletusrakoon asti. Suunniteltu runkomateriaali on ollut $58 \times 118 \text{ mm}^2$, mutta todellisuudessa on käytetty $50 \times 100 \text{ mm}^2$ runkotolppia. Kosteudeneristykseenä on käytetty bitumisivelyä. Bitumisively alaohjauspuun alla ja sivulla katkaisee kapillaarisen nousun alaohjauspuuhun. Valesokkelin sisäpuolen yläosan sively hidastaa kosteuden siirtymistä diffuusiolla betonirakenteen läpi.



Kuva 16. Osassa kohteen rakennekuvista maanpinta on piirretty n. 20 cm seinärakenteen alajuoksun alapuolelle.

Taloyhtiössä ei ole aikaisemmin ollut taloja ympäröiviä salaojia, eikä niitä ole piirretty myöskään rakennekuviin. Pintamaiden kallistus talosta pois päin on ollut puutteellista, ja pintamaat ovat olleet huonosti vettä läpäiseviä. Maan huonosta vedenläpäisykyvystä ja vääränlaisesta pintamaan muotoilusta johtuen sadevesi on saattanut seistä sokkelin vieressä pitkiäkin aikoja. Sokkelin vieressä on lähes joka pihalla ollut kukkapenkki kuvan 17 mukaisesti. Kevät- ja kesäaikaan sokkelia on kasteltu kastelukannulla kukkien kastelun yhteydessä. Tasakatolle tullut sadevesi on johdettu syöksytorvilla talon viereen, josta se on imeytynyt maahan ja sitä kautta mahdollisesti myös sokkelirakenteeseen.

Asukashaastattelun perusteella ainakin osassa taloista katon vedenpoisto järjestelmien toiminnassa on ollut ongelmia. Kovien sateiden aikana katolta on tullut vettä räystäiden yli kastellen seinää. Luultavasti kattokaivojen puhdistus on laiminlyöty, joten kaivot ovat päässeet tukkeutumaan ja vesi ei ole päässyt kulkeutumaan veden poistojärjestelmään. Puutteellisen kunnossapidon takia vesi on päässyt valumaan seinälle.



Kuva 17. Takapihoilla on lähes joka asunnossa ollut kukkapenkki kiinni sokkelirakenteessa.

4.2.2 Tehdyt korjaustoimenpiteet

Taloyhtiössä suoritettiin remontti kesän ja syksyn 2009 aikana. Remontin yhteydessä kattorakenne muutettiin tasakattoisesta harjakatoksi, harjakattorakenteeseen kuuluvien räystäiden pituudeksi tuli 50 cm, kuvassa 18 näkyy uusi harjakattorakenne. Taloihin rakennettiin sadevesiviemärintijärjestelmä.

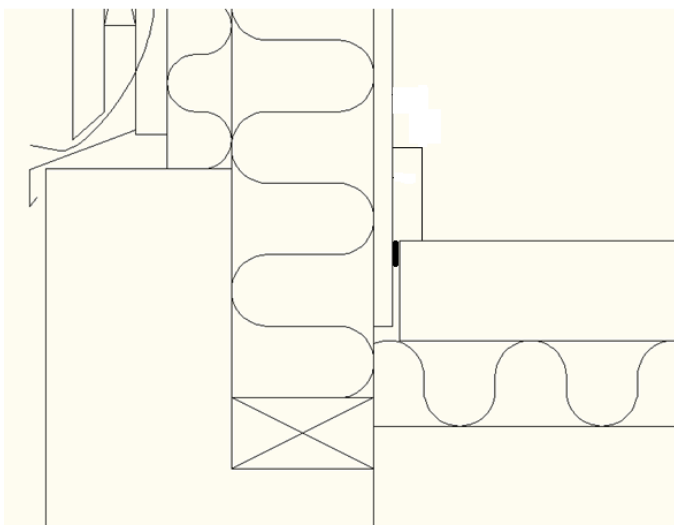


Kuva 18. Harjakatto jatkuu parvekkeiden yli ja räystäät ovat n. 50cm pitkät

Pintamaat saatiin muotoiltua uudelleen kohtalaisen hyvin huolimatta talon matalasta perustustavasta. Talon ulkopuolinen uudelleen muotoiltu maanpinta sijaitsee 10-15 cm alaohjauspuun alapuolella. Maan muokkauksen jälkeen taloja ympäröivät pintamaat kaatavat hyvin taloista poispäin. Sokkelin vieressä sijainneet kukkapenkit poistettiin ja tilalle laitettiin kerros hyvin vettä läpäisevää soraa. Salaojitus jätettiin kustannussyistä pois kolmelta sivulta, salaojat tulivat vain talojen takapihoille. Lisäksi etupihat asfaltoitiin lähes kauttaaltaan, joten sade-

vedet valuvat talojen vierestä pois kastelematta pohjarakenteita. Puupaneeliosien osalta julkisivut lisäeristettiin 45 mm:n isover tuulensuojavillakerroksella.

Sisäverhouslevyä ei jatkettu alaohjauspuun tasolle asti, vaikka levyn alta ulkoilma pääsee kulkeutumaan sisätilaan asti, kuvassa 19 on esitetty rakennelikkaus uudesta rakenteesta. Alun perin 70-luvulla levyn alareuna on jätetty ”tyhjänpäälle” luultavasti levyn korkeudesta johtuen. Levy on ollut mitoiltaan sellainen, että se on toiminut valumuottina betonilattialle, mutta ei ole yltänyt alajuoksun tasolle asti. Jos levyä olisi jatkettu levyn kappaleella alajuoksun tasoon asti, olisi levytykseen kulunut lähes kaksinkertainen aika. Tämä pieni yksityiskohta on ollut mahdollista jättää betonilattian alle piiloon. Korjaustyön yhteydessä lattian ja seinän liitos tiivistettiin butyylikitin avulla. Tiivistyskorjaus saatiin jäämään sievästi listoituksen taakse piiloon.



Kuva 19. Detalji kuva uudesta rakenteesta.

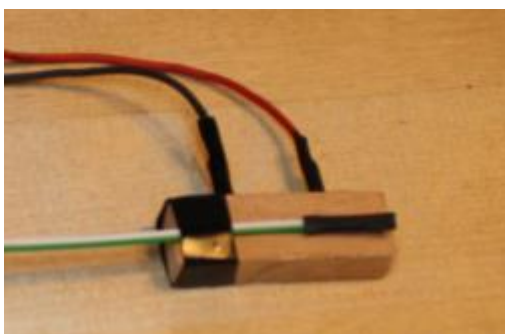
Takapihoille rakennettiin katettu terassi, joka näkyy kuvassa 20. Katteen talonpuoleinen reuna liitettiin vanhaan seinärakenteeseen kiinni, joten viistosaderasitus takapihan seinän alaosiin saatiin kokonaan poistetuksi.



Kuva 20. Takapihoille rakennettiin katettu terassi.

4.3 Mittalaitteisto

Alaohjauspuun kosteuspitoisuutta mitattiin männystä valmistettujen anturikappaleiden avulla, anturikappaleiden puulaji valittiin alajuoksun puulajin mukaan. Anturikappaleisiin sijoitettiin 2 messinkinaulaa mittaaselektrodeiksi kuvan 21 osoittamalla tavalla. Puun sähkönjohtavuus on logaritmisesti verrannollinen kosteuspitoisuuteen. Mittaamalla puun sähkönjohtavuutta saadaan selville myös puun kosteuspitoisuus (Paajanen 1966, s.9).



Kuva 21. Puisen kosteusmitta-anturin mitat olivat 60mm*20mm*10mm. Lämpötilaa mittaava termopari oli liitetty kosteusmitta-anturiin pienellä teippikappaleella.

Kalibrointi

Antureiden kalibroinnissa käytettiin apuna neljää kylläistä suolaliuosta, suolaliuokset olivat NaCl -liuos, Na₂SO₄ -liuos, KCl -liuos ja K₂SO₄ -liuos. Suljettuun astiaan sijoitettu kylläinen suolaliuos muodostaa astian ilmatilaan suhteellisen kosteuspitoisuuden, joka on ennalta tunnettu (Merikallio 2002, s.12). Suolaliuosten aiheuttamat suhteelliset kosteuspitoisuudet löytyvät taulukosta 2, taulukko on koottu lähteen (Merikallio 2002, s.13) tiedoista. Taulukon arvot ovat +20 °C arvoja, missä lämpötilassa myös kalibrointi suoritettiin.

Taulukko 2.

SUOLA	RH
KCl	33%
NaCl	75%
Na ₂ SO ₄	82%
K ₂ SO ₄	97%

Anturit sijoitettiin suljettuun astiaan, jonka pohjalla oli ennalta tunnettua kylläistä suolaliuosta, kuvassa 22 näkyy suljetut suolaliuosastiat ja kalibrointiin tarvittavaa muuta laitteistoa. Antureiden annettiin tasoittua suolaliuoksen aiheuttamaan suhteelliseen kosteuspitoisuuteen, tasoittumista seurattiin lukemalla mittalaitetta. Kun muutosta kosteuspitoisuudessa ei enää kahden vuorokauden kuluessa

tapahtunut, saatiin lukema minkä anturi antaa kyseisessä suhteellisessa kosteuspitoisuudessa.



Kuva 22. Kosteusmittareiden kalibrointi suoritettiin käyttäen hyväksi kylläistä suolaliuosta, joka sijaitsi suljetussa astiassa. **Kuva 23.** Kosteusmittausten lukulaitteena käytettiin Gann RTU-600 kosteusmittalaitetta.

Kalibrointi suoritettiin kahdessa vaiheessa. B-talon mittarit saatiin kalibroituja vain yhdessä suolaliuoksessa. Tämä oli suolan K_2SO_4 -liuos, joka muodostaa 97%:n suhteellisen kosteuspitoisuuden. Korjaustyön yhteydessä seinärakenne on auki vain tietyn ajan, kalibrointi muissa kosteuspitoisuuksissa ei olisi ajallisesti ollut mahdollista. Vaan päädyttiin asentamaan anturit kohteeseen vain tämän yhden kalibrointikosteuspitoisuuden jälkeen. Tällä ratkaisulla saavutettiin etua asennustyötä ajatellen. G-talon anturit kalibroitiin suunnitellusti kolmessa eri kosteuspitoisuudessa.

Kalibroinnin ja kirjallisuudesta löytyneiden toisistaan poikkeavien sorptio- ja desorptiokäyrien perusteella päädyttiin molempien talojen antureissa käyttämään suoraan mittalaitteen antamaa arvoa, ilman erillisiä kalibrointikertoimia. Puumateriaalin sorptio- ja desorptiokäyrät löytyvät liitteestä 2. Kalibroinnin tulokset löytyvät liitteistä 4-5.

Lukulaite

Kosteusmittausten lukulaitteena käytettiin kaupallista Gann RTU600 kosteusmittaria, joka näkyy kuvassa 23. Puukappaleeseen sijoitettujen mittauselektrodien sijainti jäljitteli Gann-mittarin piikkimittausosaa. Kosteuspitoisuus voitiin siksi lukea suoraan Gann-mittarin näytöltä. Gann RTU-600 mittarissa on lämpötilakompensointi 5 celsiusasteen välein, koska puun sähkönjohtavuus on riippuvainen kosteuspitoisuuden lisäksi myös lämpötilasta (Paajanen 1966, s. 11).

Sähköisten mittareiden luotettava toiminta-alue on n. 7–25 p-% (Paajanen 1966). Puun syiden kyllästymiskosteuspitoisuus on n. 25 p-%, joten mittarin antamat lukemat 25 p-%:n jälkeen ovat epäluotettavia. Mittaustavan tarkkuus on $\pm 1,5$ –3 p-%, kun mitta-alue on 7 ja 25 p-% välillä (Paajanen 1966). Käytettyjen antureiden osalta voidaan olettaa pienempää $\pm 1,5$ p-% virhettä, koska mita-anturit edustavat tasalaatuista normaali tiheyksistä mäntypuuta. Painokosteuspitoisuuden muutos suhteelliseksi kosteuspitoisuudeksi tapahtuu käyttämällä puuntasapainokosteus käyrästä, joka löytyy lähteestä (RIL 120-1991, s.22).

Suhteellisen kosteuspitoisuuden määrittämisessä mittalaitteisto toimii luotettavasti välillä RH= 10–95 %.

Lämpötilamittalaite

Lämpötila vaikuttaa puun sähkönjohtavuuteen, joten myös puunkappaleen lämpötilaa mitattiin. Mittaukseen käytettiin k-tyypin termoelementtiä, jonka antama lämpötila on varsin tarkka $\pm 0,5$ astetta (Pietiko Oy 021209 s.1). Lämpötilamittausten lukulaitteena käytettiin Fluke- lämpötilamittalaitetta. Termoelementit kalibroitiin kolmessa eri lämpötilassa, pakastimessa n. -18 °C, jääkaapissa n.+6 °C ja huoneen lämpötilassa n.+20 . Kuvassa 24 näkyy mitta-antureiden kalibrointi pakastimessa. Lämpötila lukemia verrattiin kalibroituun Fluke-anturin antamiin tuloksiin. Näin saatiin luotettava lämpötilalukema kustakin kalibrointi-lämpötilasta. Kalibroinnin perusteella päädyttiin käyttämään lämpötilana mittarin osoittamaa lukemaa ilman kalibrointikertoimia, koska mittaustapa on sinänsä riittävän tarkka tutkittavaan asiaan nähden. Kalibroinnin tulokset löytyvät liitteenä 4. Asennusvaiheessa termoelementti sijoitettiin kiinni puiseen kosteusmittanturiin.



Kuva 24. Termoelementit kalibrointiin pakastimessa, jääkaapissa ja huoneen lämmössä.

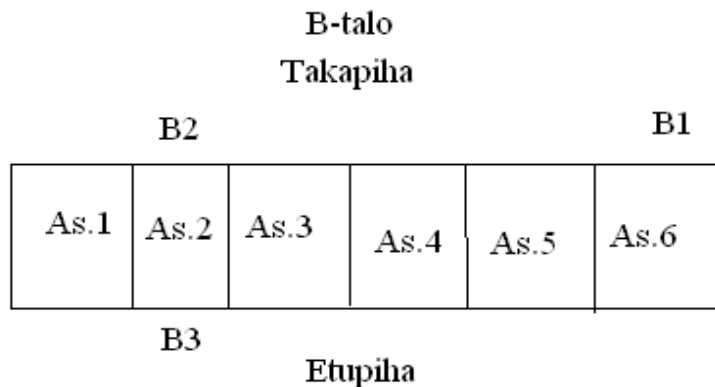
4.4 Mittausohjelma

Mittausohjelman ajankohta oli lokakuu 2009 – lokakuu 2010. Mittaustuloksia haettiin kohteelta aina kahden tai kolmen viikon välein. Mittaustulosten hakumatkoilla kerättiin myös aistinvaraisia havaintoja mittauskohteista. Mittauksia suoritettiin yhteensä kuudessa eri mittauspisteessä, mittauspisteet sijaitsivat taloyhtiön taloista kahdessa, talot olivat B ja G.

4.4.1 B-talon mittaukset

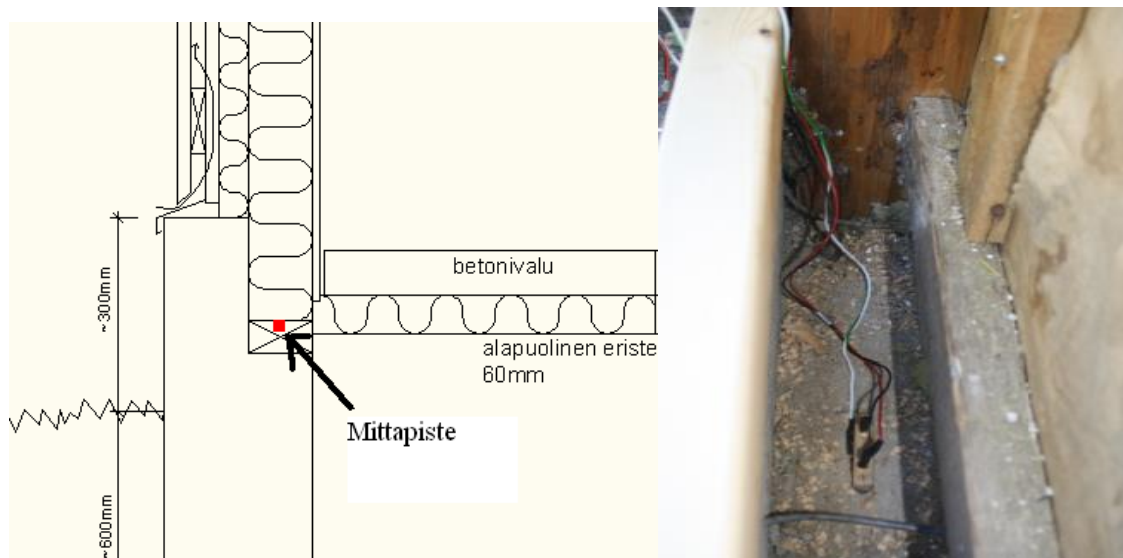
B-taloon sijoitettiin yhteensä kolme anturiparia. Anturipareista kaksi sijoitettiin pohjoisen eli takapihan puolelle, nämä anturiparit asennettiin asuntojen 2 ja 6 kohdalle.

Etelän eli etupihanpuolelle sijoitettiin yksi anturipari, etupihan anturipari asennettiin asunnon 2 kohdalle. Kuvassa 25 näkyy mittauspisteiden sijainnit numeroinnin mukaisesti. B-talon anturiparit numeroitiin B1, B2 ja B3.



Kuva 25. B-talon mittauspisteiden sijainnit.

B-talon kaikki kolme anturia saatiin suunnitellusti upotettua 2cm alaohjauspuun sisään. Anturin asennustapa näkyy kuvassa 26. B-talossa anturit asennettiin aikana, jolloin ulkoseinän paneelit ja villat olivat korjaustyön yhteydessä poistettu.

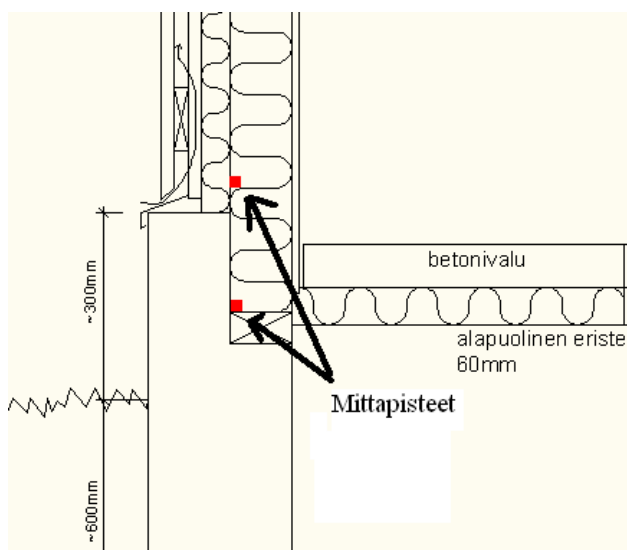


Kuva 26. B-talossa mittausanturiparit upotettiin 2cm alaohjauspuun sisään.

4.4.2 G-talon mittaukset

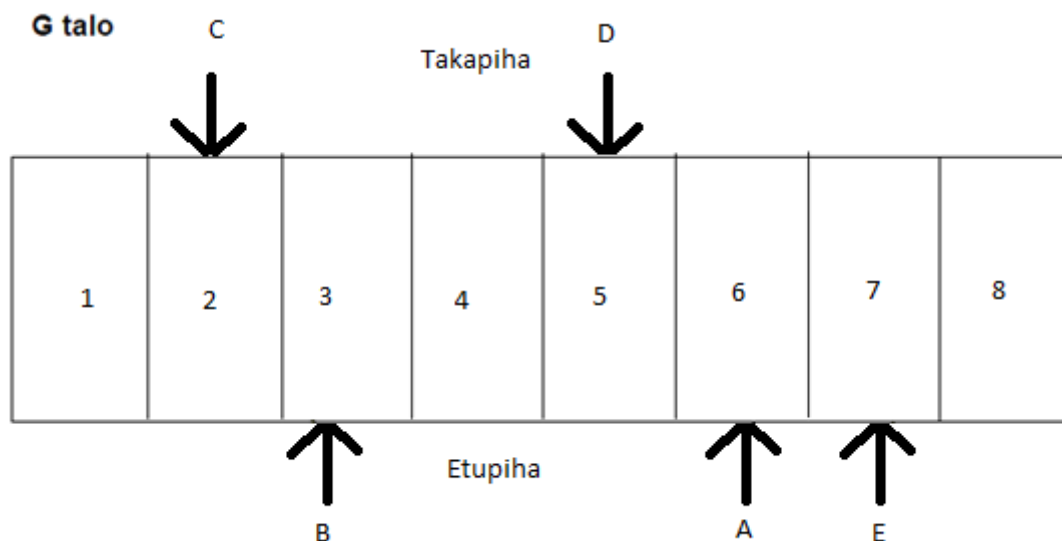
G-taloon sijoitettiin antureita myös kolmeen mittauspisteeseen. Yksi mittauspiste sijoitettiin pohjoisen eli takapihan puolelle asunnon 2 kohdalle. Etelän eli etupihan puolelle sijoitettiin kaksi mittauspistettä asuntojen 2 ja 7 kohdalle.

pystyolppaan. Rakenneleikkauksesta kuvassa 29 nähdään sekä alaohjauspuun anturiparien sijainti, ja 20 cm alaohjauspuun yläpuolella sijainneet anturiparit.



Kuva 29. G-talossa anturipari sijaitsi alaohjauspuun päällä valesokkelirakennetta vasten. Lisäksi G-taloon sijoitettiin kaksi lisämittausanturiparia 20cm alaohjauspuun yläpuolelle mittauspisteisiin G1 ja G3.

G-talosta mitattiin kosteuspitoisuuksia rakentajan toimesta 7.8.2009 remontin yhteydessä. Kosteus- ja lämpötilamittauksen suoritti Munters OY:n Rauno Martinkauppi. Tällöin mitattiin kosteuspitoisuus G-talon alajuoksusta yhteensä viidestä pisteestä. Martinkaupin suorittamien mittauspisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Martinkaupin suorittamien mittausten mittauspisteet.

Martinkaupin mittauspisteistä C vastaa mittausohjelman mukaista mittauspistettä G3.

4.4.3 Sisäolosuhdemittaukset

Sisälämpötilaa ja sisäilman suhteellista kosteuttamitattiin G-talossa ja asunnossa numero 5 seurantamittauksena kahden viikon ajan tammikuun lopussa. Mittalaitteena käytettiin escortjunior-dataloggeria, joka mittaa lämpötilaa ja suhteellista kosteuspitoisuutta. Mittalaitteen tarkkuus lämpötilamittauksessa on $\pm 0,4$ °C ja suhteellisen kosteuspitoisuuden mittauksessa $\pm 3\%$ (Escort). Tallennusväliksi valittiin yksi tunti. Mittari mittaa lämpötilan ja suhteellisen kosteuspitoisuuden useammin kuin kerran tunnissa ja laskee näistä tuloksista keskiarvon, jonka tallentaa muistiin (Escort). Sisätilaan sijoitettiin kaksi mittalaitetta siten, että toinen sijaitsi lattialla lähellä ulkoseinää ja toinen sijoitettiin n.1,5 m korkean kaapin päälle. Lattialla sijainnut anturi sijoitettiin n.20 cm:n etäisyydelle patterista ja väliseinästä. Kuvassa 31 on esitetty mitta-antureiden sijainnit sisätilassa.



Kuva 31. Toinen mittareista sijaitsi keittiössä kaapin päällä ja toinen mittari sijaitsi lattialla.

Suhteellisen kosteuspitoisuuden ja lämpötilan avulla saadaan laskettua absoluuttinen sisäkosteuspitoisuus kaavojen 5 ja 6 avulla, (Rakennusfysiikan kaavakokoelma 1). Absoluuttisen sisäkosteuspitoisuuden ja ulkokosteuspitoisuuden avulla saadaan laskettua kosteuslisä sisätilassa kappaleen 2.1.3 mukaisesti.

4.4.4 Maaperätutkimus

Korjaustyön aikana rakennuksen itäpuolen julkisivut kaivettiin auki sokkelin alapinnan tasolle asti, jotta salaojat saatiin asennettua oikeaan korkeuteen. Tällöin rakennuksen perustuksen alapuolelta B-talosta saatiin otettua maaperänäyte kapillaarisen nousukorkeuden määrittämistä varten. Näyte otettiin lapiolla ja se laitettiin muovilaatikkoon sekoittamatta maaperän raesuhteita. Näyte maaperästä otettiin 14.10.2010. Näytteenottopiste sijaitsi B-talon etelä-, eli

etupihanpuolella asunnon 6 kohdalla, näytteenottoaika näkyy ikkunan alla, kuva 32.



Kuva 32. Maaperänäyte valesokkelin alatasolta otettiin B-talosta. Näytteenotto kuoppa näkyy kuvassa ikkunan alapuolella.

Kapillaarista nousukorkeutta arvioitiin määrittämällä näytteen rakeisuuskäyrä. Rakeisuuskäyrän määrittämistä varten näytteelle suoritettiin kuivaseulonta. Näyte kuivattiin uunissa yön yli 105 °C, jotta näyte saatiin seulottua seulontaohjeen (GLO-85) mukaisesti. Näytteenoton aikoihin laboratorioita ei ollut käytettävissä, joten sen hetkistä kosteuspuolosuutta ei voitu määrittää. Laboratoriokokeet suoritettiin Oulun Yliopiston geologian laitoksen laboratoriossa Riitta Kontion avustuksella 18.2.2010. Laitteistona käytettiin Fritsch-merkkistä tärypöytää varsinaisen seulonnan suorittamiseen ja defender-merkkistä vaakaa punnitukseen, laitteisto on esitetty kuvassa 33.



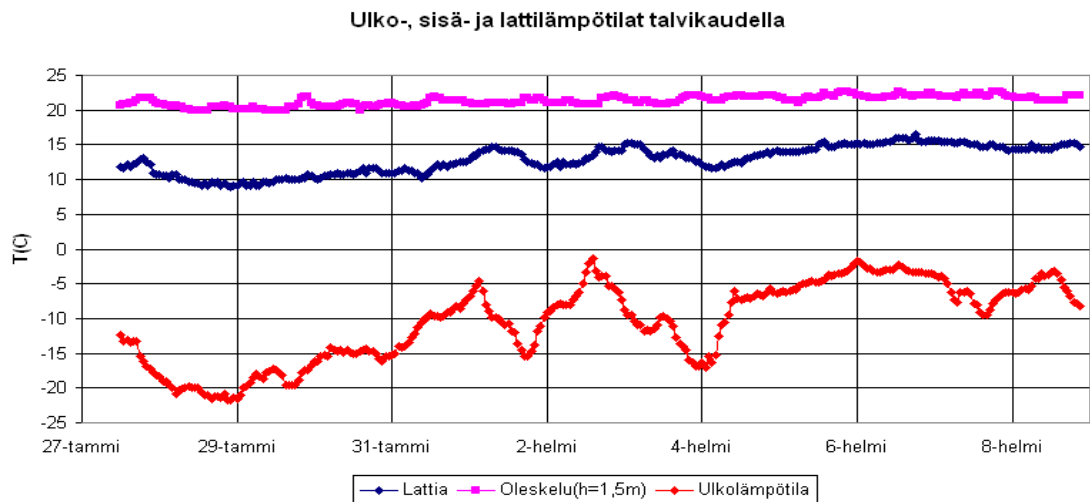
Kuva 33. Seulonta suoritettiin Oulun yliopiston geologianlaitoksen laboratoriossa. Apuna seulonnassa käytettiin Fritsch-tärypöytää ja elektronista vaakaa.

Sorakerros perustuksen alapuolella kattaa kapillaarikatkolle edellytetyt vaatimukset, jos maa ei ole kapillaarista ja kerroksen paksuus on yli 200 mm (RakMk C2).

4.5 Mittaustulokset

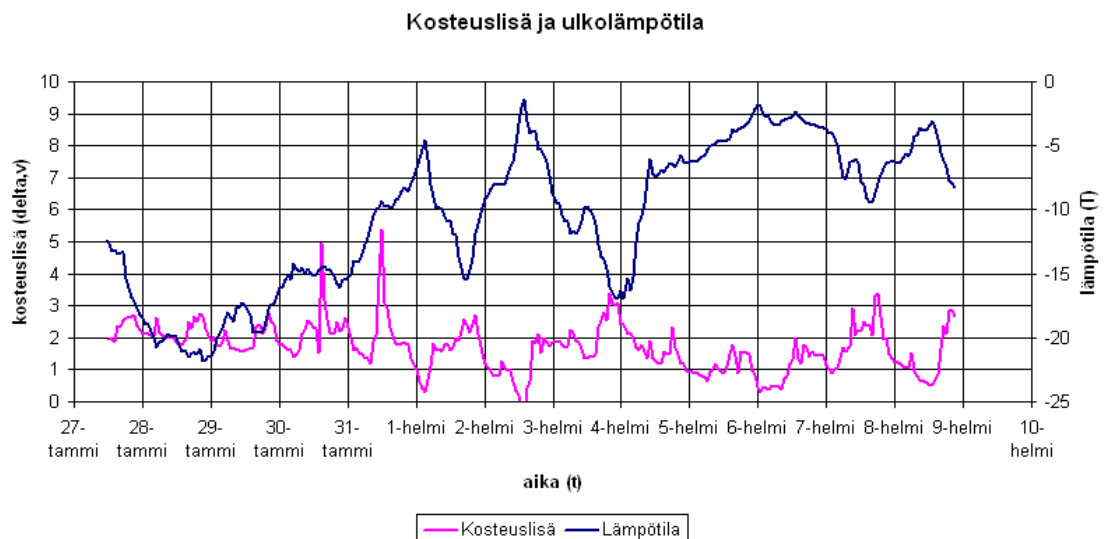
4.5.1 Sisäolosuhteiden mittaustulokset

Oleskeluvyöhykkeellä sisälämpötila pysyi 19,8 ja 22,1 °C välillä koko kahden viikon mittausjakson ajan. Lattiatason lämpötila vaihteli 8,9 ja 16,5 °C välillä. Ulkona oli mittausjaksolla melko kylmää, ulkolämpötila vaihteli -22,3 ja -0,8 °C välillä. Sisälämpötilamittauksen tulokset on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34. Tammikuun sisä- ja ulkolämpötilat.

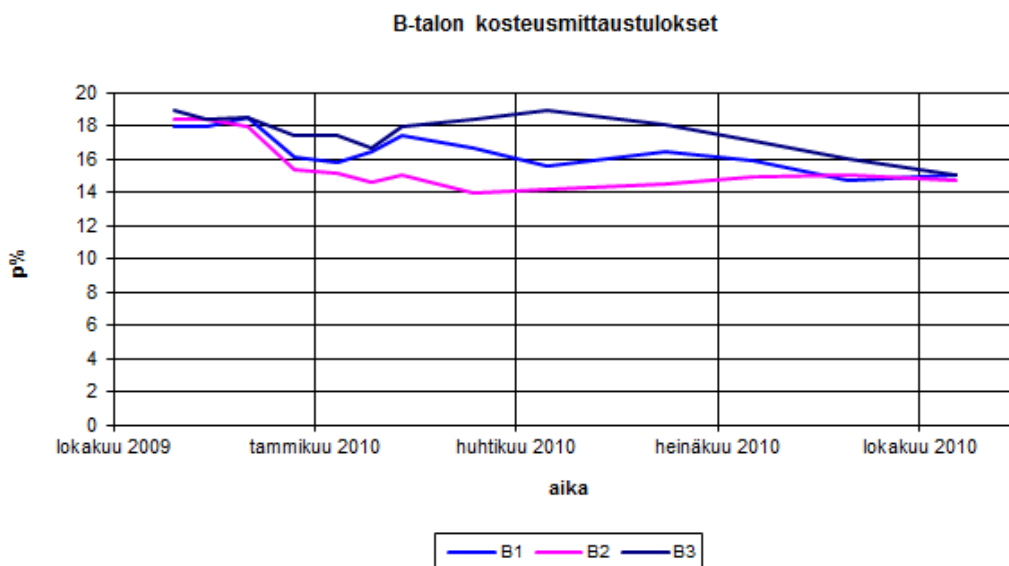
Kosteuslisä laskettiin kaavan (3) mukaisesti vähentämällä sisäkosteuspitoisuudesta ulkokosteuspitoisuus. Mittausjaksolla 27.1.10. - 8.2.10. kosteuslisä sisätilassa vaihteli 0 ja 5 g/m³ välillä, keskimäärin kosteuslisä oli mittausjaksolla 1,7 g/m³. Kosteuslisä ja ulkolämpötilamittauksen tulokset on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Tammikuun kosteuslisä ja ulkolämpötila.

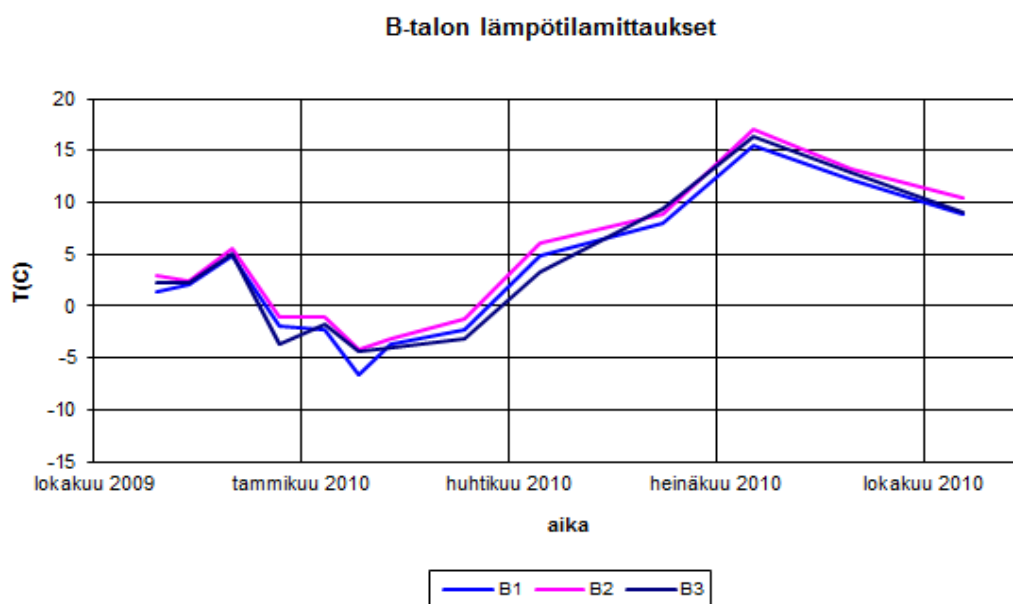
4.5.2 B-talon mittaustulokset

B-talon alajuoksun kosteuspitoisuus vaihteli lokakuussa mitatun 19 p-%:n ja 14 p-%:n välillä. Mittauspisteiden välillä oli n. 5 p-%:n vaihteluväli. B-talon mittaustulokset on esitetty kuvassa 36.



Kuva 36. B-talon kosteusmittaustulokset.

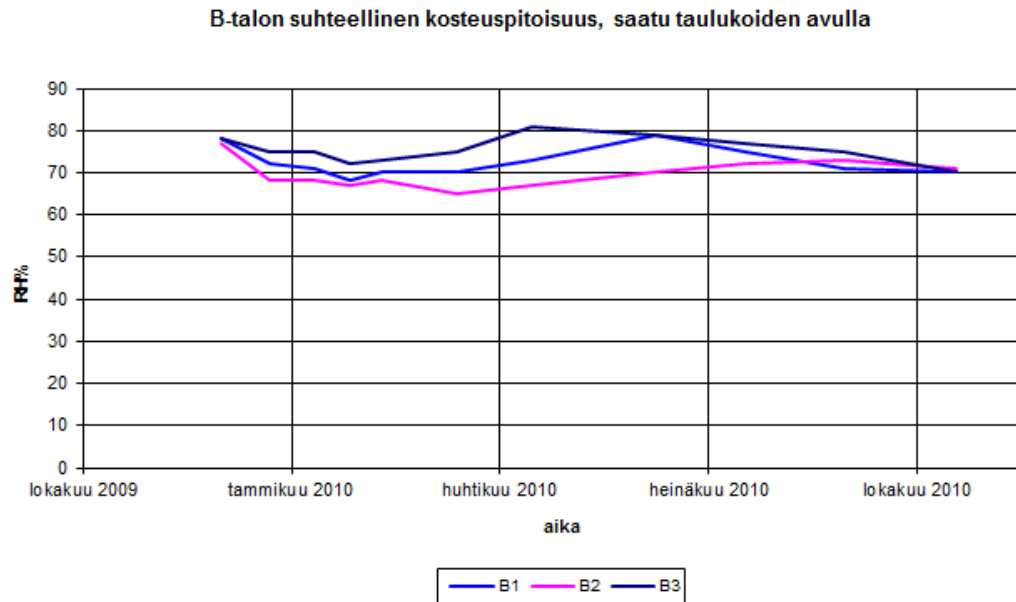
B-talon alajuoksun lämpötila vaihteli mittausjaksolla -7 ja +16 °C välillä. Lämpötila aleni joulukuusta helmikuun puoliväliin saakka. Tämän jälkeen lämpötila alkoi kohota. Kesällä mitattiin korkein mittaustulos +16 °C. Mittauspisteiden välillä oli n. 3 °C vaihteluväli. B-talon lämpötilamittaustulokset löytyvät kuvasta 37.



Kuva 37. B-talon lämpömittaustulokset.

Suhteelliset kosteuspitoisuudet luettiin RIL 120-1991:stä löytyvän taulukon avulla, taulukko on esitetty liitteessä 2. Mittaustulosten ja RIL'in taulukon avulla saadut suhteelliset kosteuspitoisuudet on esitetty kuvassa 38. Suhteelliset kos-

teuspitoisuudet vaihtelivat mittausjaksolla 65 %:n ja 81 %:n välillä. Korkeimmat suhteelliset kosteuspitoisuudet saatiin lokakuun lopussa mittausten alkuvaiheessa, matalimmat suhteelliset kosteuspitoisuudet saatiin mittausjakson lopussa helmikuun puolessa välissä. Mittauspisteiden välillä oli n. 15 %-yksikön vaihteluväli.



Kuva 38. B-talon alajuoksun suhteelliset kosteuspitoisuudet

4.5.3 G-talon alajuoksun tulokset

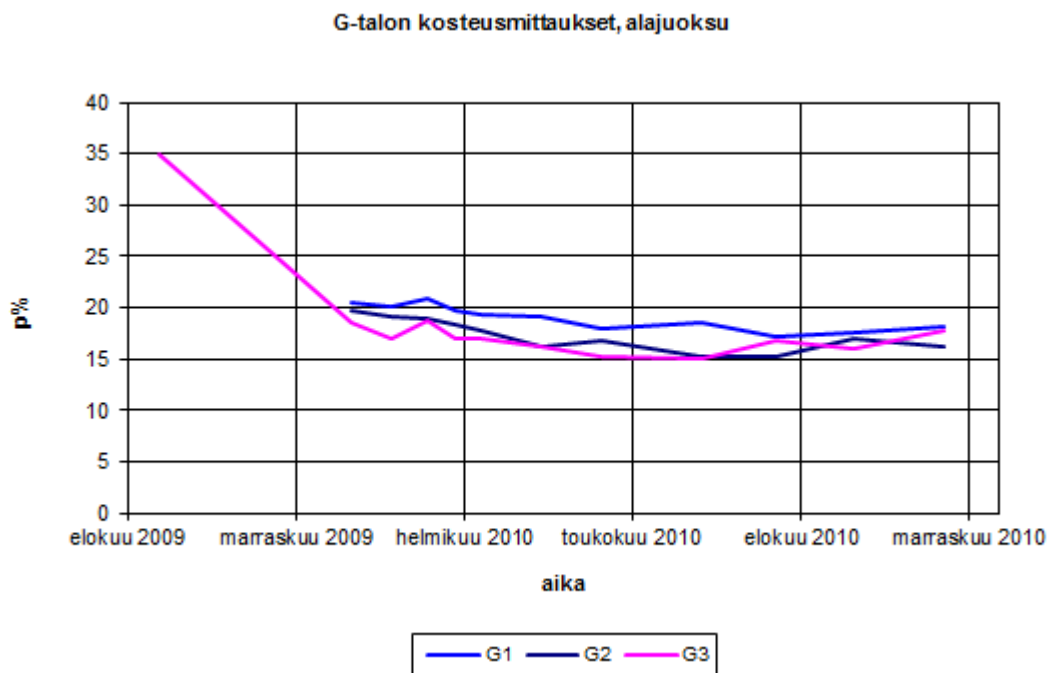
G-talosta mitattiin kosteuspitoisuuksia rakentajan toimesta elokuussa remontin yhteydessä. Tällöin mitattiin kosteuspitoisuus G-talon alajuoksusta yhteensä viidestä pisteestä. Kaikista pisteistä mitattiin korkeita kosteuspitoisuuksia, kolmesta pisteestä tulokseksi saatiin >35 p-%:n kosteuspitoisuus, yhdestä saatiin 35 p-%:n kosteuspitoisuus, ja yhdestä 20 p-%:n kosteuspitoisuus. Tämän mittauksen tulokset on esitetty taulukossa 3 ja liitteessä 6. Näistä mittauspisteen C tulos on lisätty varsinaisen tutkimuksen aikana suoritettujen mittaustuloksiin kuvaan 39, koska kyseinen mittauspiste oli molemmissa mittauksissa sama.

Taulukko 3. Martinkaupin suorittamien mittausten mittaustulokset.

Seinäeriste			Puu alajuoksu pystytolppa			
Mitta piste	Suht. kost. (%)	Lämpötila (°C)	Mitta piste	(p-%)	Mitta piste	
A	56	21	A	>35	A	35
B	57	23	B	20	B	17
C	64	21	C	>35	C	25
D	65	20	D	35	D	19
5			E	>35		

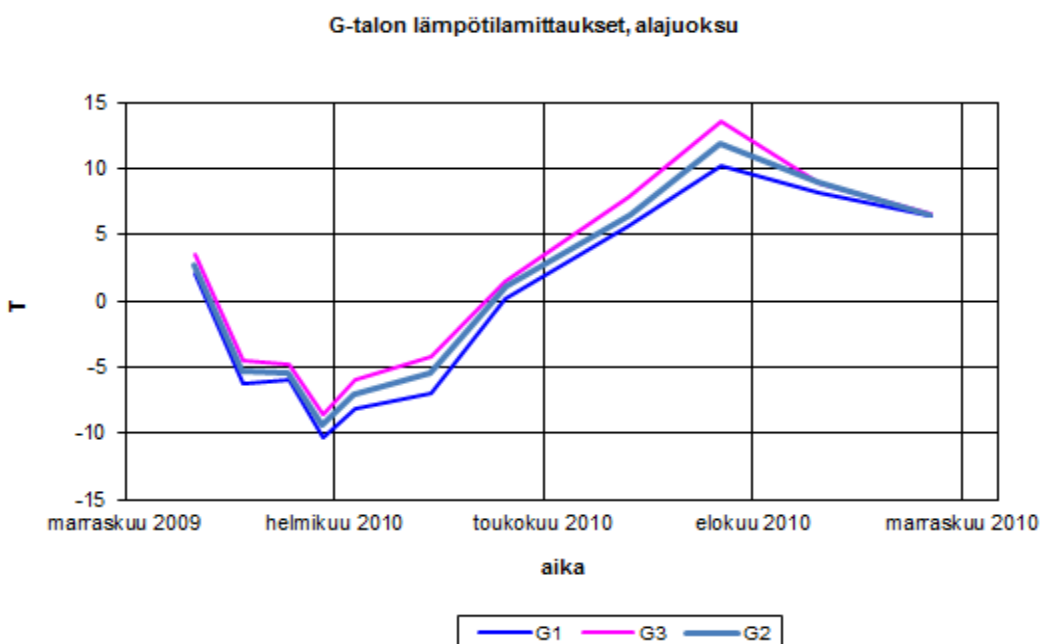
G- talon alajuoksun kosteuspitoisuus vaihteli elokuussa mitatun 35 p-%:n ja helmikuussa mitatun 15 p-%:n välillä. Mittauspisteiden välillä oli n. 3 p-%:n vaih-

teluväli. Joulukuun ja tammikuun välillä mitattu kosteuspitoisuus nousi hieman n. 1 p-%:n verran. G-talon kosteusmittauksen tulokset on esitetty kuvassa 39.



Kuva 39. G-talon mittaustulokset, tuloksiin on lisätty elokuulla mitattu kosteuspitoisuus mittauspisteestä G3.

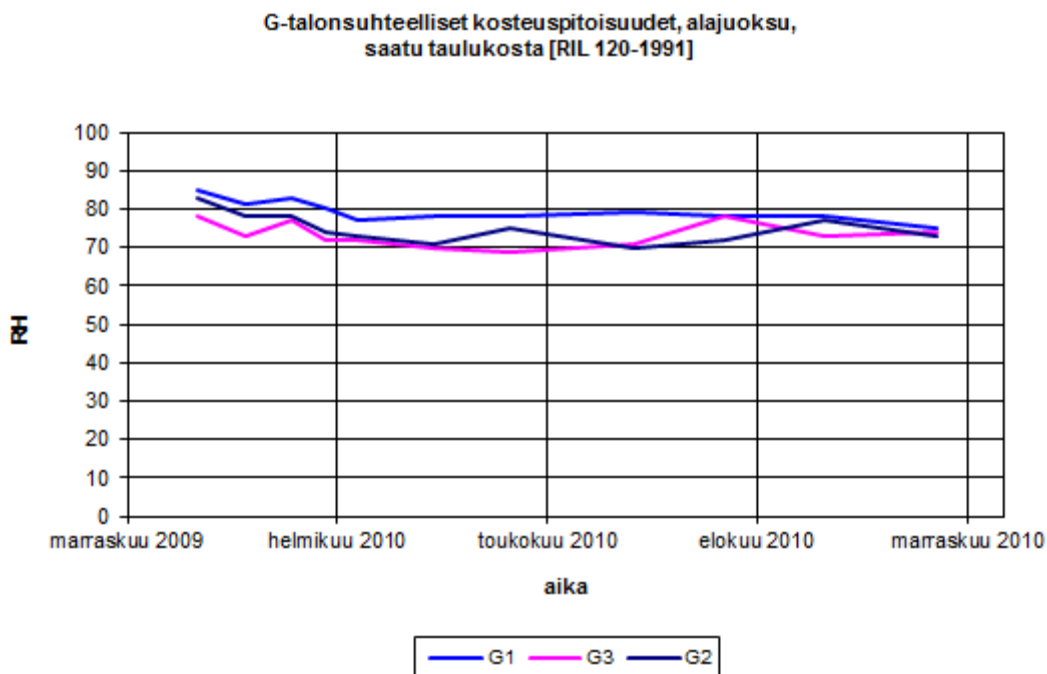
G-talon alajuoksun lämpötila vaihteli -10 ja +14 asteen välillä. Lämpimintä oli heinäkuussa ja kylmintä tammikuun lopussa. Mittauspisteiden välillä oli n. 3 °C vaihteluväli. G-talon alajuoksun lämpötilamittaustulokset on esitetty kuvassa 40.



Kuva 40. Mitatut lämpötilat alajuoksussa G-talossa

Suhteelliset kosteuspitoisuudet luettiin kuten edellä kappaleessa 4.1.1. Mittaustulosten ja RIL:n taulukon avulla saadut suhteelliset kosteuspitoisuudet on esi-

tetty kuvassa 28. Suhteelliset kosteuspitoisuudet vaihtelivat mittausjaksolla 72-86 %. Korkeimmat suhteelliset kosteuspitoisuudet havaittiin lokakuun lopussa mittausten alkuvaiheessa. Vuoden vaihteen jälkeen suhteellinen kosteuspitoisuus on ollut alle 80 %:n. G-talon alajuoksun suhteelliset kosteuspitoisuudet on esitetty kuvassa 41.

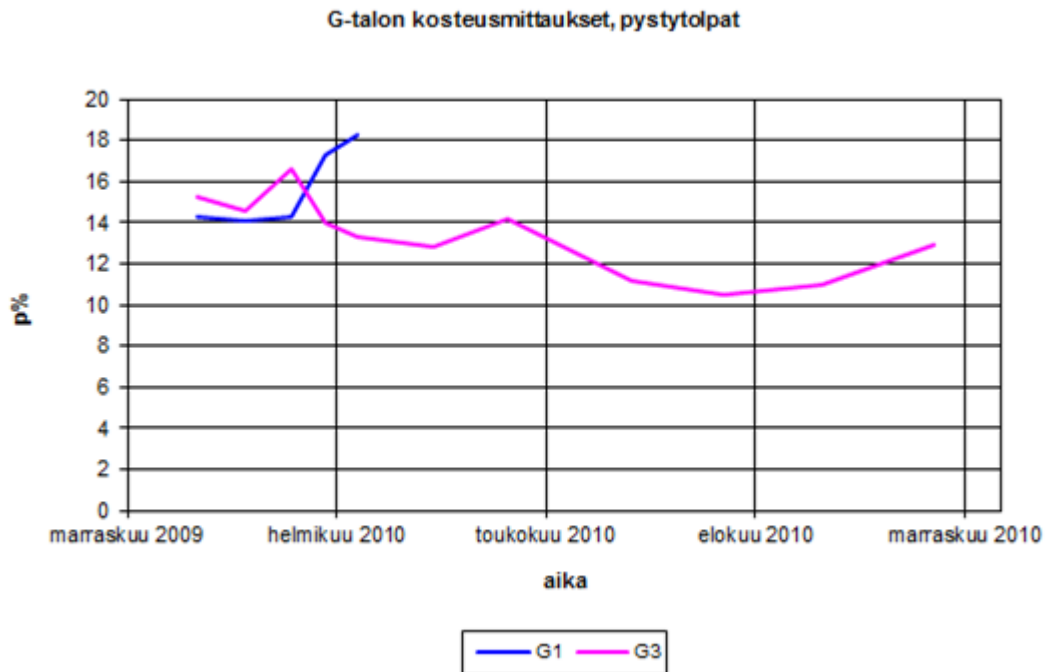


Kuva 41. G-talon alajuoksun suhteelliset kosteuspitoisuudet.

4.5.4 G-talon pystytolpan mittaustulokset

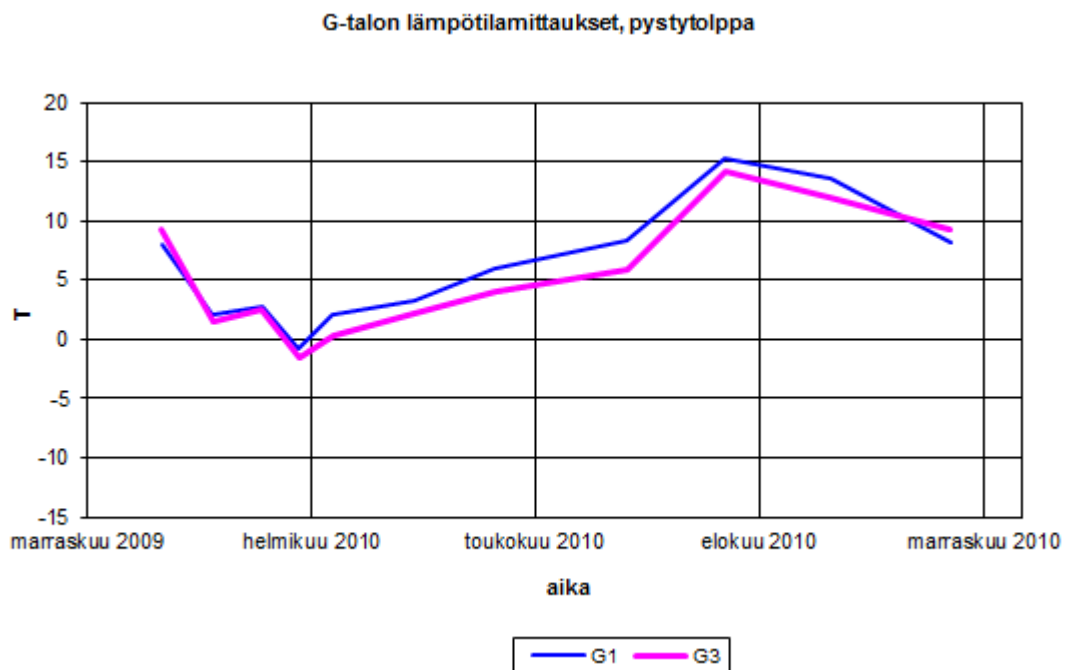
G- talon pystytolppien kosteuspitoisuus vaihteli 11 p-%:n ja 18 p-%:n välillä. Joulukuun ja tammikuun välillä mitattu kosteuspitoisuus nousi mittauspisteessä G1 n. 4 p-%:n verran. Mittauspisteiden välillä oli n. 5 p-% vaihteluväli. Mittaanturi G1 lopetti toimintansa maaliskuussa 2010, koska johdinkaapeli irtosi

mitta-anturista. G-talon pystytolppien kosteuspitoisuusmittausten tulokset on esitetty kuvassa 42.



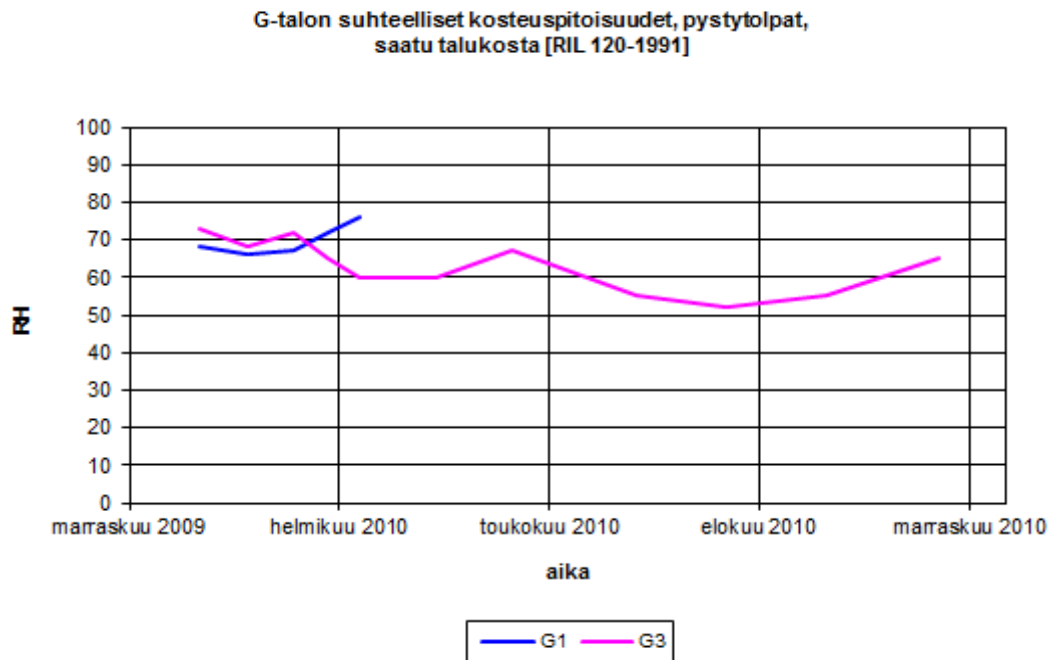
Kuva 42. G-talon pystytolppien kosteusmittaustulokset.

G-talon pystytolpan lämpötila vaihteli -2 ja +15 asteen välillä. Lämpimintä oli mittausjakson alussa ja kylmintä tammikuun lopussa. G-talon pystytolppien lämpötilamittaustulokset on esitetty kuvassa 43.



Kuvaaja 43. Mitattu lämpötila G-talon pystytolpassa.

Suhteelliset kosteuspitoisuudet luettiin, kuten kappaleessa 4.1.1 on esitetty. Mittaustulosten ja RIL:in taulukon avulla saadut suhteelliset kosteuspitoisuudet on esitetty kuvassa 44. Suhteelliset kosteuspitoisuudet ovat vaihdelleet mittausjaksolla 53:n ja 76:n prosentin välillä. Korkeimmat suhteelliset kosteuspitoisuudet havaittiin lokakuun lopussa mittausten alkuvaiheessa, matalimmat suhteelliset kosteuspitoisuudet havaittiin heinäkuussa 2010.



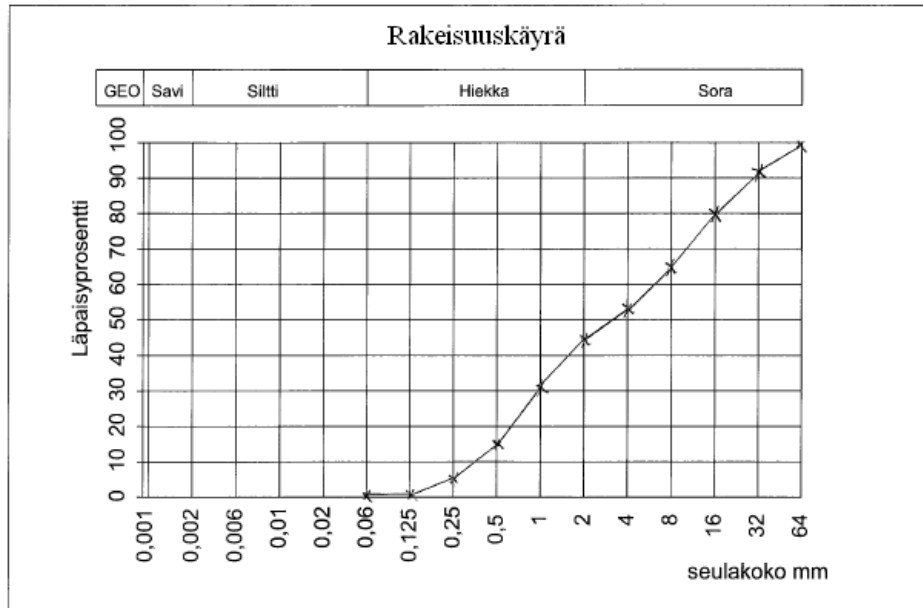
Kuvaaja 44. G-talon pystytolpan suhteelliset kosteuspitoisuudet.

4.5.5 Maaperätutkimuksen tulokset

Kuivaseulotun maaperänäytteen rakeisuuskäyrän mukaan maaperä valesokkelin alapuolella on geotekniseltä luokitukseltaan hiekaista soraa, rakeisuuskäyrä on esitetty kuvassa 45. Maaperänäytteen painoprosenttia 10 vastaava raekoko on 0,25 mm.

Sokkelin alapuolisen sorakerroksen paksuus oli 25-30 cm. Mittaus suoritettiin kolmesta eripisteestä B-talon ympäriltä. Lisäksi kaivinkonekuljettajalta kysyttiin

arviota savikerroksen sijainnista. Hän totesi, että savi sijaitti koko taloyhtiön alueella n. 25-30 cm syvyydellä sokkelin alapuolella.



Kuva 45. 14.10.09 otetun maaperänäytteen rakeisuuskäyrä

4.6 Mittaustulosten tarkastelu

4.6.1 Yleistä

Tutkimuksen mittaustuloksia voidaan verrata Kauko Tullan tekemiin mittaustuloksiin (Tulla 1991, s.18-34). Tullan tutkimuksessa mitattiin uusien vastavalmistuneiden pientalojen alajuoksun kosteuspitoisuuksia ja lämpötiloja usean vuoden kestäväillä seurantamittauksilla 1980-luvulla. Tullan tutkimuksen pientalojen sokkelirakenteet olivat samantyyppisiä kuin tämän tutkimuksen sokkelirakenne. Tullan tekemien havaintojen mukaan alajuoksun tasapainokosteuspitoisuus vaihteli 6-18 p-%:n välillä. Suhteellisena kosteuspitoisuutena vaihteluväli on 30-80%. Tästä vuodenaikojen mukana tapahtuvan vaihtelun osuus oli n. 2-3 p-%, jäljelle jäävä vaihtelu selittyy rakennuspaikan ja rakennustavan mukaan. Tähän tutkimukseen liittyvät mittaukset ovat samantapaisia Tullan tekemien mittausten kanssa. Suurimpana erona on tämän tutkimuksen lyhyempi mittaussakson pituus, tässä tutkimuksessa mittaukset kestivät B-talossa 12 kuukautta ja G-talossa 13 kuukautta, kun taas Tullan mittaussakson pituus oli viisi vuotta.

4.6.2 Sisämittaustulosten tarkastelu

Kaapin päällä n. 1,5m:n korkeudessa sijainnut mittari oli mittaussakson ajan $19,9^{\circ}\text{C}$ ja $22,2^{\circ}\text{C}$ välillä, keskiarvo mittaussaksolla oli $21,1^{\circ}\text{C}$. Lämpötila vastaa hyvin nykyisin käytettyä mitoitusarvoa, joka on 21°C (Ympäristöministeriön moniste 122, s.8).

Lattialla sijainneen mittarin lämpötila vaihteli 8,9 ja 16,5 °C välillä, lattialla oli siis hyvin kylmää. Lattiatason lämpötilan vaihtelu on mittausjaksolla seurannut ulkoilman lämpötilan vaihtelua. Lattian pintalämpötilan tulisi olla yli 18 °C, jotta lattian lämpötila täyttää välttävän tason (Asumisterveysohje 2003, s.13). Kylmä lattialämpötila antaa viitteitä siitä, että seinän ja lattian butyyliitiivistyskittauksessa on puutteita, eli ilmavuotoreittejä.

4.6.3 B-talon mittaustulosten tarkastelu

Mittaustulosten mukaan näyttää siltä, että B-talon tasapainokosteuspitoisuus olisi noin 15-18 p-%:a, joka vastaa 65-80 %:a suhteellisena kosteuspitoisuutena. Olennaista tuloksissa on se, että rakenne on kuivunut lokakuussa mitatuista lukemista ja suhteellinen kosteuspitoisuus on alle kriittisen 80 % rajan. Edellytykset homeen kasvulle ovat alle 80 %:n kosteuspitoisuuksissa olemattomat, joten näyttää siltä, että suoritetut korjaustoimenpiteet ovat olleet riittäviä rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta.

4.6.4 G-talon alajuoksun mittaustulosten tarkastelu

Rauno Martinkauppi Munsters Oy:stä mittasi G-talon alajuoksusta elokuussa jopa yli 35 p-% kosteuspitoisuuksia alaohjauspuun kohdalta. Vastusmittauksella pystytään luotettavasti mittaamaan kosteuspitoisuuksia n. 30 p-%:iin asti, joten tuloksista nähdään, että alaohjauspuu oli mittaushetkellä elokuussa märkää. Mittauksien edistyessä kosteuspitoisuudet alenivat 16-20 p-% välille, joka vastaa 70-80 % suhteellisena kosteuspitoisuutena. Kuivuminen on ollut nopeampaa, kuin Tullan tekemässä tutkimuksessa. Tullan tekemässä tutkimuksessa (Tulla 1991. s.30) eräässä koekohteessa tapahtui vesivahinko, jonka kuivuminen kesti yli vuoden. G-talossa kuivuminen 35 p-% alle 20 p-%:iin on tapahtunut noin kolmessa - neljässä kuukaudessa. Syitä nopeampaan kuivumiseen voivat olla erilaiset lämpövuodot tai ilmatiiviysongelmat. Asukashaastattelussa ilmeni, että sisäalanurkassa on kovalla pakkasella ollut vetoa. Ilmavirta kulkee alaohjauspuun ohi kuivattaen sitä. Tällaisessa tapauksessa harvasta ilmaa hyvin läpäisevästä rakenteesta on etua kuivumisen nopeuttajana. Mahdollisten rakenteessa olevien homeitiöiden kulkeutumisen kannalta rakenne tulisi kuitenkin olla niin tiivis, jotta mikrobit eivät pääsisi sisätilaan.

4.6.5 G-talon pystytolpan mittaustulosten tarkastelu

G-talon pystytolppien mittaustulokset ovat olleet mittausjaksolla 50-70 %:n luokkaa suhteellisena kosteuspitoisuutena ilmaistuna. Alajuoksua alempi kosteuspitoisuus on seurausta mitta-antureiden edullisemmasta sijainnista. Pystytolppien mittarit sijaitsivat valesokkelin yläreunan tasolla, joten kosteus pääsee kulkeutumaan mittareiden sijaintikohdalta helpommin pois. Irrallisen anturiparin käyttö pystytolpan mittauksessa aiheuttaa hieman epävarmuutta mittaustulokseen.

4.6.6 Maaperätutkimustulosten tarkastelu

Kirjallisuudesta löytyy arvioita kapillaariselle nousukorkeudelle eri maalajeille, esim. lähteestä (Leivo, V. Rantala, J. 2000). Leivo ja Rantala esittävät, että karkealle hiekalle kapillaarinen nousukorkeus on 0,04-0,15 m. Seulottu maanäyte oli hiekkaista soraa, ja sen paksuus oli 25-30 cm. Näin ollen voidaan sanoa, että sorakerros sokkelirakenteen alapuolella täyttää kapillaarikatkolle esitetyt vaatimukset. Sorakerros on hyvin vettä läpäisevää ja pintamaat on muotoiltu oikein, joten voidaan olettaa että vesi ei kulkeudu kapillaarisesti alaohjauspuuhun.

5 VALESOKKELIRAKENTEEN LASKENNALLINEN MALLINNUS

5.1 Yleistä

Laskentamallilla haluttiin tutkia valesokkelirakenteen teoreettista toimintaa tehtyjen korjaustoimenpiteiden jälkeen. Eri malleilla, joissa muutetaan jotain rakenteen ominaisuutta, saadaan tietoa, että mitkä rakenteen osat ovat merkittäviä rakenteen toiminnan kannalta. Laskentamallien avulla voidaan tutkia, että mitkä korjaustoimenpiteet merkittävästi parantavat rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa.

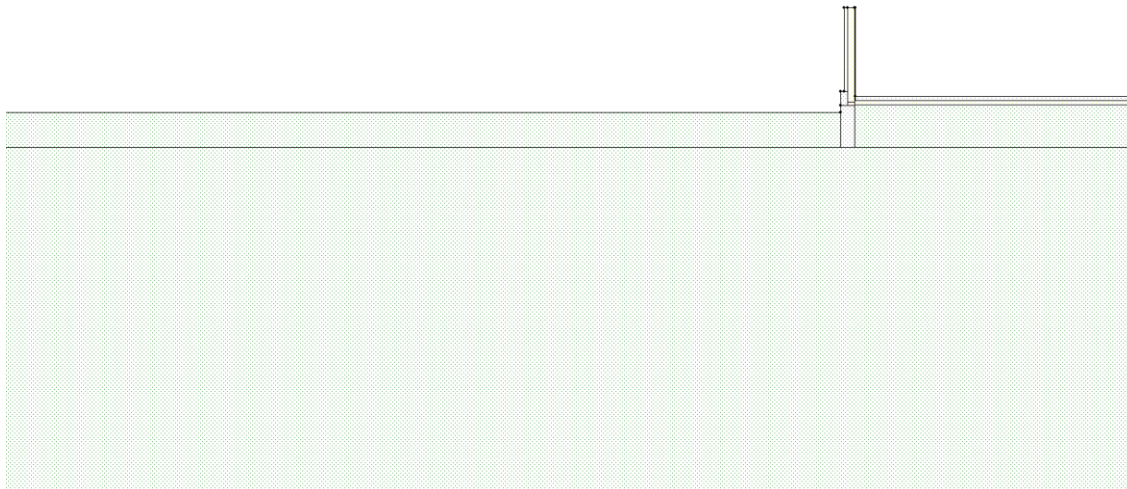
5.2 Laskentamallin luonti

5.2.1 Laskennan perusteet

Laskennassa on käytetty WUFI3-2D ohjelmaa (Wärme-Und Feuchtetransport Instationär). WUFI 3-2D on 2-dimensioinen laskentaohjelma, jolla voidaan mallintaa rakenneleikkauksen lämmön- ja kosteudensiirtoa. Lähtötietoina ohjelmaan syötetään rakenneleikkauksen mitat, materiaalipaksuudet, materiaaliominaisuudet, ulko- ja sisäilmastotiedot ja alkuolosuhteet. Lähtötiedot on kuvattu tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Reunaehtojen lisäksi rakenteen fyysiset mitat valitaan siten, että valittu reunaehto toteutuu riittävällä tarkkuudella. Sisäpintojen reunaehtona käytetään sisäilmastodataa, joka on esitetty kappaleessa 4.1.4. Ulko-olosuhteina käytetään Luulajan säätietoja, koska ne ovat ohjelmassa saatavilla ja vastaavat Oulun säätietoja riittävällä tarkkuudella. Ulko-olosuhteet on esitetty kappaleessa 4.1.3. Seinärakennetta on mallissa otettu mukaan yksi metri. Maapatsaan alapinta on ulotettu riittävälle syvyydelle, jossa lämpötila on vuoden keskilämpötilan suuruinen. Maan alareuna sijaitsee 20 m syvyydellä ja lämpötila on vakio $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$, joka vastaa Oulun vuotuista keskilämpötilaa. Seinäleikkauksen yläreuna ja maan pystyreunat ovat adiabaattisia reunoja. Alapohjarakennetta on malliin otettu mukaan 4m. Maata rakenteen ulkopuolelta malliin on otettu mukaan 20 metriä. Mallia rajoittavat mitat on kokonaisuudessaan saatu lähteestä Viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaopas, Ympäristöministeriö. Mallinnettu poikkileikkaus on

esitetty kuvassa 46. Riittävän suuri alue tarkasteltavan kohteen ympärillä mahdollistaa adiabaattisten reunaehtojen käytön.



Kuva 46. WUFI-ohjelmassa käytetty rakenneleikkaus.

Mallinnettava rakenne rajataan käyttämällä reunoilla sopivasti valittuja reunaehtoja.

WUFI3-2D on numeeriseen laskentaan perustuva mallinnusohjelma. Ohjelma tekee rakenteesta elementtiverkon. Eri materiaalien rajapinnoilla elementtiverkko on järkevää valita tiheämmäksi. Materiaalien keskivaiheilla verkko voi olla harvempi, näin laskenta nopeutuu, mutta laskentatarkkuus ei kärsi.

Ensimmäisen aika-askeleen lämpötila ja kosteuspitoisuus saadaan lähtötiedoista. Rakenteen alapuolisen maan lämpötilaksi asetettiin $+7^{\circ}\text{C}$ ja suhteelliseksi kosteuspitoisuudeksi $\text{RH}=100\%$. Muille materiaaleille alkutilanne oli kaikille sama $T=+20^{\circ}\text{C}$ ja $\text{RH}=80\%$. Seuraavalla aika-askeleella päivitetään lämmön- ja kosteudensiirron kertoimet ja lasketaan niiden avulla uudet lämpötila- ja kosteuskentät. Laskentatulokset määritetään iteroimalla ja niiden tulisi lähestyä suppenevaa ratkaisua. Jos laskenta ei suppene ohjelma valitsee uudet kertoimet, kunnes saadaan suppeneva tulos. Ohjelma jatkaa laskentakierroksia, kunnes kaikki aika-askeleet on laskettu. Laskenta kierroksien pituus vaihteli tutkimuksessa, koska eri laskentatapauksissa käytettiin erilaskentajaksoja. Laskentajaksojen pituus vaihteli 3:n ja 5:n vuoden välillä. Tuloksiin on tapauksesta riippuen otettu mukaan joko viimeinen laskenta vuosi tai koko laskentajakso.

5.2.2 Laskenta yhtälöt

WUFI:ssa epästationääristä lämmön siirtymistä kuvataan differentiaaliyhtälöllä (10).

$$\frac{\delta H}{\delta \theta} \frac{\delta \theta}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(\lambda \frac{\delta \theta}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\lambda \frac{\delta \theta}{\delta y} \right) + h_g \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\sigma \delta p}{\mu \delta x} \right) + h_g \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{\sigma \delta p}{\mu \delta y} \right) \quad (10)$$

sekä kosteuden siirtymistä differentiaaliyhtälöllä (11).

$$\rho_w \frac{\delta u}{\delta \varphi} \frac{\delta \varphi}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(\rho_w D_w \frac{\delta u}{\delta \varphi} \frac{\delta \varphi}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\rho_w D_w \frac{\delta u}{\delta \varphi} \frac{\delta \varphi}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\sigma \delta p}{\mu \delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{\sigma \delta p}{\mu \delta y} \right) \quad (11)$$

joissa

D_w = kosteusdiffusiviteetti ($\frac{m^2}{s}$)

H = kostean rakennusmateriaalin entalpia ($\frac{J}{m^3}$)

h_v = veden höyrystymislämpö (J/kg)

p = vesihöyryn osapaine (Pa)

u = vesipitoisuus ($\frac{m^3}{m^3}$)

δ = vesihöyrynläpäisevyys ($\frac{kg}{msPa}$)

θ = lämpötila [°C]

λ = kostean materiaalin lämmönjohtavuus ($\frac{W}{mK}$)

μ = kuivan materiaalin vesihöyrynvastus [-]

ρ_w = veden tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

ϕ = ilman suhteellinen kosteuspitoisuus [-]

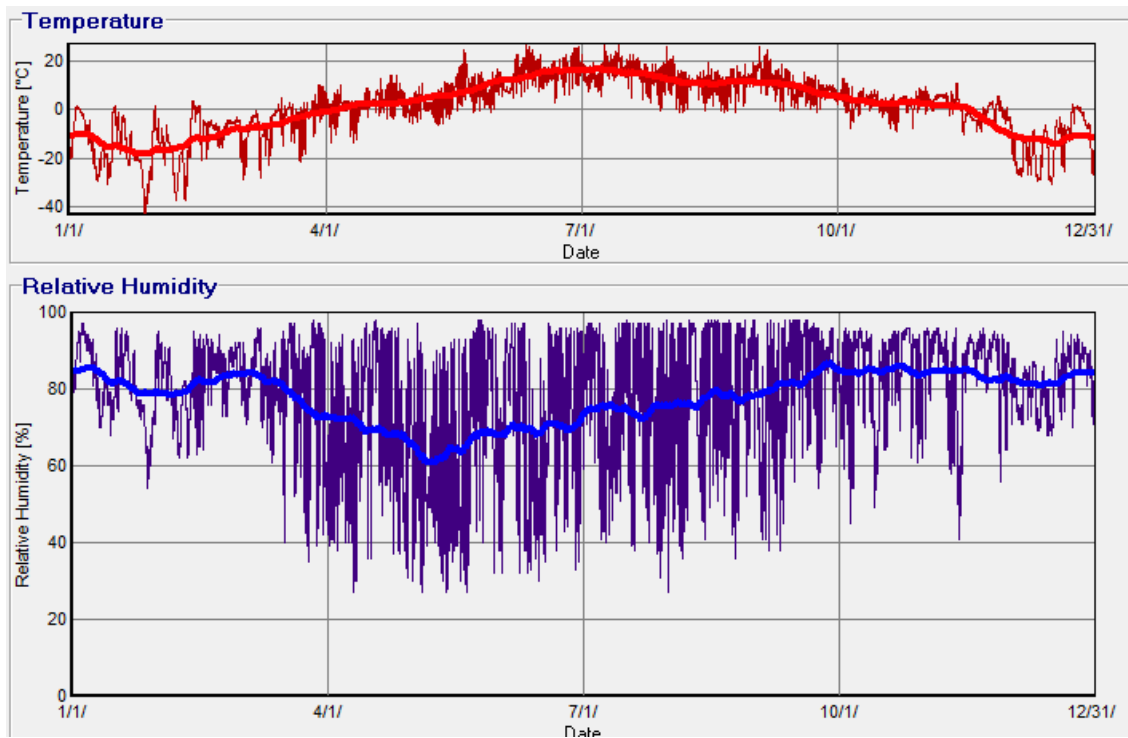
σ = Stefan-Boltzmannin vakio ($5,6704 * 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$)

Lähteen (Künzel, M., 1995, s.39) mukaan yhtälöt (10) ja (11) saadaan ratkaisuun, kun muuttujia on kaksi. Nämä muuttujat ovat lämpötila ja suhteellinen kosteuspitoisuus.

5.2.3 Ulko-olosuhteet

Wufin tietokannasta löytyy kattava kokoelma Euroopan eri kaupunkien säätietoja tunneittain useiden vuosien ajalta. Oulun säätietoja WUFI 3-2D:n tietokannasta ei löytynyt, joten päädyttiin käyttämään Luulajan säätietoja. Luulajan säätilat vastaavat Oulun säätiloja melko hyvin. Luulajan vuoden keskilämpötila on 1,2 °C. Oulun vuoden keskilämpötila kenttämittaus vuonna oli 2,1 °C. Suhteellisen kosteuspitoisuuden vuosikeskiarvoja Luulajassa on 78 % ja Oulussa se on 81 %. Vuoden sadesumma Luulajassa on 519 mm/a ja Oulussa sadesumma on

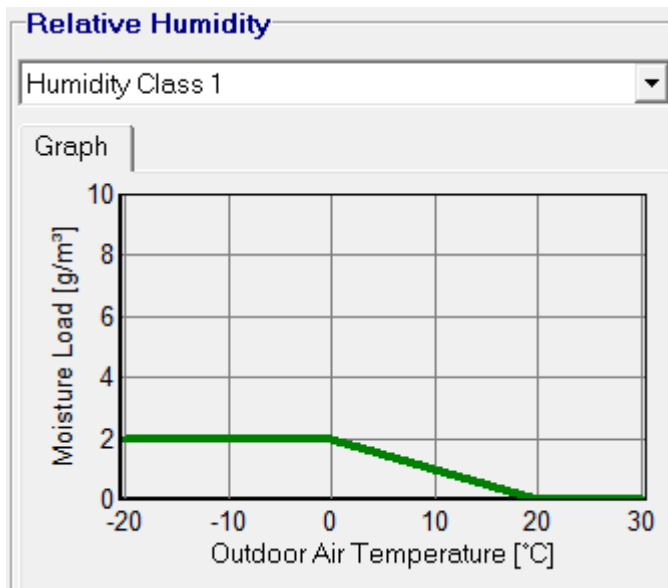
510 mm/a. Kuvassa 47 on esitetty laskennassa käytetyt ulko-olosuhdekuvaajat. Liitteissä (13, 14 ja 15) on esitetty Oulun ja Luulajan tarkemmat säätiedot.



Kuva 47. Ulko-olosuhde kuvaajat

5.2.4 Sisäolosuhteet

Sisälämpötilana käytettiin vakioarvoa $+21^{\circ}\text{C}$. Sisäilman kosteuspitoisuus laskettiin kappaleessa 3 esitetyn tavan kaltaisesti. Ulkoilman ollessa pakkasella kosteuslisä oli 2 g/m^3 ja kun ulkolämpötila kohosi $+20^{\circ}\text{C}$, niin kosteuslisä oli 0 g/m^3 . Edellä mainitulla välillä kosteuslisä väheni lineaarisesti kuvan 48 mukaisesti. Koska valittu kosteuslisä 2 g/m^3 , edustaa hyvin kappaleessa 4 esitettyä, mitattua sisäilman kosteuslisää, niin poikettiin RIL 107-2012 esittämästä kosteuslisästä, joka on rasitusluokan mukainen vakioarvo $1\text{--}4\text{ g/m}^3$.



Kuva 48. Kosteuslisä kuvaaja.

5.2.5 Auringon säteilyn vaikutus

WUFI 3-2D ottaa auringon säteilyn huomioon. Auringon säteilyn suuruuteen vaikuttavat pinnan suunta, ilman suunta, vuorokauden aika ja pinnan absorptiokerroin. Jos pintaan ei tule säteilyä, ohjelma olettaa, että on yö ja pinta jäähtyy. Ohjelma laskee säteilyn vaikutuksen kaavalla (12).

$$E_{net} = (\sigma T^4 - E_{counter}) * \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (12)$$

jossa

σ = Stefan-Bolzmännin vakio ($5,6704 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}^4}$)

T = lämpötila (K)

$E_{counter}$ = taivaan emittoima pitkäaaltoinen säteily ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$)

β = pinnan kaltevuuskulma [$^{\circ}$ tai rad]

5.2.6 Sade

WUFI3-2D ottaa rakenteeseen tulevan sateen huomioon. Vaakapinnoille sadetta tulee ulkoilmastodatan mukainen määrä. Viistosateen ohjelma ottaa huomioon kaavan (13) mukaan

$$R_{wdr} = 0,222 * U * R_h^{0,88} \quad (13)$$

jossa

R_{wdr} = viistosateen intensiteetti (mm/h)

U = tuulen nopeus kohtisuoraa pintaa vasten (m/s)

R_h = vaakapinnalle tulevan sateen intensiteetti (mm/h)

5.2.7 Laskennassa käytetyt materiaaliominaisuudet

Laskentaa varten WUFI3-2D ohjelmaan tulee syöttää tarvittavat materiaaliominaisuudet. Laskennassa käytetyt materiaaliominaisuudet ovat: tiheys, huokoisuus, ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus, vesihöyryn diffuusiovastuskerroin, nestemäisen veden kosteusdiffusiviteetti, kosteuden uudelleenjakautumisen diffusiviteetti ja kosteuskapasiteetti. Edellä luetelluista materiaaliominaisuuksista seuraavat ovat kosteuspitoisuusriippuvia: lämmönjohtavuus, kosteusdiffusiviteetit ja kosteuskapasiteetti. Edellä mainitut kosteusriippuvat ominaisuudet ovat myös lämpötilariippuvia, mutta lämpötilan vaikutus normaaleissa ilmastolosuhteissa jää melko pieneksi, eikä WUFI3-2D ota lämpötilan vaikutusta materiaaliominaisuuksiin huomioon.

Laskennassa käytetyt materiaalit ja niiden ominaisuudet on kokonaisuudessaan esitetty liitteissä [8]-[12].

5.3 Laskentatapaukset

Laskentatuloksia haluttiin erilaisista tapauksista, jotta alaohjauspuun kosteusteknistä käyttäytymistä voidaan arvioida kokonaisvaltaisesti. Bitumisivelyn vaikutusta haluttiin arvioida mallintamalla rakenne ilman bitumisivelyä ja bitumisivelyn kanssa. Bitumisivelystä mallinnettiin kaksi eri tapausta, toisessa bitumisively sijoitettiin vain alaohjauspuun alle ja toisessa myös valesokkelin sisäpystypintaan sijoitettiin bitumisively. Tällä haluttiin tutkia, että miten bitumisively vaikuttaa alajuoksun kosteuspitoisuuteen ja onko pystypinnan bitumointi haitallinen toimenpide. Bitumille laskentatarkastelut tehtiin vain pohjoisen puolen julkisivulle.

Rakennuksen eri sivuilla vallitsee erilaiset ilmasto-olosuhteet. Laskenta suoritettiin etelä- ja pohjoisjulkisivuilla. Pohjois- ja eteläjulkisivuilla laskettiin lämpö- ja kosteuskasat viistosaderasituksella ja ilman viistosaderasitusta. Tällä haluttiin tutkia räystäsrakenteiden merkitystä valesokkelirakenteen yhteydessä. Laskentatulokset, joissa viistosaderasitusta ei ole antavat tietoa myös imegroinnin vaikutuksesta. Eri materiaalien suhteelliseksi alkukosteuspitoisuuksiksi valittiin 80%. Kosteusvaurioituneen alajuoksun kuivumista seurattiin laskentamallilla, jossa alajuoksun suhteelliseksi alkukosteuspitoisuudeksi 97 %. samalla myös

muun valesokkelirakenteen suhteelliseksi alkukosteuspitoisuudeksi asetettiin 97%. Eri laskentatapaukset on esitetty taulukossa 4.

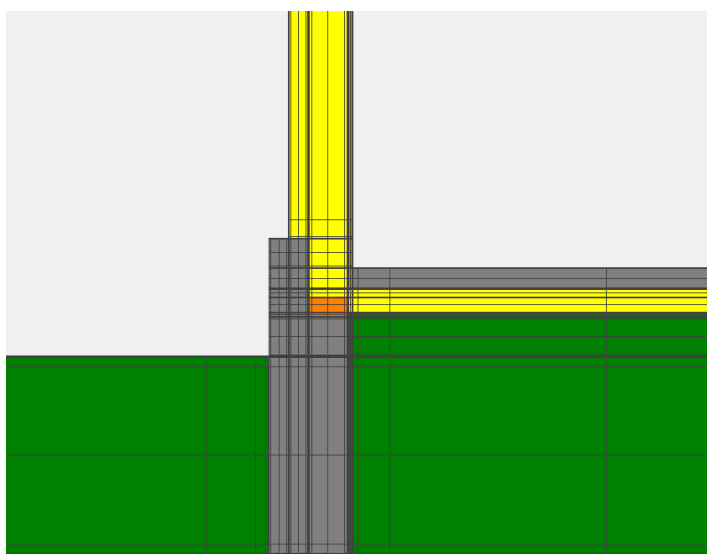
Taulukko 4. Laskennassa käytetyt laskentatapaukset.

NRO.	Ilmansuunta	viistosade	bitumisively	tarkastelu
1	etelä	kyllä	alla + sivulla	kosteuspitoisuus tarkastelu
2	etelä	ei	alla + sivulla	kosteuspitoisuus tarkastelu
3	pohjoinen	kyllä	alla + sivulla	kosteuspitoisuus tarkastelu
4	pohjoinen	kyllä	alla	kosteuspitoisuus tarkastelu
5	pohjoinen	kyllä	ei	kosteuspitoisuus tarkastelu
6	pohjoinen	ei	alla + sivulla	kosteuspitoisuus tarkastelu
7	pohjoinen	ei	alla	kosteuspitoisuus tarkastelu
8	pohjoinen	ei	ei	kosteuspitoisuus tarkastelu
9	etelä	kyllä	alla + sivulla	kuivumistarkastelu
10	pohjoinen	kyllä	alla + sivulla	kuivumistarkastelu

5.4 Laskentatulokset

5.4.1 Yleistä

Laskentajakso oli 1.10.2007-31.9.2010. Laskentajakson kaksi ensimmäistä vuotta laskettiin, jotta laskennassa käytettyjen alkuarvojen aiheuttama virhe ehti tasoittua. Wufi- ohjelmasta saa vapaasti valita, minkä laskentasolun lämpötilaa ja kosteuspitoisuutta haluaa tarkastella. Tässä tutkimuksessa mielenkiinto on kohdistunut seinärakenteen alajuoksuun, sen rakennusfysikaalisesti huonosta sijainnista johtuen. Kuvasta 49 nähdään rakenteen poikkileikkaus ja tarkasteluun valitut solut. Tuloksia saatiin keskiarvona alajuoksun koko poikkileikkauksen alalta ja keskeltä yläpintaa valittiin soluja tarkasteluun. Näiden solujen tuloksia voitiin verrata mittausanturin tuloksiin, samalla alajuoksun kosteuspitoisuuden vaihtelusta saatiin laskentatuloksia. Alajuoksu erottuu kuvassa 48 oranssilla värillä.



Kuva 49. Laskentatulokset on esitetty alajuoksun alueelta.

5.4.2 Laskentatulokset etelän puolella

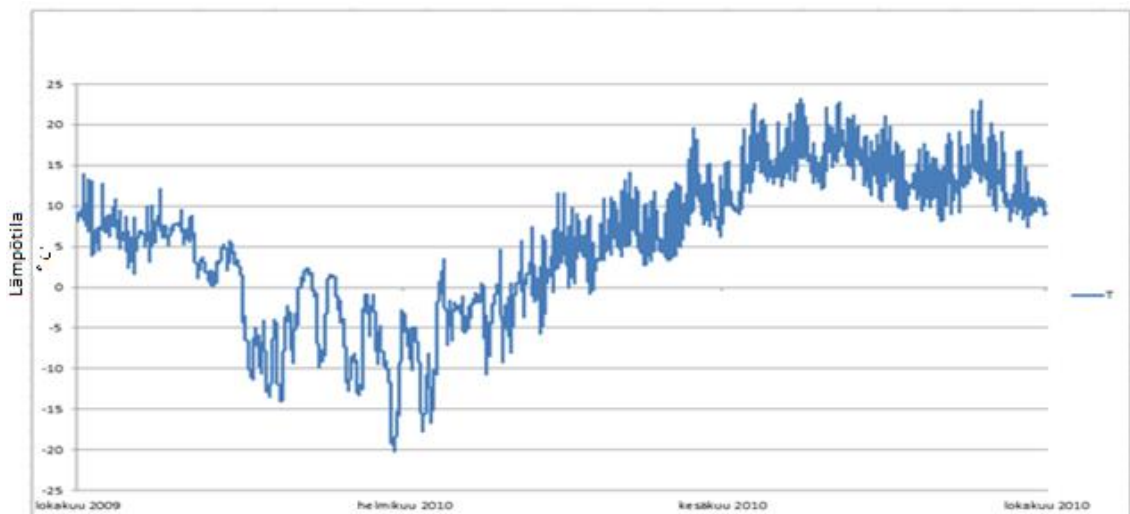
Viistosaderasitus

Laskentajakson aikana suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut 76 %: ja 81 %:n välillä. Talvikuukausina suhteellinen kosteuspitoisuus on ollut yli 80 %, huhtikuun jälkeen suhteellinen kosteuspitoisuus on laskenut ja kesäkuukausien aikana suhteellinen kosteuspitoisuus on ollut 76-77 %:a. Kuvassa 50 on esitetty kokolaskentajakson tulokset.



Kuva 50. Kuvaaja esittää alajuoksun suhteellisen kosteuspitoisuuden etelän puolella. Alajuoksun alla on bitumisively ja rakennetta kuormittaa viistosade rasitus.

Laskenta jakson 1.10.2009-1.10.2010 aikana lämpötila on vaihdellut $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Kylmintä on ollut helmikuussa ja lämpimintä heinä- ja elokuun vaihteessa. Kuvassa 51 on esitetty kokolaskentajakson tulokset.



Kuva 51. Kuvaaja esittää alajuoksun lämpötilan etelän puolella. Alajuoksun alla on bitumisively ja rakennetta kuormittaa viistosaderasitus.

Ei viistosaderasitusta

Laskentajakson aikana suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut 76 % ja 81 %:n välillä. Kesäkuukausien aikana suhteellinen kosteuspitoisuus on ollut 76-77 %:a. Kuvassa 52 on esitetty kokolaskentajakson tulokset.

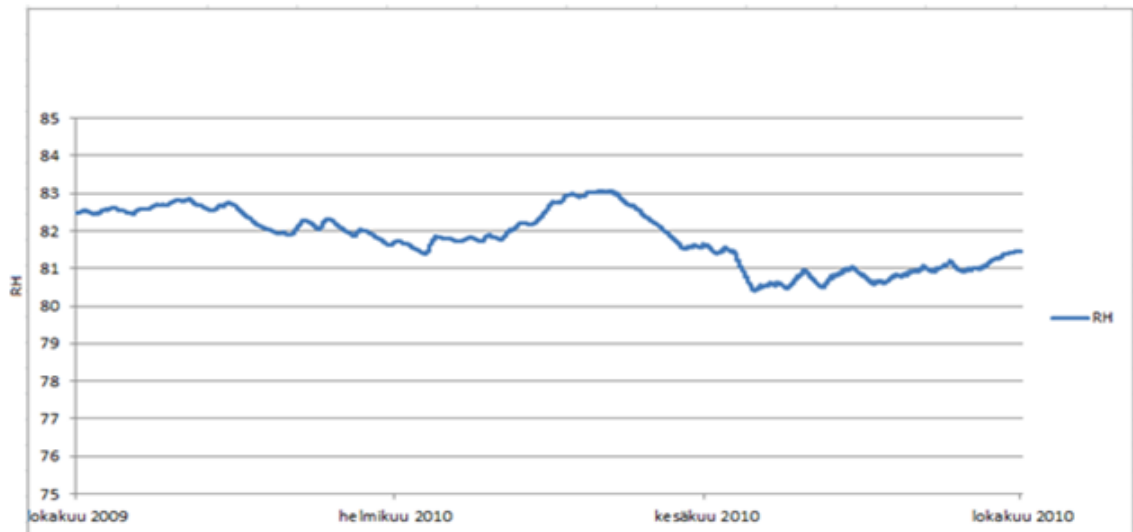


Kuva 52. Kuvaaja esittää alajuoksun suhteellisen kosteuspitoisuuden etelän puolella. Alajuoksun alla on bitumisively ja rakennetta kuormittaa viistosade rasisus.

5.4.3 Pohjoisen puolen laskentatulokset

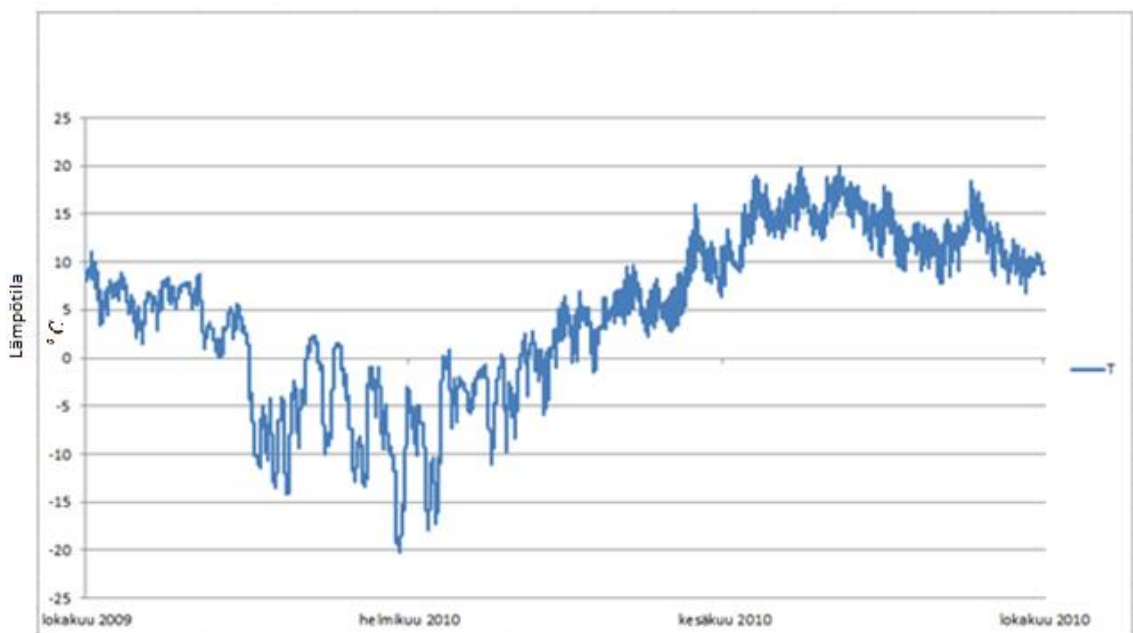
Viistosaderasitus, bitumisively alajuoksun alla ja sivulla

Alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut tarkastelu vuoden aikana 80 %:n ja 83 %:n välillä. Kesällä suhteellinen kosteuspitoisuus on ollut noin 81 %:a. Kuvassa 53 on esitetty koko laskentajakson tulokset.



Kuva 53. Alajuoksun yläpinnan kosteuspitoisuus. Alajuoksun alla ja sivulla on bitumisively ja rakennetta kuormittaa viistosaderasitus.

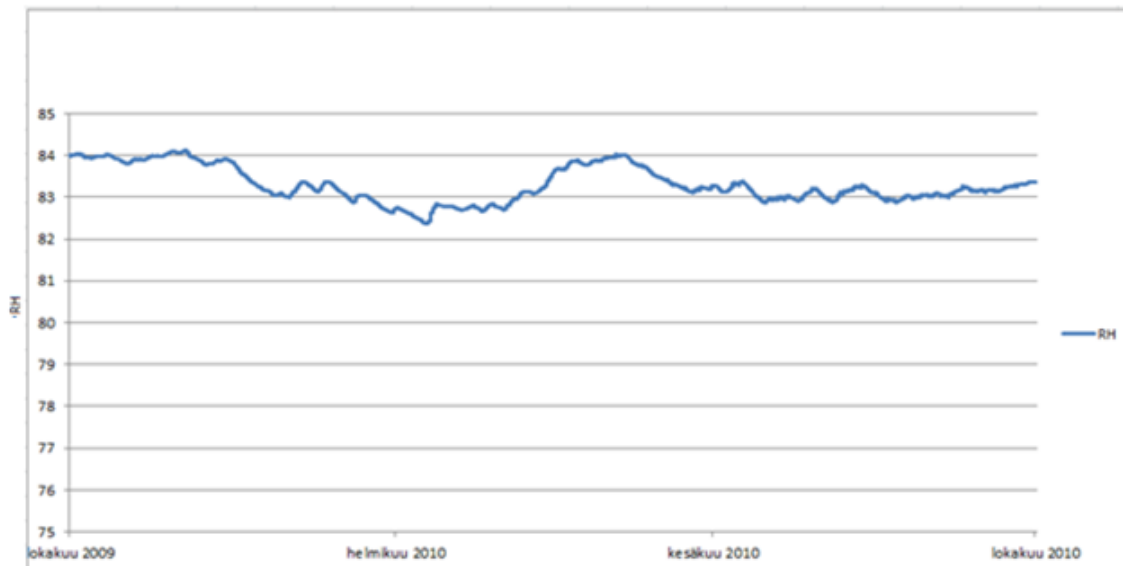
Alajuoksun lämpötila on vaihdellut n. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Kuvassa 54 on esitetty laskentajakson lämpötilat.



Kuva 54. Alajuoksun yläpinnan lämpötilä. Alajuoksun alla ja sivulla on bitumisively ja rakennetta kuormittaa viistosaderasitus.

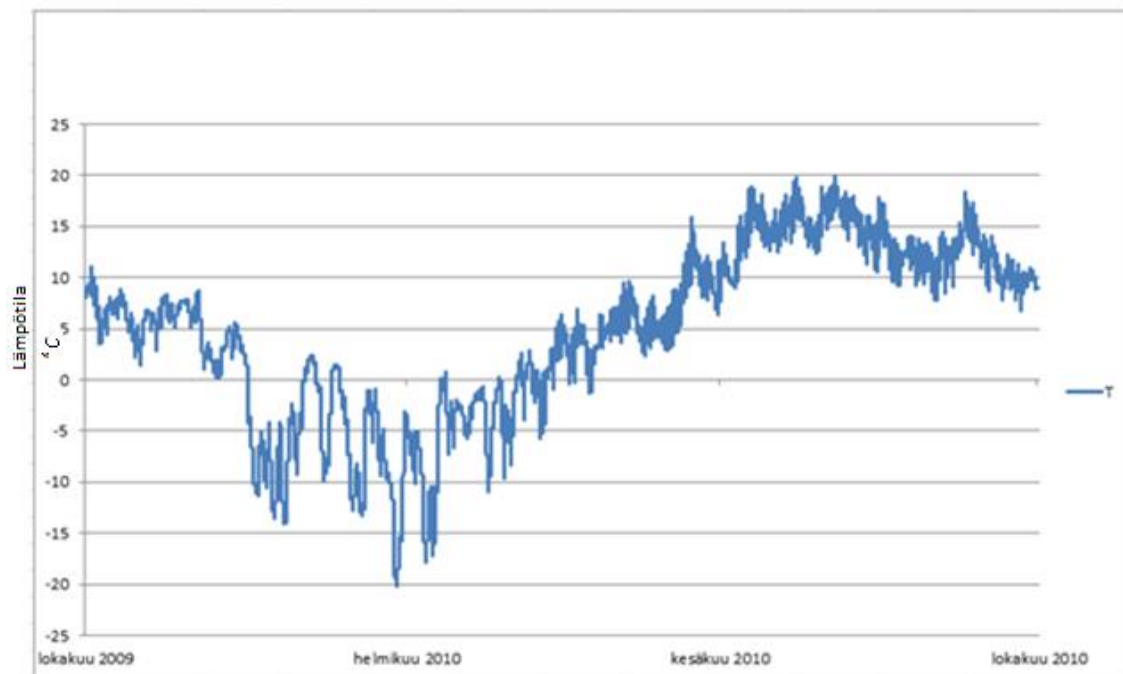
Viistosaderasitus, bitumisively alajuoksun alapuolella

Alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut tarkastelu vuoden aikana 82 %:n ja 84 %:n välillä. Kuvassa 55 on esitetty koko laskentajakson tulokset.



Kuva 55. Alajuoksun yläpinnan kosteuspitoisuus. Alajuoksun alla on bitumisively ja rakennetta kuormittaa viistosaderasitus.

Alajuoksun lämpötila on vaihdellut n. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Kuvassa 56 on esitetty laskentajakson lämpötilat.



Kuva 56. Alajuoksun yläpinnan lämpötilä. Alajuoksun alla on bitumisively ja rakennetta kuormittaa viistosaderasitus.

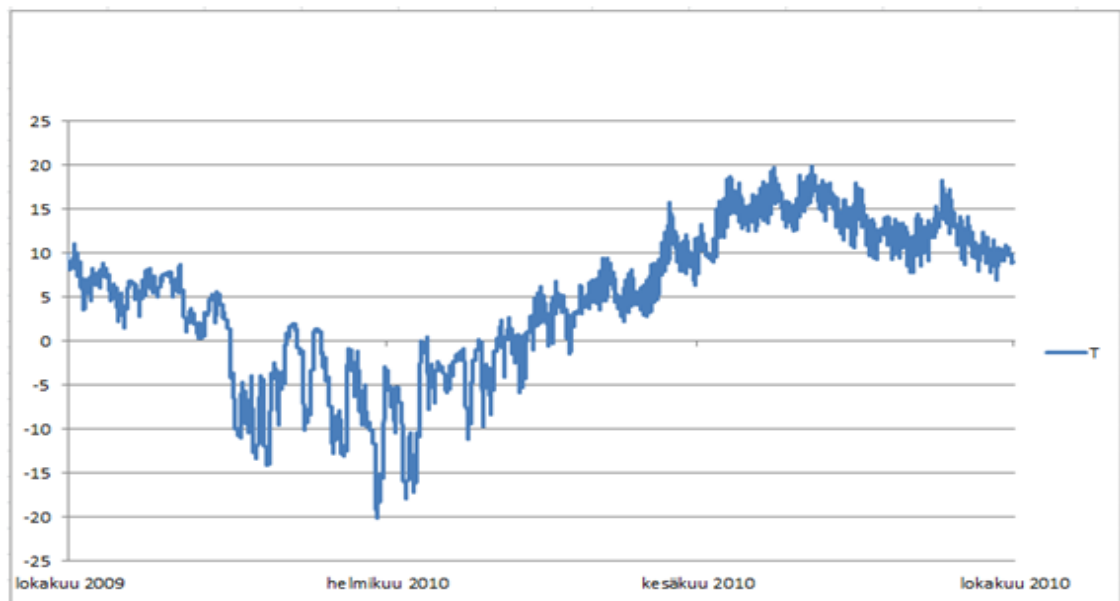
Viistosaderasitus, ei bitumisivelyä

Alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut tarkastelu vuoden aikana 80 %:n ja 82 %:n välillä. Kuvassa 57 on esitetty koko laskentajakson tulokset.



Kuva 57. Alajuoksun yläpinnan kosteuspitoisuus. Alajuoksun alla ei ole bitumisivelyä ja rakennetta kuormittaa viistosaderasitus.

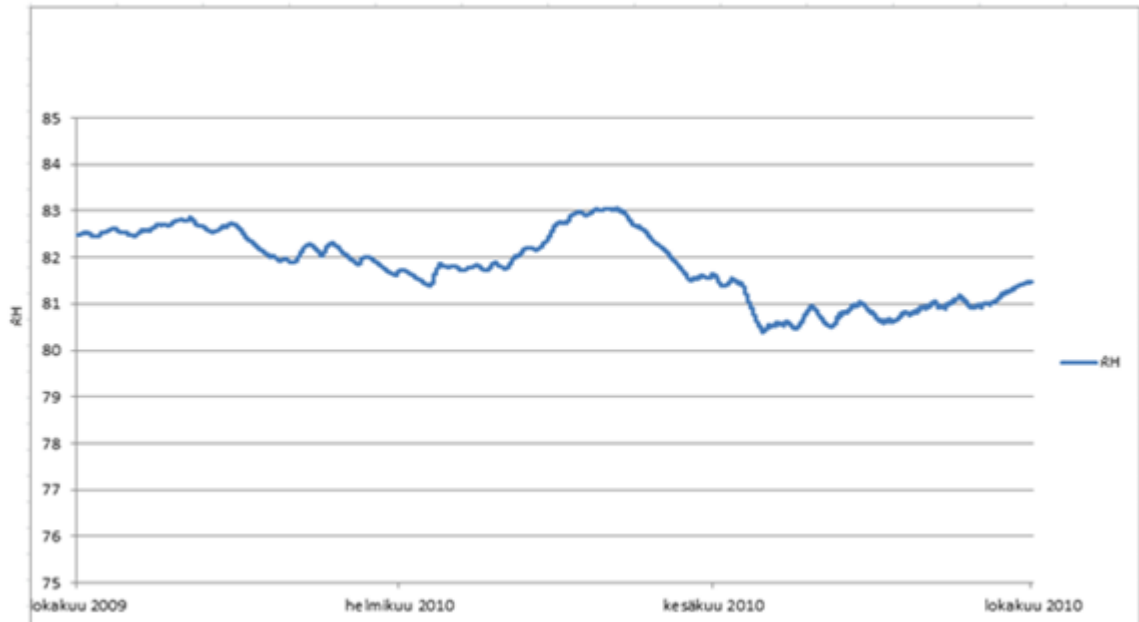
Alajuoksun lämpötila on vaihdellut n. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Kuvassa 58 on esitetty laskentajakson lämpötilat.



Kuva 58. Alajuoksun yläpinnan lämpötila. Alajuoksun alla ei ole bitumisivelyä ja rakennetta kuormittaa viistosaderasitus.

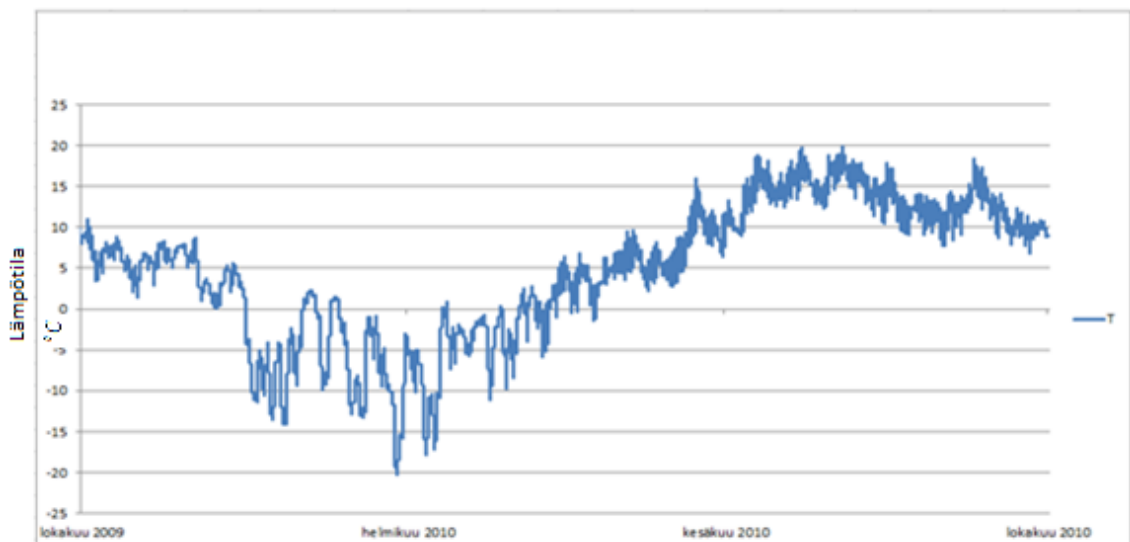
Ei viistosaderasitusta, bitumisively alajuoksun alla ja sivulla

Alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut tarkastelu vuoden aikana 80 %:n ja 83 %:n välillä. Kuvassa 59 on esitetty koko laskentajakson tulokset.



Kuva 59. Alajuoksun yläpinnan kosteuspitoisuus. Alajuoksun alla ei ole bitumisively, eikä rakennetta kuormita viistosaderasitus.

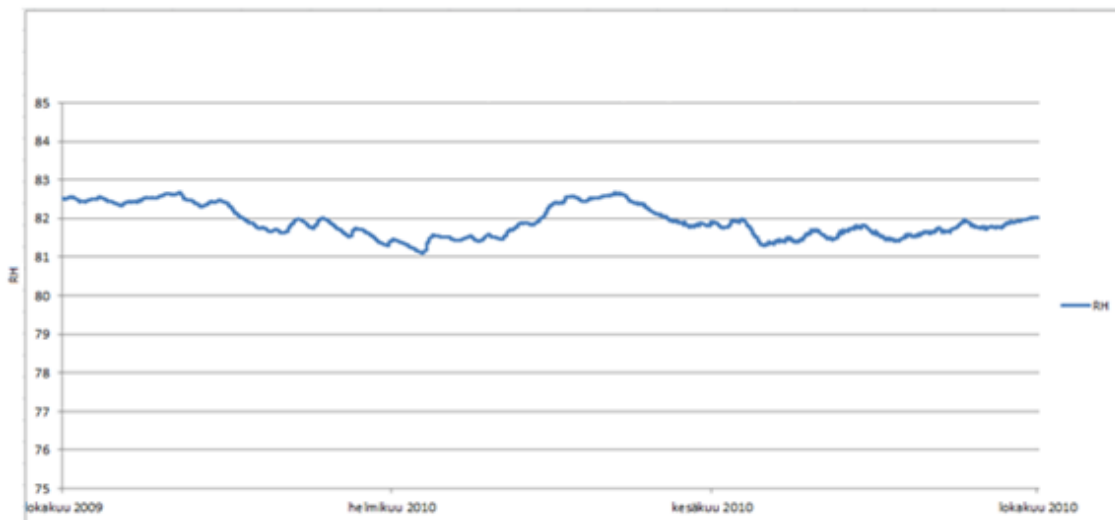
Alajuoksun lämpötila on vaihdellut n. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Kuvassa 60 on esitetty laskentajakson lämpötilat.



Kuva 60. Alajuoksun yläpinnan lämpötila. Alajuoksun alaa ja sivulla on bitumisively, mutta rakennetta ei kuormita viistosaderasitus.

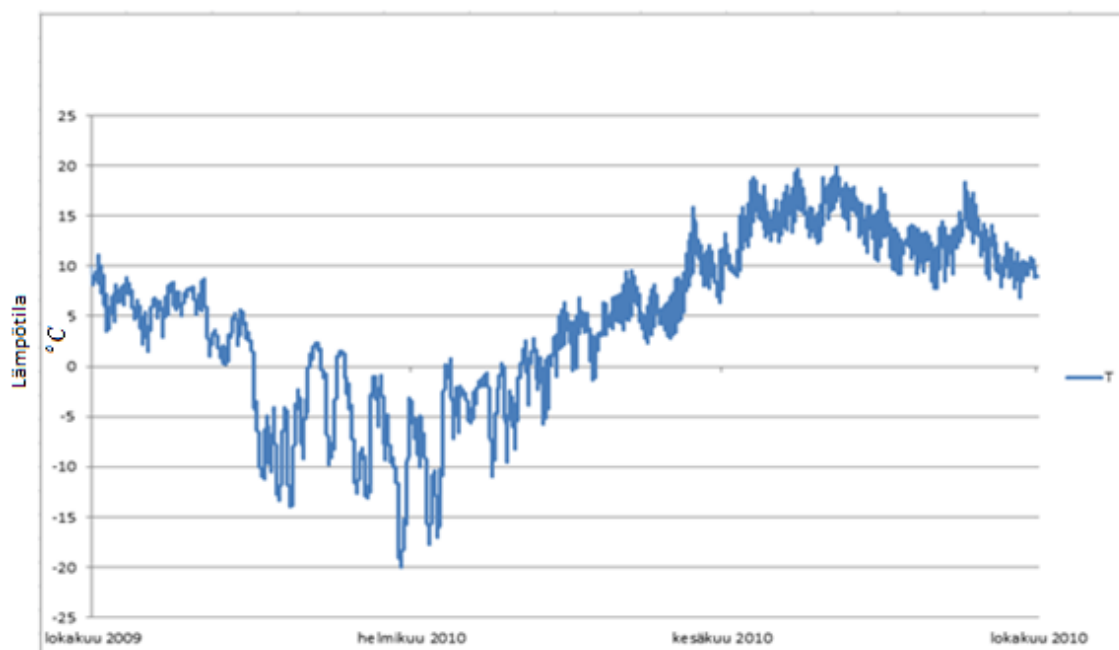
Ei viistosaderasitusta, bitumisively alajuoksun alapuolella

Alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut tarkastelu vuoden aikana 81 %:n ja 83 %:n välillä. Kuvassa 61 on esitetty koko laskentajakson tulokset.



Kuva 61. Alajuoksun yläpinnan kosteuspitoisuus. Alajuoksun alla on bitumisively, mutta rakennetta ei kuormita viistosaderasitus.

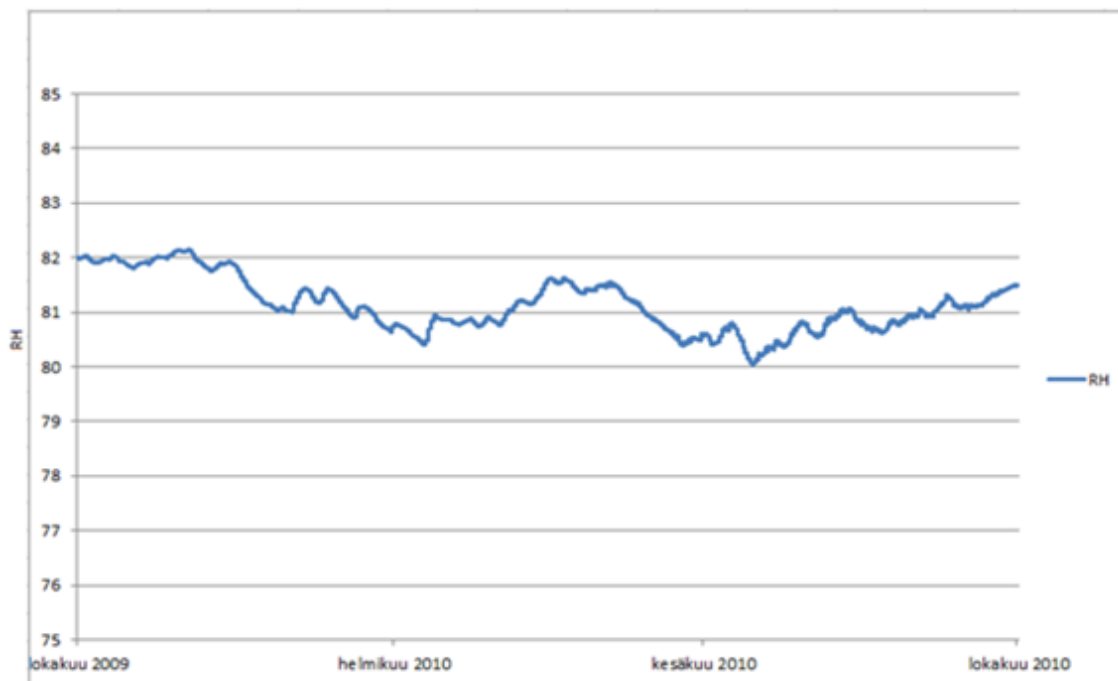
Alajuoksun lämpötila on vaihdellut n. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Kuvassa 62 on esitetty laskentajakson lämpötilat.



Kuva 62. Alajuoksun yläpinnan lämpötila. Alajuoksun alla on bitumisively, mutta rakennetta ei kuormita viistosaderasitus.

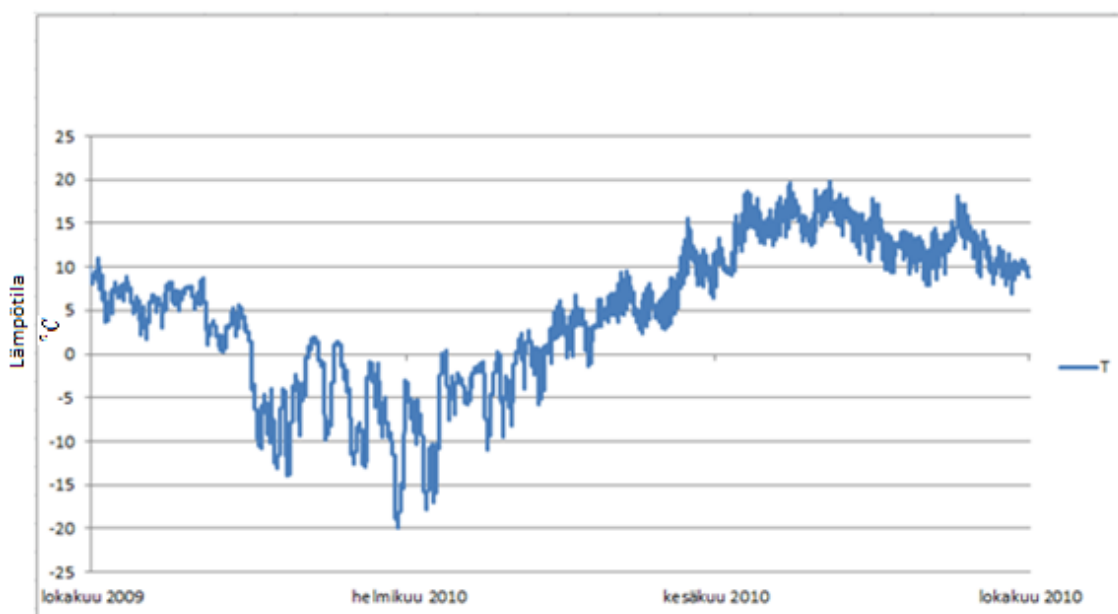
Ei viistosaderasitusta, ei bitumisivelyä

Alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut tarkastelu vuoden aikana 80 %:n ja 82 %:n välillä. Kuvassa 63 on esitetty koko laskentajakson tulokset.



Kuva 63. Alajuoksun yläpinnan kosteuspitoisuus. Alajuoksun alla ei ole bitumisivelyä, eikä viistosaderasitusta.

Alajuoksun lämpötila on vaihdellut n. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Kuvassa 64 on esitetty laskentajakson lämpötilat.



Kuva 64. Alajuoksun yläpinnan lämpötila. Alajuoksun alla ei ole bitumisivelyä, eikä viistosaderasitusta.

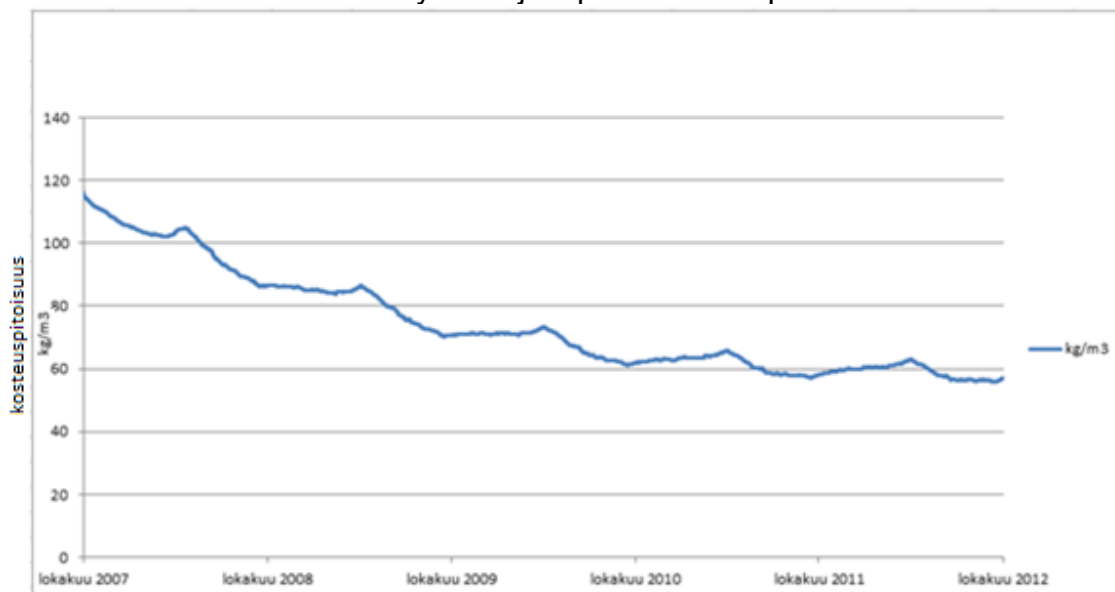
5.4.4 Alajuoksun kuivumistarkastelu

Alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on laskenut lähtötilanteen 97 %:sta viiden vuoden kuluessa tasolle 75 % - 80 %. Kuivuminen edellä mainitulle tasolle on kestänyt noin 3-4 vuotta. Alaohjauspuun kuivuminen on esitetty kuvassa 65.



Kuva 65. Alajuoksun yläpinnan kosteuspitoisuus. Rakenteessa ei ole bitumisivelyä, rakenteeseen vaikuttaa viistosaderasitus

Alajuoksun kosteuspitoisuus on vähentynyt viiden vuoden laskenta jakson aikana 120 kg/m³:sta noin 60 kg/m³. Kuivuminen tälle tasolle on kestänyt noin 3-4 vuotta. Kuvassa 66 on esitetty alaohjauspuun kosteuspitoisuus.



Kuva 66. Alajuoksun yläpinnan suhteellinen kosteuspitoisuus. Rakenteessa ei ole bitumisivelyä, rakenteeseen vaikuttaa viistosaderasitus.

5.4.5 Laskennan konvergenssi tarkastelu

Lämpötilalaskennan residuaalit ovat suuruusluokaltaan 1×10^{-9} – 1×10^{-4} ja suhteellisen kosteuspitoisuuden residuaalit ovat suuruusluokaltaan 1×10^{-6} – 1×10^{-2} .

Ratkaistujen suureiden residuaalit ovat riittävän pienet, joten laskentaa voidaan pitää konvergoituneena. Täten numeerinen laskenta on laskenut lämmön- ja kosteudensiirtymisen oikeanlaisesti.

5.5 Laskentatulosten tarkastelu

Laskentatulosten mukaan alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus on vaihdellut 76 %:n ja 84 %:n välillä. Kriittisenä rajana materiaalin homehtumiselle pidetään suhteellisen kosteuspitoisuuden arvoa 80 %, kun lämpötila on yli 0 °C.

Etelän puolella alajuoksun suhteellinen kosteuspitoisuus ylittää sallitun 80 %:n rajan hetkellisesti lopputalvella. Tällöin alajuoksun lämpötila on alle 0 °C, joten homeen kasvu ei ole mahdollista.

Pohjoisen puolella suhteelliset kosteuspitoisuudet vaihtelivat eri laskentatapa-uksista riippuen 80 %:n ja 84 %:n välillä. Viistosaderasitus ja eri bitumisively-kombinaatiot eivät oleellisesti vaikuttaneet alajuoksun suhteelliseen kosteuspitoisuuteen. Merkittävää oli yli 80 %:n suhteellinen kosteuspitoisuus myös kevään, kesän ja syksyn aikana. Home tarvitsee kasvaakseen myös riittävän korkean lämpötilan, joka kevään, kesän ja syksyn aikana täyttyy. Laskentatulosten perusteella valesokkelirakenne tarjoaa pohjoisen puolella homeille kasvualustan, jossa homeet voivat mahdollisesti kasvaa.

5.6 Mittaus- ja laskentatulosten vertailu

5.6.1 Vertailun lähtökohdat

Kun todellista kohdetta mallinnetaan matemaattisesti ja mitataan mittaantureilla, syntyy yleensä eroja laskettujen ja mitattujen tulosten välille. Syinä ovat esimerkiksi mittausturien tarkkuus ja laskentamallin epätarkkuus. Laskentatuloksia saadaan mallista tarvittaessa yhden tunnin välein, kun taas mittaustuloksia saatiin mittaussjakson alussa 2-3 viikon välein ja mittaussjakson lopussa tuloksia saatiin 3 kuukauden välein. Mittaustulos kuvaa vain kyseisen hetken tilannetta, kun taas laskentatuloksia voidaan tarkastella jatkuvana tapahtumana.

Laskentamalliin epätarkkuutta tuo käytettyjen materiaalien ominaisuuksien epätarkka tunteminen. Materiaaliarvoina on käytetty yleisiä kirjallisuudesta löytyviä arvoja. Rakenteessa olevia materiaaleja ei ole mitattu, joten rakenteessa olevin materiaalien ominaisuudet saattavat erota kirjallisuudesta löytyvistä arvoista. Mallinnetussa ja todellisessa rakenteessa saattaa olla myös mittaeroja, joita ei rakennetta purkamatta saada selville. Laskentamallissa ei myöskään oteta materiaalien hystereesiä huomioon, joka myös vääristää laskentatuloksia, virheen minimoimiseksi käytettiin kuivumis- ja kastumiskäyrien keskiarvokäyriä.

Laskentamalli ei ota ilmavirtauksia huomioon. Jos rakenteessa on ilmavirtareittejä ulkoilmasta sisäilmaan, niin nämä ilmavirrat kuivattavat alaohjauspuuta.

Mittaantureiden tarkkuus aiheuttaa eroa laskennallisten ja mitattujen tulosten välille. Kosteusanturi sijaitsi alajuoksun päällä tai upotettuna siihen, eli se ei suoraan mitannut alajuoksun kosteuspitoisuutta, tästä saattaa aiheutua eroa mitattuun ja laskettuun kosteuspitoisuuteen. Kosteuspitoisuusmittaus perustui sähkönvastusmittaukseen, josta suhteellinen kosteuspitoisuus saadaan kahden välivaiheen kautta ulos, myös tämä saattaa aiheuttaa virhettä mittaustulokseen.

5.6.2 Vertailun tulokset

Kosteus

Laskennallinen suhteellisen kosteuspitoisuuden vaihtelu on ollut suurempaa, kuin mitä mittaamalla on havaittu. Laskennalliset suhteelliset kosteuspitoisuudet ovat tarkasteluvuoden aikana vaihdelleet 76 %:n ja 83 %:n välillä. Todellisen rakenteen mittaamalla saadut suhteelliset kosteuspitoisuudet ovat vaihdelleet 65 %:n ja 80 %:n välillä. Mitatun rakenteen ja laskentamallin antamat tulokset ovat kuitenkin melko lähellä toisiaan ja kosteuspitoisuuksien muutokset tapahtuvat samoihin vuoden aikoihin.

Kuivumisen mallintaminen poikkesi huomattavasti mitatusta. Mallissa kuivuminen kesti yli 3 vuotta normaalille tasolle. Todellisen rakenteen mitattu kuivuminen kesti normaalitasolle vain noin 3 kuukautta. Mallinnetussa rakenteessa kuivuminen on tapahtunut vain diffuusiolla, malli ei ota ilmavirtauksia huomioon. Mitatussa rakenteessa mahdolliset ilmavuodot ovat nopeuttaneet kuivumista, koska ilmavuodot parantavat rakenteen kuivumiskykyä.

Lämpötila

Mitatun ja laskennallisen lämpötilan vertaaminen suoraan ei ole järkevää. Lämpötila mittaus suoritettiin yksittäisten käyntien yhteydessä, eikä jatkuvana seurantamittauksena. Ulkolämpötilan vuorokautinen vaihteluväli saattaa olla jopa kymmeniä Celsiusasteita vuorokaudessa. Tämä näkyy laskentatuloksissa myös alaohjauspuun lämpötilan suurena vaihteluna. Mitatut lämpötilat osuvat kuitenkin varsin hyvin laskennallisten lämpötilojen vaihtelualueen sisään. Lämpötilajakauman laskeminen onnistuu yleensä varsin hyvin, jos laskentamallin materiaaliipaksuudet, materiaaliominaisuudet ja reunaehdot vastaavat todellista tilannetta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

6.1 *Korjatun rakenteen kosteustekninen toimivuus tutkimustulosten perusteella*

Alaohjauspuu valesokkelirakenteessa kuivuu kastuttuaan hitaasti, joten sen kastuminen pitäisi estää mahdollisimman tehokkaasti. Ulkoapäin tulevan kosteuden pääsy alaohjauspuuhun pitäisi estää hyvällä salaojituksella sekä oikeanlaisella vettä läpäisevällä sorakerroksella. Räystäiden pitäisi olla riittävän pitkät, jotta viistosade ei pääsisi kastelemaan seinää. Katolle tulevat sadevedet pitää johtaa talon viereltä oikealla tavalla pois, jotta rännistä valuvat vedet eivät kastelisi sokkelia, ja sitä kautta alaohjauspuuta. Tutkimuksen koekohteen ilma- vuotoja valesokkelirakenteen läpi ei saatu luotettavasti tukittua. Tämä on saat- tanut osaltaan nopeuttaa koekohteen valesokkelin kuivumista. Asukastietojen perusteella rakenne on kuitenkin niin tiivis, että se ei aiheuta haitallista vedon tunnetta sisätiloissa.

Tutkimuksen perusteella näyttää, että koekohteen tapainen valesokkelirakenne voi toimia ulkopuolisen kattavan kuivatusjärjestelmän asennuksen jälkeen kosteusteknisesti moitteettomasti, vaikka valesokkelirakenne jätetään ennalleen. Ulkopuolinen kuivatus järjestelmä hoitaa myös kosteusvaurioituneen alaohjaus- puun kuivumisen. Kosteusvaurioituneessa rakenteessa, jossa on havaittu home- kasvustoa, pitää huolehtia siitä, että rakenne puhdistetaan mahdollisimman hyvin homekasvustosta mekaanisesti. Rakenne pitää korjata sellaiseksi, että vuotoilmaa ei pääsisi kulkeutumaan sisätilaan alaohjauspuun läheisyydestä. Nykykäsitteiden mukaan rakenteen turhaa desinfiointia tulee välttää, koska des- infiointi aineet saattavat aiheuttaa asukkailla oireilua.

Koneellisen poistoilmanvaihdon asennusta ei suositella tehtäväksi valesokkelin kapselointikorjauksessa, koska huppuimuri lisää paine-eroa valesokkeliraken- teen yli. Tämä lisää valesokkelissa mahdollisesti olevien haitta-aineiden kulkeu- tumista sisätiloihin.

Koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtolaitteistoa käytettäessä tulo- ja poistoilman- vaihdon paine-ero kannattaa pitää pienenä, jotta valesokkelin mahdolliset hait- ta-aineet eivät kulkeutuisi sisätiloihin.

Valesokkelin ennalleen jättäminen on erittäin kustannustehokas toimenpide. Valesokkelirakenteen muuttaminen kengittämällä rakennus ja muuraamalla ala- ohjauspuun alle tiilimuuraus maksaa 868 euroa/jm (Haahtela, Y. Kiiras, J. 2008). Ulkopuolinen kuivatusjärjestelmä maksaa laajuudesta riippuen korkein- taan 595 euroa/jm (Haahtela, Y. Kiiras, J. 2008). Pientalon omistaja tai osake- yhtiön osakas säästää kustannuksissa n. 2/3, jos rakennetta ei muuteta toisen- laiseksi. Pahimmillaan omakotitaloasujan tai rivitaloyhtiön velkataakka saattaa kasvaa kestävämmän suureksi, jos valesokkelirakenteen muutostöihin joudu- taan.

Valesokkelirakenne kannattaa jättää korjaustoimenpiteiden yhteydessä ennal- leen, jos pystytään varmistamaan kapillaarikatkon olemassa olosta ja toimivuu-

desta, sekä seinärakenteen alaosan lopullisesta erittäin hyvästä ilmatiiveydestä. Näin rakennuksen reaaliarvo saadaan pidettyä mahdollisimman korkeana.

6.2 Jatkotutkimustarpeita

Kosteus- ja erityisesti homevaurioituneen rakenteen korjaaminen on haastava toimenpide, joten korjauksessa pitäisi pystyä varmistamaan ehdottoman hyvä työnlaatu, sekä suunnittelu, että asennuspuolella. Jatkotutkimusaiheena olisi mitata hyvin dokumentoidun korjauskohteen alajuoksun kosteuspitoisuutta mitalaitteistoa apuna käyttäen. Koko korjaustyön kattava dokumentointi on tarpeen koekohdetta valittaessa, jotta pystytään varmistamaan korjausmenetelmän oikeanlaisesta soveltamisesta. Jos sisäilman mikrobipitoisuudet ovat liian korkeita, jatkossa selvitettäisiin mikrobien lähde avaamalla rakenteita ja ottamalla mikrobinäyte alaohjauspuusta. Tällä tavalla saataisiin varmuus siitä, että sijaitseeko mikrobilähde edelleen valesokkelirakenteen alaohjauspuun läheisyydessä, vai sijaitseeko mikrobilähde jossain muussa kohdassa rakennusta.

6.3 Suositeltavat korjausmenetelmät

Kosteusvaurioituneen valesokkelirakenteen korjausmenetelmää valittaessa hyvin tehdyn kuntotutkimuksen merkitys korostuu. Olemassa olevan vaurion laajuus määrittää tehtävän korjausmenetelmän ja korjauksen laajuutta. Kapselointimenetelmää voidaan käyttää, jos alaohjauspuu on lujaa ja vauriot eivät ole edenneet liian pitkälle. Selkeät hajuhaitat antavat viitteitä jo edenneestä vauriosta. Jos vauriot ovat edenneet liian pitkälle, niin kapselointimenetelmällä ei välttämättä voida taata korjauksen toimivuutta sisäilman laadun kannalta.

Mikäli päädytään käyttämään kapselointi menetelmää, olisi selvitettävä asukkaiden mahdolliset haitta-aine herkistymät. Herkistyttyään tietyille haitta-aineille osa ihmisistä reagoi jo pieniin haitta-aine pitoisuuksiin. Tällaisessa tapauksessa massamenetelmän käyttö korjausmenetelmänä on suositeltavin vaihtoehto, koska vaurioituneet materiaalit poistetaan rakenteesta. Kapselointimenetelmää käytettäessä resursseja saadaan säästymään ja ne voidaan kohdentaa esimerkiksi rakennuksen muihin korjauksiin.

7 YHTEENVETO

Tutkimus suoritettiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun, ja Oulun yliopiston kesken. Tutkimuksen suorittaja teki opinnäytetyötä Teknilliselle korkeakoululle työskentelemällä Oulun yliopistolla tutkimuksen ajan. Lisäksi Oulun ammattikorkeakoulu osallistui tutkimukseen antamalla tutkijan käyttöön tarvittavan mittalaitteiston ja ammattituntemuksen mittalaitteiston käytössä. Teoreettiset laskelmat suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun tiloissa.

Opinnäytetyössä tutkittiin kosteusvaurioituneen valesokkelirakenteen korjauksen onnistumista kenttämittauksin ja teoreettisin laskelmin. Tutkimuksen alkuvaiheessa valittiin sopiva mittauskohde, joka vastasi tutkimussuunnitelman tarpeita. Koekohteen korjaustoimenpiteet olivat alkaneet hieman ennen tutkimuksen alkua, joten tutkijan käyttöön saatiin kaikki arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan suunnitelmat tutkittavaksi. Mittauspisteet valittiin mahdollisimman kattavasti kahdesta eri rakennuksesta ja molempien rakennusten etelä- ja pohjoisjulkisivuilta. Mitta-antureita käytiin lukemassa aina määrä ajoin, jotta saatiin kuva kosteuspitoisuuden muutoksista valesokkelirakenteessa ja sen läheisyydessä. Tutkimuskohteena oli Oululainen kahdeksan rivitalon asunto-osake yhtiö.

Valesokkelirakenteen ongelmat pohjimmiltaan juontavat juurensa ajattelemattomuudesta ja uskosta uuteen teknologiaan ja uusiin tekniikoihin. Valesokkelirakenteeseen liittyy usein myös muita kosteusteknisen toiminnan kannalta hyvin kyseenalaisia rakenneratkaisuja. Tasakatto ja salaojien puuttumattomuus ovat niistä ehkä tärkeimmät, sadevesien poisjohtaminen rakenteen viereltä on usein myös laiminlyöty. 1960-luvulla alkanut muotivillitys rakentaa ns. maata myöten on osoittautunut kelvottomaksi tavaksi tehdä kunnollisia rakennuksia.

Valesokkelirakenteessa alaohjauspuu makaa lattia tason alapuolella betonilla ympäröitynä. Rakenne on ollut edullinen valmistaa ja se on katkaissut kylmäsilan tehokkaasti ulko- ja sisätilan välillä. Kosteustekninen toiminta ei ole ollut yhtä hyvää, rakenteen on uskottu suojaavan alaohjauspuuta kosteudelta, mutta aika on osoittanut, että näin asia ei ole.

Opinnäytetyössä keskityttiin tutkimaan syvällisesti vain yhtä valesokkelirakenteen kosteusvaurion korjausmenetelmää. Tutkimus keskittyi ns. kapselointimenetelmän tutkimiseen. Kapselointimenetelmässä valesokkelirakenne jätetään ennalleen muuttamatta sen rakennetta. Korjaustoimenpiteet kapselointimenetelmällä kohdistuvat vain rakenteen ulkopuolisiin osiin. Rakenteen ympärille rakennetaan ulkopuolinen kuivatusjärjestelmä, johon kuuluvat salaojat, harjakatto pitkine räystäineen ja sadevesi järjestelmineen. Pintamaita leikataan ja ne muotoillaan uudestaan kaatamaan pois päin rakenteesta, mahdolliset kukkaistutukset hävitetään rakenteen viereltä.

Rakennuksessa asuminen on mahdollista, koska muutostyöt tehdään talon ulkopuolella. Sisätiloissa ei kapselointimenetelmällä korjatessa tarvitse mennä tekemään muuta kuin katselmuksia alkuvaiheessa ja lopputilanteissa. Korjausvaiheen kesto jää myös lyhyemmäksi, kuin massamenetelmällä korjatessa, jossa valesokkelin rakennetta muutetaan esimerkiksi muuraamalla tiilimuuraus alajuoksun alle.

Kustannussäästöt ovat huomattavia, sillä rahaa säästyy jopa 67 % verrattuna kalliimpaan massamenetelmään. Massamenetelmässä joudutaan tekemään samat rakenteen kuivatusjärjestelmät, kuin kapselointimenetelmässäkin, sekä lisäksi massamenetelmässä valesokkelin alaohjauspuu nostetaan lattian pinnan yläpuolelle. Valesokkelin alaohjauspuun aseman muutos on tehokas toimenpide kosteusongelmia vastaan, mutta välttämättä sillä ei saavuteta parempia tuloksia kuin kapselointimenetelmälläkään.

Tutkimuksessa kuvattu korjausmenetelmä näyttää soveltuvan hyvin koekohteen tapaisiin korjauksiin. Sekä mitatut, että kirjallisuudesta löytyneet tulokset ovat sellaisia, että korjausmenetelmää voidaan käyttää, kunhan huomioidaan, että tehtävä toimenpide on vaativa. Ennen korjaustyöhön ryhtymistä pitää pystyä varmistamaan, että rakenteen vaurioituminen ei ole päässyt liian pitkälle ja että kapillaarinen veden nousu katkaistaan ennen alaohjauspuun tasoa. Korjauksen yhteydessä tulee varmistaa rakenteen hyvä sisäpuolinen ilmatiiveys, jotta rakenteessa mahdollisesti olevat homeitiöt ja homepöly eivät kulkeutuisi sisätilaan.

8 LÄHDELUETTELO

Asumisterveysohje. 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriö. 88s.

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Helsinki. Rakennustieto Oy. ISBN 951-682-432-3. 150s.

GLO-85. 1985. Geotekniset laboratorio-ohjeet. 1. Luokituskokeet. Helsinki. Rakentajain kustannus & Suomen geoteknillinen yhdistys.

Escort. Escort junior brochurefile. Saatavissa: <http://www.escortdls.com/brochures/ESCORT%20Brochure%20Cover.pdf>

Haahtela, Y. Kiiras, J. 2008. Talonrakennuksen kustannustieto, 2008. Tampere. Haahtela kehitys Oy. 388s. ISBN 978-952-5403-13-8.

Halme, M. 2004. Matalasti maata myöten. Helsinki. Meidän Talo.

Hengitysliitto. Sisäilmaongelmien aiheuttamat terveyshaitat. [verkkajulkaisu] 20.3.2017. Saatavissa: <http://www.hengitysliitto.fi/fi/hengityssairaudet/homeesta-ja-sisailmasta-sairastuneet/sisailmasairaudet/sisailmaongelmien-aiheuttamat-terveyshaitat>

Kallio, J. et. al. 2008. Maa- ja kalliolämmön mahdollisuuksista. [verkkajulkaisu] 17.6.2008. Saatavissa: <http://www.greenetfinland.fi/fi/images/b/b5/GTK16.6.08.pdf>

Kyntzel, M. 1995. Simultaneous heat and moisture transport in building components. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 3-8167-4103-7

Kärki, J-P. Öhman, H. 2007. Homevaurioiden korjausopas. Kuopio. Kuopion yliopisto, tutkimuksia ja selvityksiä 6/2007. ISBN 978-951-27-0723-2.

Leivo, V. 1998. Opas kosteusongelmiin. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Julkaisu 95. 158s. ISBN 952-15-0105-7

Lindberg, R. 2009. Rakennusten energiamääräykset. Uhka vai mahdollisuus. [seminaariesitelmä] 26.2.2009. Tampereen teknillinen yliopisto.

Merikallio, T. 2003 Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä. Betonikeskus Ry. 62s. ISBN 952-5075-45-1

Paajanen, T. 1966. Puun kosteuden määrittämisestä sähköisillä mittareilla. Helsinki. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotus sarja 1- Puu 34. 55s.

Partanen, P. et. al. 1995. Pientalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja KTL B&/1995. ISBN 051-53-0167-X

Pietiko Oy [verkkodokumentti]. 2009 [210210]. Saatavissa: <http://www.pietiko.fi/mittarikirjallisuus/Termopari.pdf>

Pirinen, J. Omakotitalojen homevaurioiden korjausperiaatteita.

Pientalon kosteustekniikka. 1989. Asuntohallitus, opasjulkaisu 1:1989. Valtionpainatuskeskus. 60s.

RIL 120-1991. 1991. Puurakenteiden suunnittelu. Helsinki. Rakennusinsinöörin liitto RIL Ry. ISBN 951-758-241-2. 65+32s.

Seuri, M. Reiman, M. 1996 Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira: Lausunto biosidikäsittelyn aiheuttamasta mahdollisesta terveyshaitasta asuinhuoneistossa, Dnro 248/06.10.02/2013

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C2. 1998. Kosteus, määräykset ja ohjeet. Helsinki. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakentamisosasto. 16s.

Tulla, K. 1984. Puurunkoisten omakotitalojen alussoiron kosteuspitoisuus. Espoo. VTT. ISBN 951-38-1959-0

Tulla, K. 1991. Betomisokkelin ja maanvaraisen betonilaattaan kosketuksissa olevien puurakenteiden kosteustekninen toimivuus. Oulu. Oulun yliopisto.

Vinha, J. Homeen kasvun laskentamallin kehitystyö[seminaarisesitelmä]. 1.12.2011. Tampereen teknillinen yliopisto.

Viitanen, H. Paajanen, L. 2002 Rischkoff, A. Elinympäristön pintojen hallinta – ELPI. Helsinki. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Seminaariesitelmä.

Ympäristöministeriö. Viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaopas. 2012.

Ympäristöministeriön moniste 122. 2003. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Helsinki. Ympäristöministeriön moniste 122.

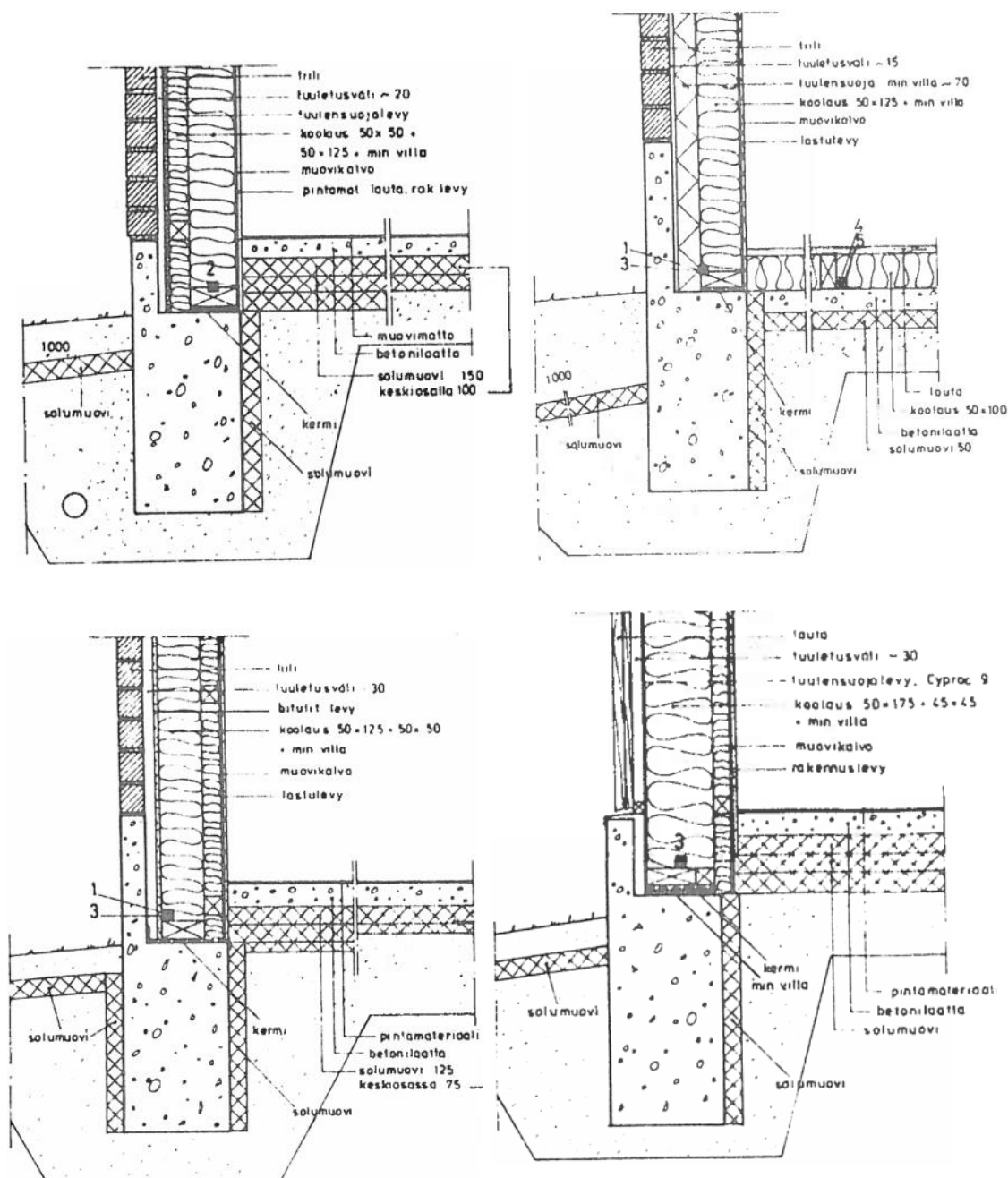
Ympäristöopas 29. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. Helsinki. Ympäristöministeriö. ISBN 951-682-469-2. 79s.

http://www.escortdataloggers.com/products_JUNIOR_escortdataloggers.html

9 LIITTEET

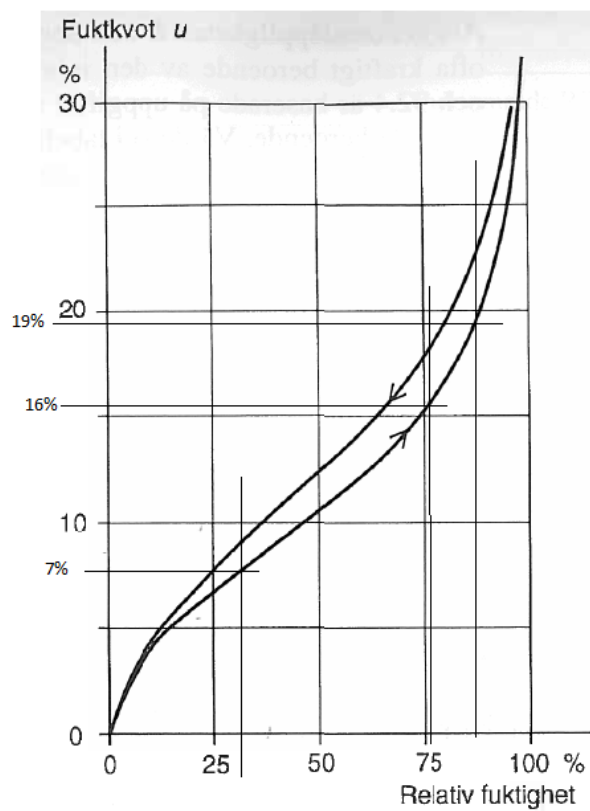
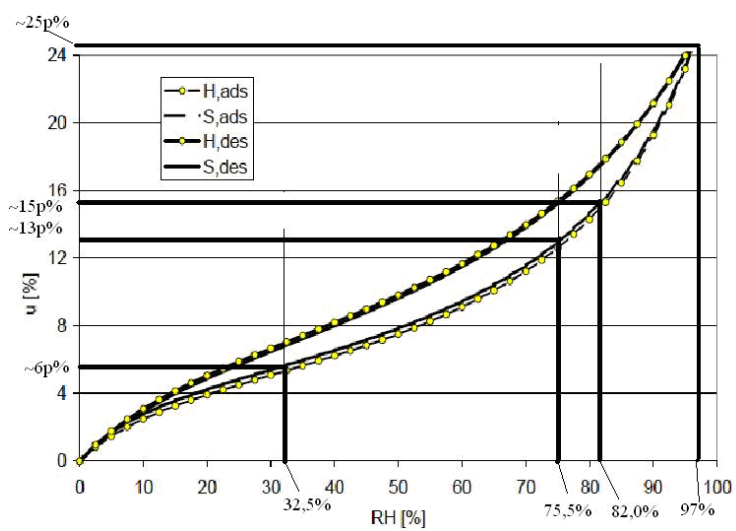
LIITE 1:

Tutkimuksessa, Puurunkoisten omakotitalojen alussoiron kosteuspitoisuus, mukana olleiden valesokkelillisten talojen valesokkelirakenteen detajli kuvat.



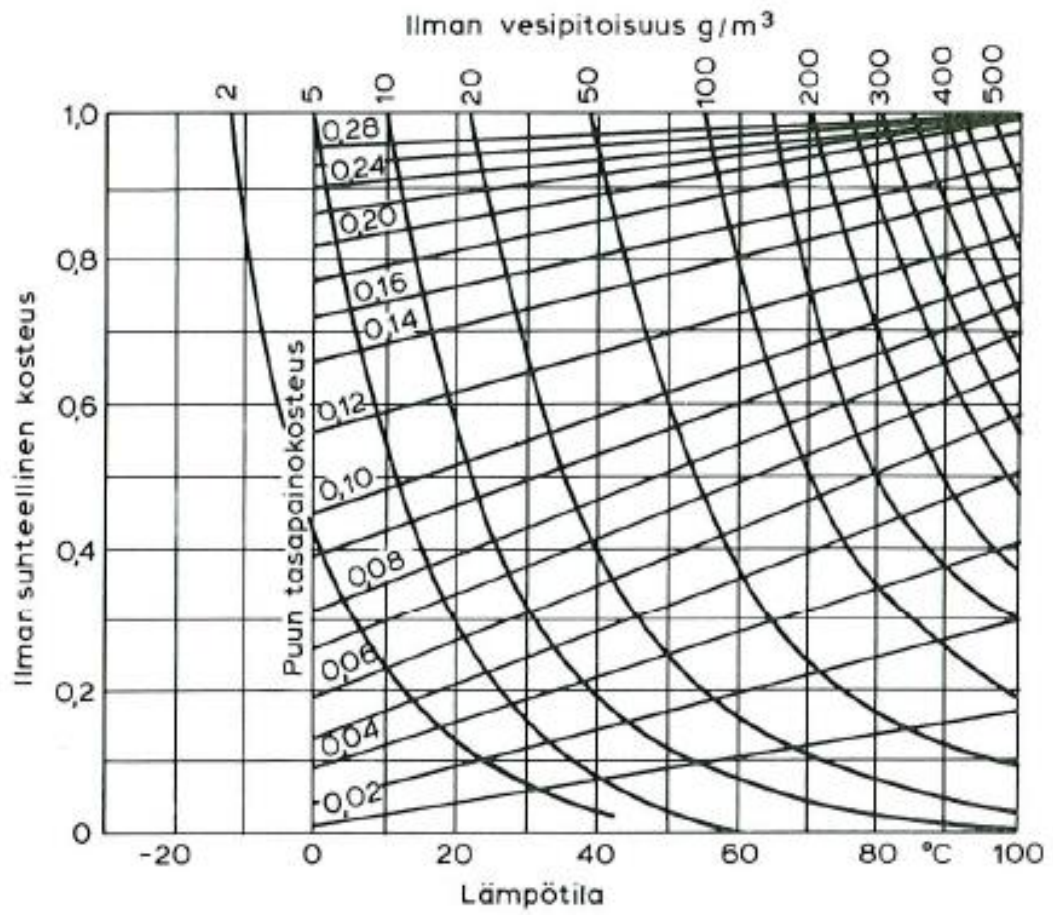
LIITE 2:

Puun sorptio- ja desorptiokäyrät ja tavoitepainokosteuspitoisuudet, joihin antureiden kalibrointikosteuspitoisuuksissa pitäisi tasapainoittua. Eri lähteiden käyrät antavat eri arvoja.



LIITE 3:

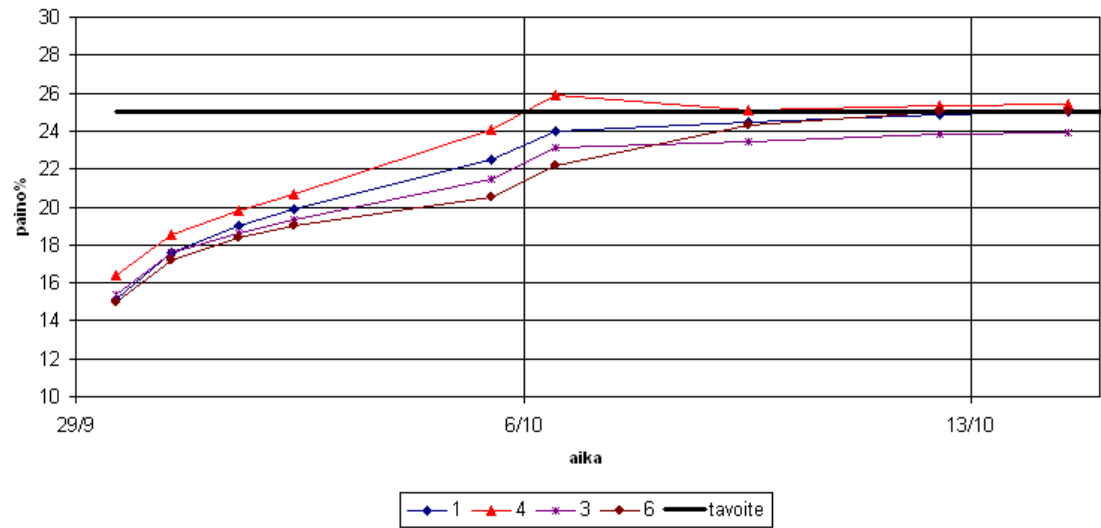
Puun tasapainokosteuskäyrästä (RIL-120 1990):



Liite 4:

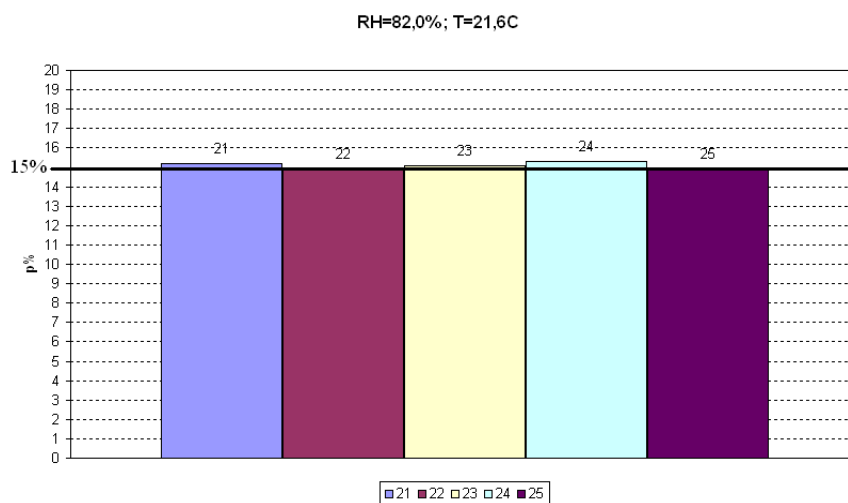
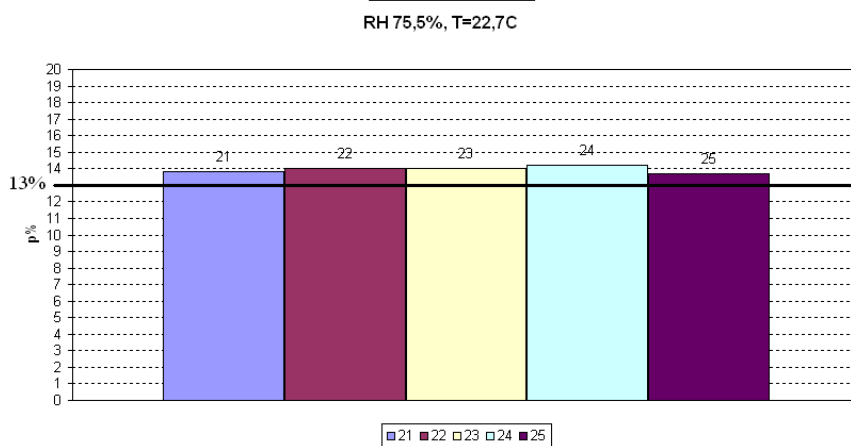
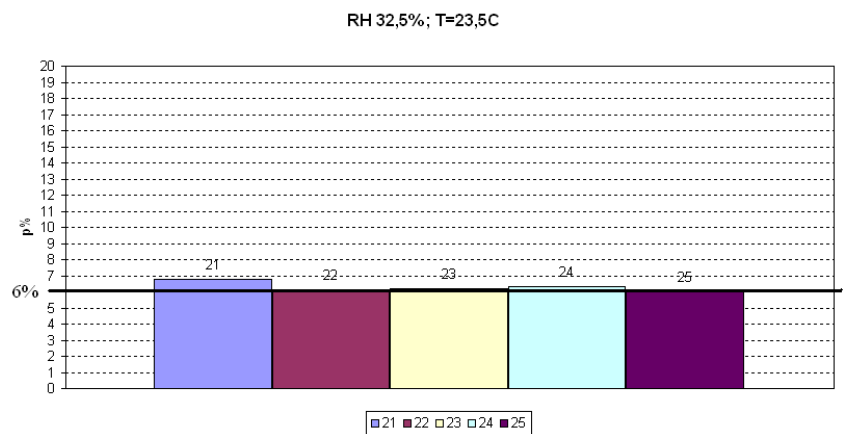
B-talon antureiden kalibroinnin tulokset:

1. sarjan antureiden kalibroinnin tulokset



Liite 5:

G-talon antureiden kalibroinnin tulokset ja tavoitteellinen kosteuspitoisuus painoprosentteina.



Liite 6:

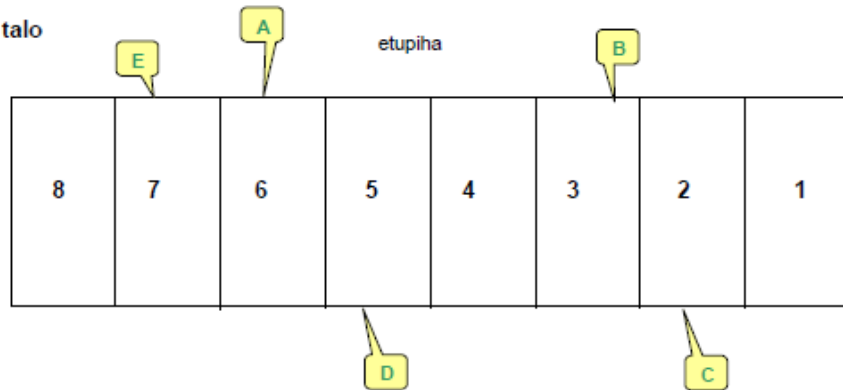
G-talossa elokuussa suoritetun kosteusmittauksen tulokset ja mittauspisteiden sijainnit.



Sivuja:3/4
Työnumero:500237

Piirros/pohjakuva:

G talo



Mittaustulokset:

Käytetyt mittalaitteet: Rakenteen suhteellisen kosteudenmittalaite Vaisala HMI41, Gann UNI-1 piikkimittari.

	Rh (%)	T (°C)	
Ulkoilma:	70	21	

Seinäeriste			Puu			
Mitta piste	Suht. kost. (%)	Lämpötila (°C)	Mitta piste	alajuoksu (p-%)	Mitta piste	pystytolppa
A	56	21	A	>35	A	35
B	57	23	B	20	B	17
C	64	21	C	>35	C	25
D	65	20	D	35	D	19
5			E	>35		


Mittapiste E= yläkerran lattialastulevyn kosteus (levy mustunut pehmeä)

Liite 7:

Oulun Yliopiston geologian laitoksen laboratoriossa seulotun maanäytteen tulokset:

Raekoko:	Seulalle jäi(g):	Seulalle jäi(%):	Läpäisy(%):
64	0	0	100.0
32	176	8.208955224	91.8
16	272	12.68656716	79.1
8	334	15.57835821	63.5
4	240	11.19402985	52.3
2	178	8.302238806	44.0
1	256	11.94029851	32.1
0.5	360	16.79104478	15.3
0.25	232	10.82089552	4.5
0.125	78	3.638059701	0.8
0.063	10	0.46641791	0.4
0	8	0.373134328	0.0

Liite 8: Betonin materiaaliominaisuudet

 Material Name

Material Data | Info | Details

Basic Values

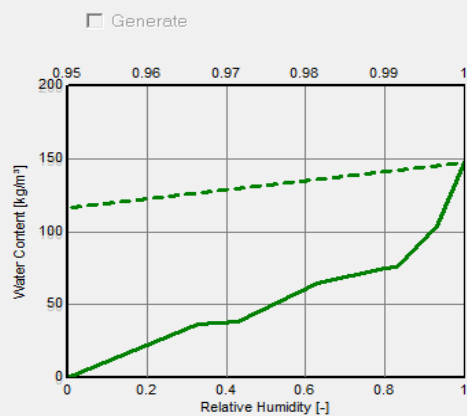
Bulk Density [kg/m ³]	2220
Porosity [m ³ /m ³]	0.18
Spec. Heat Capacity [J/kgK]	850
Thermal Conductivity dry [W/mK]	1.6
Water Vapour Diffusion Resistance Factor dry [-]	248

Additional

Material Color

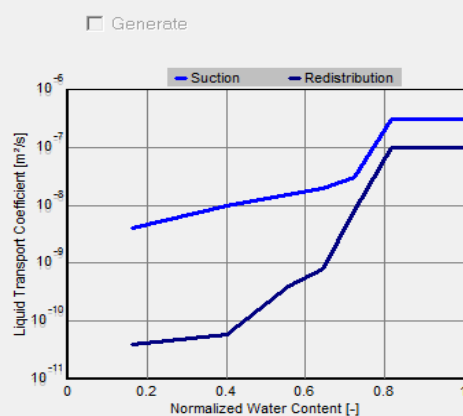
Moisture Storage Function
Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table



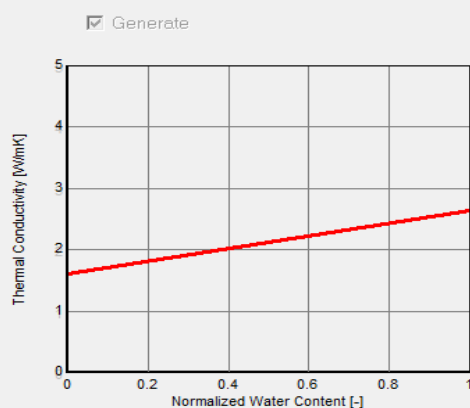
Moisture Storage Function
Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table



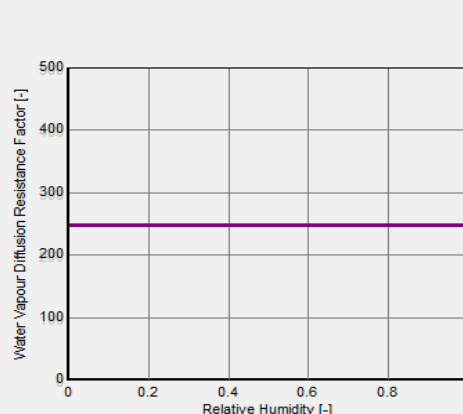
Moisture Storage Function
Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table




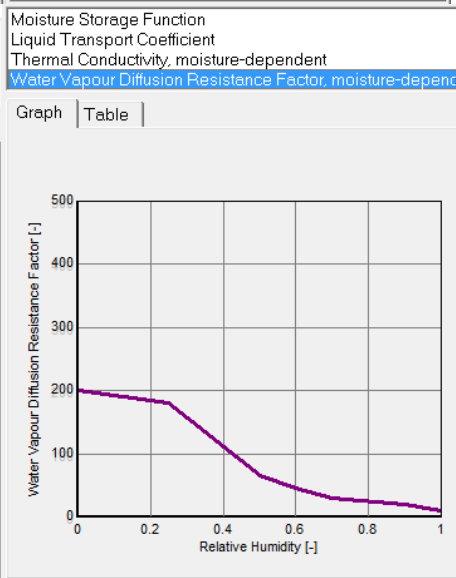
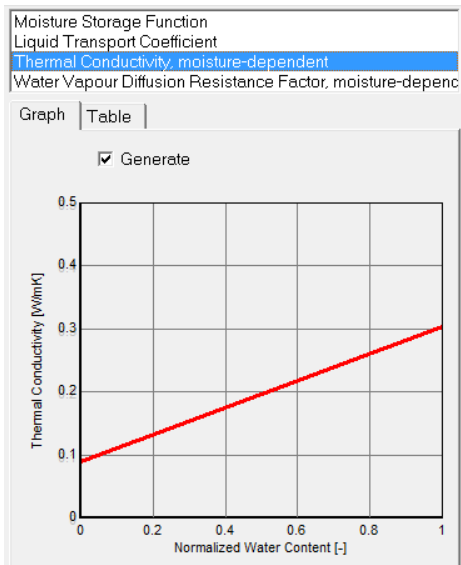
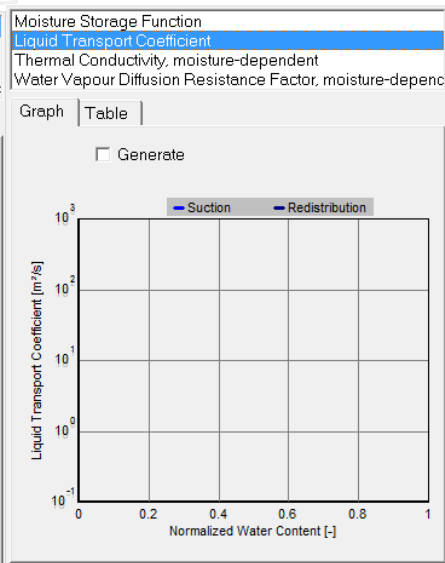
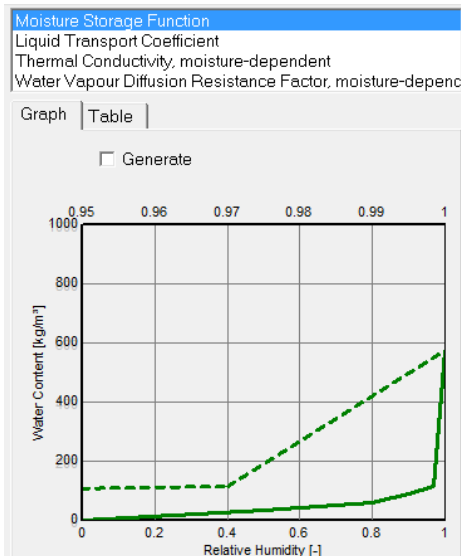
Moisture Storage Function
Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table



Liite 9: Puun materiaaliominaisuudet

Material Data	
Info	Details
Basic Values	
Bulk Density [kg/m ³]	400
Porosity [m ³ /m ³]	0.73
Spec. Heat Capacity [J/kgK]	1500
Thermal Conductivity dry [W/mK]	0.09
Water Vapour Diffusion Resistance Factor dry [-]	200
Generation Parameter	
Thermal Conductivity Supplement [%/M-%]	1.3
Additional	
Material Color	
Typical Built-In Moisture [kg/m ³]	60




Liite 10: Mineraalivillan materiaaliominaisuudet

Material Data | Info | Details

Basic Values

Bulk Density [kg/m ³]	60
Porosity [m ³ /m ³]	0.95
Spec. Heat Capacity [J/kgK]	850
Thermal Conductivity dry [W/mK]	0.04
Water Vapour Diffusion Resistance Factor dry [-]	1.3

Additional

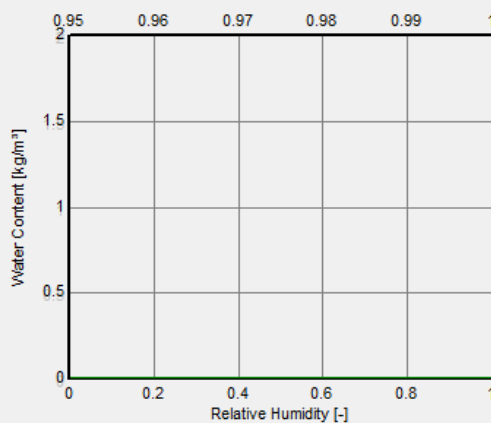
Material Color	
Typical Built-In Moisture [kg/m ³]	

Moisture Storage Function

Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table

Generate

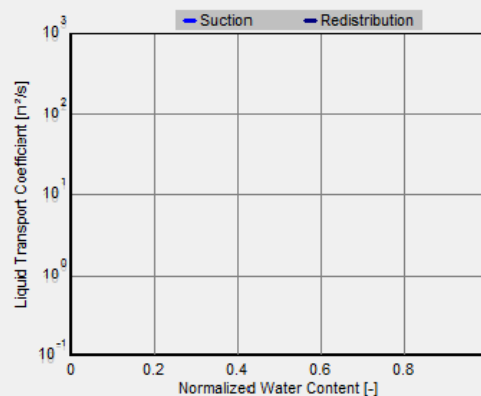


Moisture Storage Function

Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table

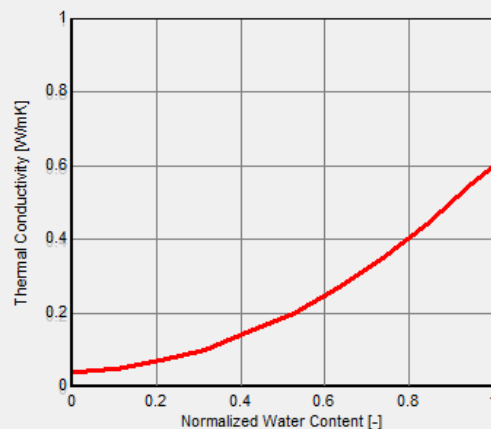
Generate



Moisture Storage Function
Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

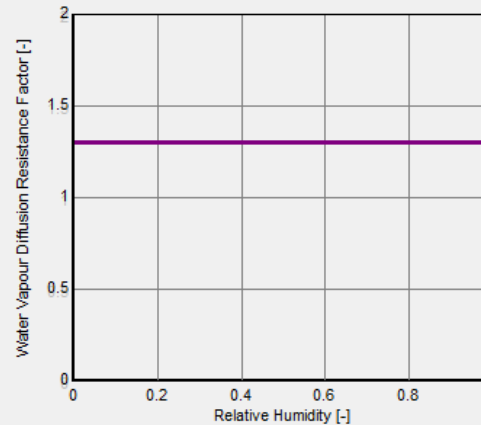
Graph | Table

Generate



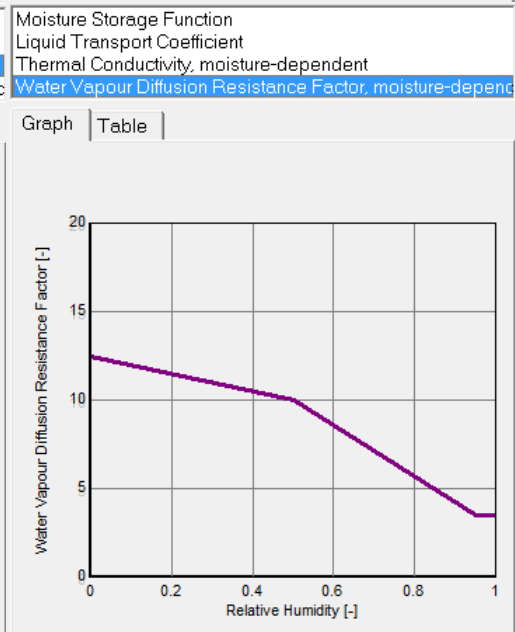
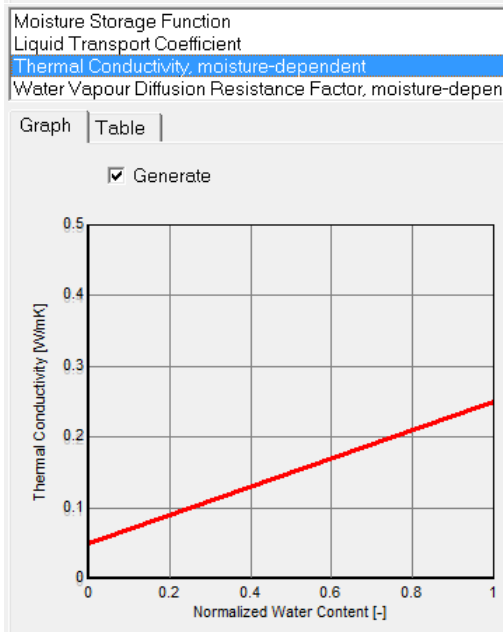
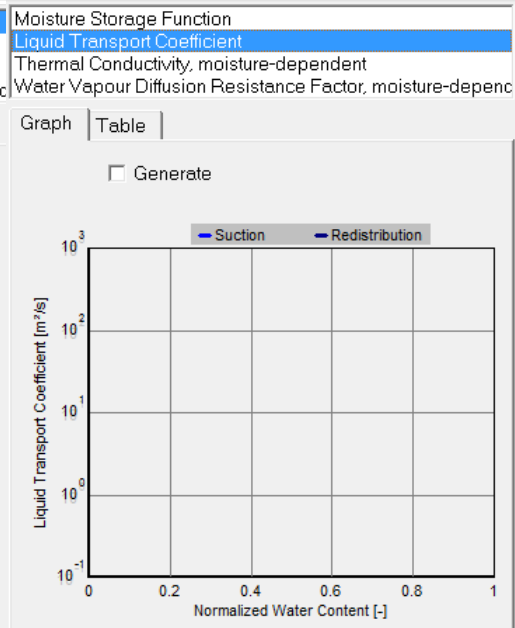
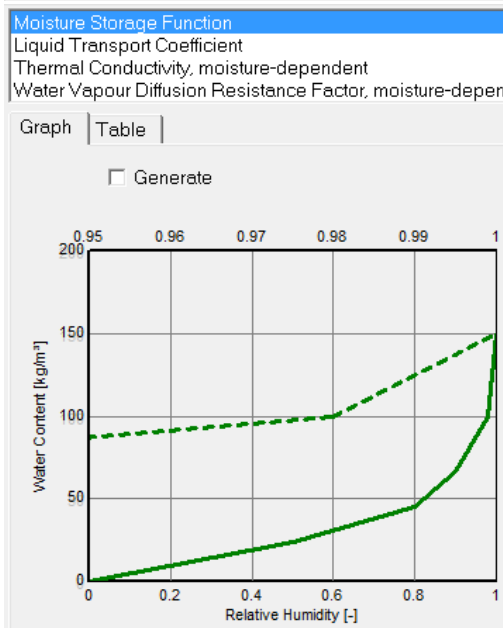
Moisture Storage Function
Liquid Transport Coefficient
Thermal Conductivity, moisture-dependent
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table



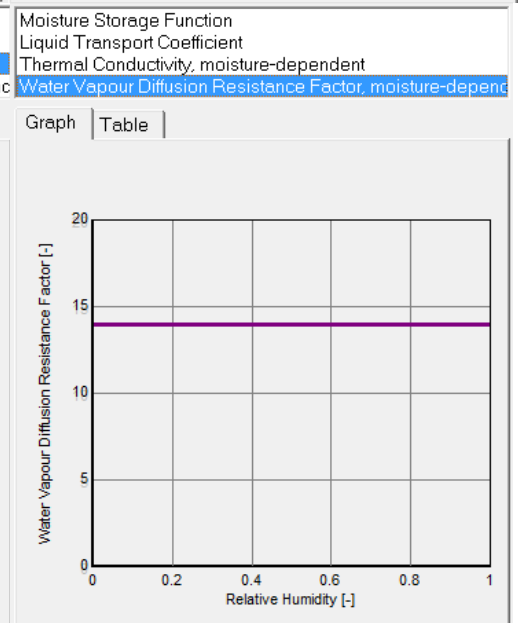
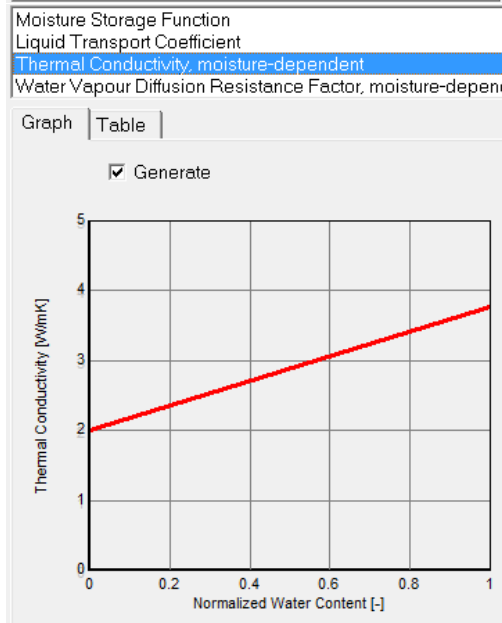
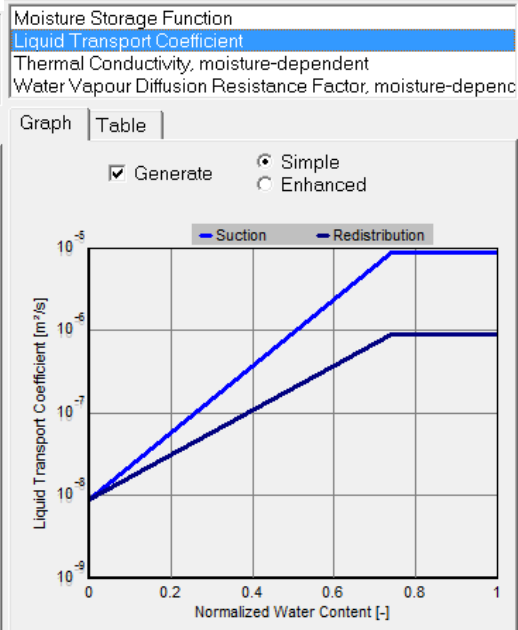
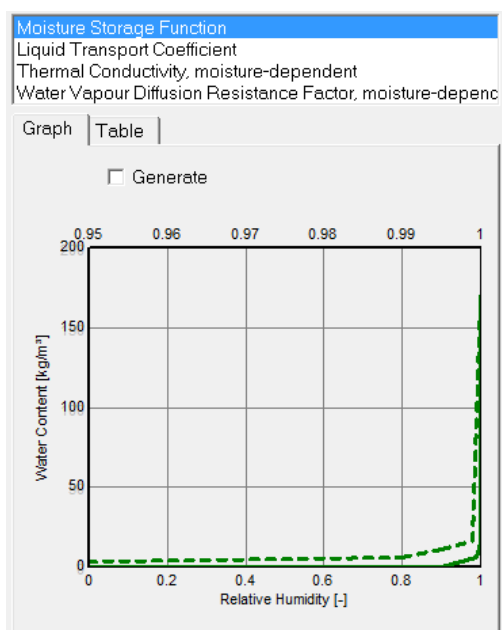
Liite 11: Lastulevyn materiaaliominaisuudet

Basic Values	
Bulk Density [kg/m ³]	300
Porosity [m ³ /m ³]	0.8
Spec. Heat Capacity [J/kgK]	1500
Thermal Conductivity dry [W/mK]	0.05
Water Vapour Diffusion Resistance Factor dry [-]	12.5
Generation Parameter	
Thermal Conductivity Supplement [%/M.-%]	1.5
Additional	
Material Color	
Typical Built-In Moisture [kg/m ³]	1.5



Liite 12: Maan materiaaliominaisuudet

Basic Values	
Bulk Density [kg/m ³]	2080
Porosity [m ³ /m ³]	0.23
Spec. Heat Capacity [J/kgK]	850
Thermal Conductivity dry [W/mK]	2
Water Vapour Diffusion Resistance Factor dry [-]	14
Generation Parameter	
Water Absorption Coefficient [kg/m ² s ^{0.5}]	0.26
Thermal Conductivity Supplement [%/M.-%]	8
Additional	
Material Color	
Typical Built-In Moisture [kg/m ³]	8



Liite 13:

Oulun lämpötilatietoja

Alue ja ympäristö

14

1.4 SÄÄOLOJEN

A ILMANPAINEN JA LÄMPÖTILA

Vuosi	Ilmanpaine merenpinnassa, hPa	Ilman lämpötila °C ¹⁾				Lämpötilan ääriarvot °C			
		klo 8	klo 14	klo 20	Ka	Ylin	Päivä	Alin	Päivä
1996	1 014,0	1,5	4,6	3,0	2,4	24,9	15.08.	-32,0	25.12.
1997	1 010,0	2,0	4,9	3,5	2,8	30,8	10.06.	-25,6	06.01.
1998	1 009,5	1,1	4,0	2,6	2,0	27,0	29.06.	-28,5	17.02.
1999	1 009,4	2,1	4,9	3,4	2,7	31,1	16.07.	-36,6	29.01.
2000	1 008,8	3,5	6,1	4,6	4,2	31,7	29.06.	-25,1	24.12.
2001	1 010,9	1,7	4,6	2,9	2,5	29,3	09.07.	-31,9	30.12.
2002	1 012,1	1,8	4,9	3,1	2,6	29,2	11.07.	-37,2	31.12.
2003	1 011,6	2,4	5,0	3,6	3,1	29,7	31.07.	-35,5	06.01.
2004	1 009,4	2,5	5,1	3,6	3,2	25,7	25.07.	-27,8	10.02.
2005	1 011,1	3,2	6,0	4,3	3,9	28,8	13.06.	-26,6	02.03.
2006	1 011,7	2,6	5,8	4,0	3,4	30,4	13.06.	-29,9	12.01.
2007	1 008,2	2,9	5,5	3,9	3,5	28,6	08.08.	-32,2	08.02.
2008	1 009,1	3,2	5,6	4,4	3,8	27,1	03.07.	-21,2	08.03.
2009	1 011,8	2,3	5,0	3,2	2,9	26,0	26., 27.06.	-26,9	17.02.
2010	1 012,5	0,6	3,5	1,6	1,3	33,0	29.07.	-33,3	08.01.
2011	1 009,5	3,6	6,6	4,4	4,0	31,6	10.6.	-34,3	16.2.
2011									
Tammikuu	1 007,6	-9,8	-8,8	-9,4	-9,4	3,7	28.1.	-26,8	15.1.
Helmikuu	1 018,0	-18,0	-12,8	-16,3	-16,3	1,0	27.2.	-34,3	16.2.
Maaliskuu	1 008,2	-5,9	-0,4	-4,0	-4,0	6,6	21.3.	-19,4	30.3.
Huhtikuu	1 011,3	2,6	6,4	2,5	3,0	16,4	25.4.	-9,4	1.4.
Toukokuu	1 014,7	8,9	12,0	9,6	8,6	22,6	31.5.	-3,1	1.5.
Kesäkuu	1 011,9	15,9	19,2	17,1	15,8	31,6	10.6.	2,2	6.6.
Heinäkuu	1 012,5	18,6	21,4	19,2	18,2	30,2	9.7.	10,0	16.7.
Elokuu	1 012,3	14,3	17,9	14,5	14,5	26,2	28.8.	3,7	13.8.
Syyskuu	1 006,6	9,9	13,9	10,6	11,0	21,6	6.9.	0,4	19.9.
Lokakuu	1 006,8	4,0	6,9	5,0	5,2	12,7	1.10.	-3,5	14.10.
Marraskuu	1 012,1	1,2	2,5	2,1	1,8	10,1	2.11.	-10,8	20.11.
Joulukuu	992,6	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3	4,5	2.12.	-7,8	12.12.

Mittauspaikka: Oulun lentoasema, vuodesta 2011 Oulunsalo Pellonpää.

Lämpötilan vuosikeskiarvo on 3,1 astetta.
 Vuoden maksimi lämpötila on 31,1 astetta.
 Vuoden minimi lämpötila on -36,6 astetta.

Liite 14:
Oulun kosteus- ja sadetietoja

Alue ja ympäristö

15

B KOSTEUS JA SADEMÄÄRÄ

Vuosi	Ilman suhteell. kost.-%	Sademäärä, mm			Sadepäivät (sadetta $\geq 0,1$ mm)
		Yht.	Suurin	Päivä	
1996	74	342,1	14,3	13.07.	174
1997	79	427,2	25,5	28.07.	181
1998	80	535,1	26,5	26.07.	192
1999	78	499,6	30,3	16.07.	192
2000	81	617,8	28,0	04.07.	189
2001	79	479,1	14,3	14.07.	163
2002	79	428,7	24,6	28.08.	136
2003	79	381,9	29,3	08.10.	156
2004	81	632,6	48,0	06.07.	184
2005	81	480,9	21,2	19.07.	139
2006	80	442,3	27,4	17.11.	149
2007	83	633,9	24,1	16.05.	182
2008	84	612,8	24,4	19.08.	182
2009*	82	476,0	18,3	29.08.	171
2010	82	529,5	28,2	13.07.	155
2011	82	645,9	62,4	12.07.	157
2011					
Tammikuu	90	42,6	7,6	16.1.	19
Helmikuu	82	16,0	5,5	3.2.	7
Maaliskuu	75	27,5	8,1	10.3.	8
Huhtikuu	77	11,8	3,6	6.4.	8
Toukokuu	65	36,7	9,0	16.5.	12
Kesäkuu	69	77,8	17,9	20.6.	12
Heinäkuu	77	145,1	62,4	12.7.	12
Elokuu	83	72,3	13,8	8.8.	15
Syyskuu	88	66,2	17,8	27.9.	13
Lokakuu	91	55,7	18,1	7.10.	13
Marraskuu	94	30,2	10,4	25.11.	14
Joulukuu	96	64,0	7,7	23.12.	24

Mittauspaikka: Ruukki (Revonlahti)

*Mittauspaikka: Oulunsalo Pellonpää (2009 -)

Sademäärän vuosikeskiarvo on 510mm/a.

Suhteellisen kosteuspitoisuuden maksimi on 96% ja minimi on 65%.

Suhteellisen kosteuspitoisuuden vuosi keskiarvo on 81%.

Liite 15:
Luulajan säätietoja.

