



Suvi Lausmaa

**PUURAKENTEISEN RAKENNUKSEN KYLMÄSILTATARKASTE-
LU 2D**

**PUURAKENTEISEN RAKENNUKSEN KYLMÄSILTATARKASTE-
LU 2D**

Suvi Lausmaa
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Talo- ja korjausrakentaminen

Tekijä: Suvi Lausmaa

Opinnäytetyön nimi: Puurakenteisen rakennuksen kylmäsilta tarkastelu 2D

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012

Sivumäärä: 42 + 25 liitettä

Rakentamismääräyksien vaatimukset ovat tiukentuneet vuosien kuluessa ja kylmäsiltojen tarkastelut ovat tulleet ajankohtaisimmiksi. Tämän insinöörityön tavoitteena oli määrittää Oulun Metsokankaalle tulevan rivitaloyhtiön rakennuksen ulkoseinän ja välipohjan sekä ulkoseinän ja yläpohjan rakennusfysikaaliset riskit liittymäkohdissa. Työn tarkoituksena oli tehdä homeriskitarkastelu vuoden ajalta ja tutkia, muodostuuko rakenteeseen kastepiste eli tapahtuuko kondensoitumista.

Työ toteutettiin Comsol Multiphysics 4.0a -ohjelmalla, jolla mallinnettiin nurkka-liitoskohdat tutkittavista rakenteista. Rakennusfysikaalisessa tarkastelussa käytettiin apuna myös muita tietokoneohjelmia, kuten AutoCAD- ja Doflämpö-ohjelmaa. Laskut suoritettiin pääosin Excel-ohjelmalla.

Yläpohjan U-arvoksi saatiin tulos 0,085 W/m²K, joka täyttää matalaenergiarakentamisen vaatimukset. Ulkoseinän U-arvon tulokseksi saatiin 0,181 W/m²K. Tilaajan laskujen mukaan rakenne täyttää vaatimukset. Homeriskitarkastelun perusteella voidaan todeta, että ulkoseinässä sekä yläpohjan ja ulkoseinän nurkkaliittymässä ei ole vaaraa homehtumiselle.

Sisäilman suhteellinen kosteus pääsee rakenteeseen, jos höyrynsulkuun on vahingossa tullut reikiä. Tässä tapauksessa muutamissa tutkituissa kohdissa vesihöyry tiivistyy vedeksi ja kondensoituu männyn pintapuuhun. Kastepisteeksi saatiin 6 °C. Jos höyrynsulkuun ei tule vahingossa reikiä joko rakennusvaiheessa tai sen jälkeen, silloin rakenteet toimivat asianmukaisesti eikä rakenne pääse kondensoitumaan.

Asiasanat:

COMSOL Multiphysics, lämpö, homeriskitarkastelu, rakennusfysiikka

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building and Renovation

Author: Suvi Lausmaa

Title of thesis: Cold Thermal Bridge Examination of Wooden Structure Building in 2D

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2012

Pages: 42 + 25 appendices

Building regulations requirements have tightened over the years and examination of cold thermal bridges have emerged. The purpose of this thesis was to define the building physical risks in intersections of external walls and intermediate floors as well as in intersections of external walls and roof slabs in a row house housing company of Oulu Metsokangas. The aim of this thesis was to make a mould risk analysis for one year and explore if a dew point will form in the structure, i.e. if condensation occurs.

The structure was analyzed by using COMSOL Multiphysics 4.0a program, which was modeled to examine the structures in the intersections. Also other computer programs, such as AutoCAD and Doflämpö were used in the building physical analyses. The calculations were accomplished mainly with Excel program.

The U-value of the roof slab got a result of 0,085 W/m²K, which meets the low energy building requirements. The U-value of the external wall got a result of 0,181 W/m²K. According to the client's calculations, the structure meets the requirements. According to the mould risk analysis, it can be said that there is no danger to get mould in the external wall or in the corner extension of the roof slab and external wall.

Relative humidity of indoor reaches the structure if the vapor barrier is punctured. In this occasion, water vapor condenses into water in few exam points and attaches to the wooden structure. The result of dew point was 6 °C. If no holes appear by accident in the vapor barrier either during the building stage or after that, the structures will function correctly and there will not be any condensation in the structures.

Keywords:

COMSOL Multiphysics, heat, mould risk analysis, building physics

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	10
2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN RAKENTEESSA	11
2.1 Lämmön siirtymismuodot	11
2.1.1 Lämmönläpäisykertoimen laskenta	12
2.1.2 Tasapaksut ja tasa-aineiset ainekerrokset (homogeeniset)	12
2.1.3 Epätasa-aineiset ainekerrokset (epähomogeeniset)	13
2.1.4 Lämmönvastus	14
2.2 Kylmäsilta	15
2.3 COMSOL Multiphysics 4.0a	16
3 KOSTEUDEN TIIVISTYMINEN	17
3.1 Kondensoituminen	17
3.2 Diffuusion kondenssi	18
3.3 Konvektion kondenssi	21
4 HOMERISKITARKASTELU	22
4.1 Mikrobit ja sienet	22
4.2 Puu rakennusmateriaalina	22
4.2.1 Puun kosteus ja vaurion aiheuttajat	23
4.2.2 Puun suojaus	24
4.3 Homehtumisriski	24
5 AS OY HERRALANTIE 1:N TUTKITTAVAT RAKENTEET	27
6 TUTKITTAVIEN RAKENTEIDEN LASKENTA	31
6.1 U-arvo ja lämpötilajakauma	31
6.2 Homeriskitarkastelu	33
6.3 Kondenssitarkastelu	35
7 TUTKITTAVIEN RAKENTEIDEN TULOKSET	37
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	38
LÄHTEET	40

KÄSITTEET

Jatkuvuustila	Jatkuvuustilassa (stationääritilassa) olevasta rakenteesta poistuu ja sinne tuodaan vakiomäärä ainetta ja lämpöenergiaa samassa ajassa. Eri aineiden pitoisuudet ja lämpötilat ovat saavuttaneet jatkuvuustilassa tasapainotilan eivätkä muutu ajan kuluessa. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 8.)
Kastepiste (°C)	Kastepisteeksi kutsutaan lämpötilaa, jossa ilmassa oleva vesihöyry muuttuu vedeksi eli kondensoituu (Siikanen 1996, 55).
Kylmäsilta	Rakennusosassa oleva rakenneososa, joka on verrattuna viereisiin aineisiin tehty hyvin lämpöä johtavasta aineesta. Lämpötilaeron vaikutuksesta rakenneosan kohdalla rakennusosan pintojen läpi kulkevan lämpövirran tiheys on jatkuvuustilassa viereiseen alueeseen verrattuna suurempi. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 8; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)
Lämmöneriste	Lämmöneriste on rakennustarvike tai aine, jota käytetään lämmöneristystarkoitukseen joko pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 8; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)
Lämmöneristys	Lämmöneristys on rakennusosaan tehty eristekokonaisuus joko yhdestä tai useammasta lämmöneristeestä. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 8; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)
Lämmönjohtavuus (λ)	Lämmönjohtavuus ilmoittaa jatkuvuustilassa lämpövirran tiheyden pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ai-

nekerroksen läpi lämpötilaeron ollessa yksikön suuruisen ainekerroksen pintojen välillä. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 9; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)

Lämmönläpäisykerroin Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka läpäisee pintayksikön suuruisen rakennusosan jatkuvuustilassa lämpötilaeron ollessa rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä yksikön suuruisen. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 10; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)

Lämmönvastus Ainekerroksen lämmönvastus ilmoittaa jatkuvuustilassa tasapaksun ainekerroksen eri puolilla ja eri lämpötiloissa olevien ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen ja isotermisten pintojen lämpötilaeron. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 9; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)

Pistemäinen kylmäsilta Kylmäsilta, joka on rakenteessa paikallinen ja jolla ei ole jatkuvaa samanlaisena pysyvää poikkileikkausta rakenteen pinnan suunnassa. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 8; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)

Rakennusosa Rakennusosa on merkittävä osa rakennuksessa, esimerkiksi lattia tai katto. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 8.)

R_{si} ja R_{se} pintavastus Pintavastus ilmoittaa sisä- tai ulkopuolisen ilmatilan ja rakennusosan pinnan välisen rajakerroksen lämmönvastuksen. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 10.)

Viivamainen kylmäsilta Viivamaisen kylmäsilan poikkileikkaus on rakenteen pinnan suuntaan jatkuvana vastaavanlainen. (Lämpö. Rakennusfysiikka rakennusinsinöörille. 2004, 8; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 3.)

1 JOHDANTO

Rakentamismääräyksien vaatimukset ovat tiukentuneet vuosien mittaan. Rakentamismääräyskokoelman päivitettyt osat C3, D3 ja D2 tulivat voimaan vuoden 2010 alussa. Suomi siirtyi matalaenergiarakentamiseen uusien määräysten tullessa voimaan. Rakentamismääräykset ovat 30 % edellisiä tiukemmat. Rakennuksen lämmöneristystä koskevat määräykset asetetaan rakentamismääräyskokoelman osassa C3. Rakentamismääräyskokoelman osa C4 päivitetään vuoden 2012 aikana, ja tähän mennessä siitä on tullut vasta luonnosversio. Vuoteen 2012 mennessä määräyksiä on kiristetty jo 20 % edellisestä. Rakennusfysikaaliset tarkastelut ovat myös lisääntyneet. (Rakennuksen energia- tehokkuusdirektiivi. 2011; Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. 2012.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelman avulla puurakenteisen rivitaloyhtiön rakennuksen ulkoseinän ja välipohjan sekä ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohtia ja selvittää rakennusfysikaaliset riskit. Opinnäytetyössä tehdään ulkoseinälle homeriskitarkastelu vuoden ajalta. Tarkastelu tehdään Excel-ohjelmalla ja Doflämpö-ohjelmaa apuna käyttäen. COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmalla mallinnetaan ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdan lämpötilajakauma ja tehdään homeriskitarkastelu sen avulla rakenteeseen. Lisäksi tutkitaan, muodostuuko rakenteeseen kastepiste ja kondensoituuko se mäntypuun pinnalle. Lopuksi selvitetään, pääseekö rakenteisiin tiivistymään kosteutta.

Työ rajataan käsittelemään ulkoseinän ja välipohjan sekä ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohtia. Useimmiten rakenteiden nurkkaliitoskohdissa esiintyy vuotoja. COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmalla mallinnetaan ulkoseinän ja välipohjan sekä yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohtien lämpötilajakaumat vain stationääritilassa. Työssä tarkastellaan lämmön siirtymistä rakenteissa.

Työ tehdään suunnittelu- ja konsultointitoimisto Keijo Veikkola Ky:lle, joka on perustettu vuonna 1985. Suunnittelutoimiston toimialaan kuuluvat pääasiassa arkkitehti- ja rakennesuunnittelu, mutta myös jonkin verran valvonta- sekä muita rakennusalan konsultointitehtäviä.

2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN RAKENTEESSA

Lämpö voi siirtyä rakenteessa kolmella eri tavalla: johtumalla, konvektion avulla tai säteilemällä. Yleensä lämmön siirtymismuodot esiintyvät yhtä aikaa. Lämmön siirtyminen rakennusosan tai rakenteen läpi aiheutuu siitä, että lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 12; Suvanto 2003, 449 - 450.)

2.1 Lämmön siirtymismuodot

Johtumisessa tapahtuu lämmön virtaamista, kun molekyylien liike-energiaa siirtyy molekyylita toiseen. Lämmön johtuminen voidaan ajatella siten, että aineen rakenneosien välisissä törmäyksissä siirtyy energiaa. Lämpö virtaa lämpimästä kylmempään päin pyrkien tasoittumaan väliaineessa. Kiinteissä aineissa ja nesteissä esiintyy lämmön johtumista. (Siikanen 1996, 37; Suvanto 2003, 450; Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 12.)

Nesteen tai kaasun virtauksen mukana siirtyy lämpöä. Konvektio voi olla luonnollista tai pakotettua. Luonnollisessa konvektiossa neste tai kaasu liikkuu lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista, kun taas pakotetussa konvektiossa jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Harvoin rakenteissa esiintyy puhtaasti luonnollista konvektiota. Yleensä rakenteissa on molempien yhdistelmiä. Ilmanvaihdon puhaltimet ja ihmisten liikkeet aiheuttavat sisätiloissa pakotettuja virtauksia. Tuuli aiheuttaa pakotettua konvektiota ulkona. Vapaata konvektiota on rakennuksen sisäilmassa, mikä aiheutuu ilmassa vallitsevista lämpötilaeroista. (Björkholtz 1997, 13; Suvanto 2003, 450.)

Säteilyssä eli emissiossa energia siirtyy valon nopeudella sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Rakennustekniikassa säteilylämpö ilmenee pitkäaaltoisena kappaleiden säteilemänä lämpönä ja lyhytaaltoisena auringonsäteilynä. Kaikki kappaleet lähettävät eli emittoivat säteilyä, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella. Lämpösäteilyä emittoi eniten musta kappale. Säteilyn osuessa johonkin pintaan se osittain absorboituu, osittain heijastuu. Läpäisevissä pinnoissa osa säteilystä menee pinnan läpi, esimerkiksi lasissa. (Siikanen 1996, 37; Björkholtz 1997, 13.)

2.1.1 Lämmönläpäisykerroimen laskenta

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo määritellään seuraavasti: U-arvo ilmoittaa lämpövirran, joka jatkuvuustilassa läpäisee sekunnissa (s) neliömetrin (m²) suuruisen rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen. Lämmönläpäisykerroimella eli U-arvolla kuvataan eri materiaalien lämmöneristyskykyä. Materiaalin lämmöneristyskyky on parempi, kun U-arvo on mahdollisimman pieni. (Siikanen 1996, 41; Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 10; Hahtokari 2010, 6.)

Rakennusaineille tehtyjä normaalisen lämmönjohtavuuden (λ_n) arvoja käytetään, kun lasketaan rakennusosan lämmönläpäisykerrointa. U-arvon laskenta on esitetty luvussa 6 ja liitteessä 1. (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 15.)

U-arvo lasketaan kaavalla 1 (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 15).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{KAAVA 1}$$

R_T = kokonaislämmönvastus

2.1.2 Tasapaksut ja tasa-aineiset ainekerrokset (homogeeniset)

Jos rakenteeseen virtaa lämpöä ainekerrokseen nähden kohtisuorassa ja rakenteen ainekerrokset ovat tasa-aineisia eli homogeenisia, niin siinä tapauksessa rakennusosan lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavoilla 2 ja 3 (Siikanen 1996, 41; Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 15).

Kokonaislämmönvastus lasketaan kaavalla 2 (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 15 - 16).

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_n + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + R_{qn} + R_{se} \quad \text{KAAVA 2}$$

R_{si} = sisäpuolinen pintavastus

R_g = ilmakerroksen lämmönvastus rakennusosassa

R_b = maan lämmönvastus

R_{q1}, R_{q2}, R_{qn} = ohuen ainekerroksen 1, 2, n lämmönvastus

R_{se} = ulkopuolinen pintavastus

R_1, R_2, R_n = tasa-aineisen ainekerroksen 1, 2, n lämmönvastus, joka lasketaan kaavalla 3 (Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 16).

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_{ni}} \quad \text{KAAVA 3}$$

missä

d_1, d_2, d_n = ainekerroksen 1, 2, n paksuus millimetreinä

$\lambda_{n1}, \lambda_{n2}, \lambda_{ni}$ = ainekerroksen 1, 2, n normaaliin lämmönjohtavuus

2.1.3 Epätasa-aineiset ainekerrokset (epähomogeeniset)

Rakennusosa on epätasa-aineinen, kun siinä on pintojen suuntaisia ainekerroksia rinnakkain. Rakennusosan ainekerroksien lämmönvastukset poikkeavat toisistaan. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 5; Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 17.)

Epähomogeenisen ainekerroksen j lämmönvastus R_j lasketaan kaavan 4 avulla (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 5).

$$1/R_j = f_a/R_{aj} + f_b/R_{bj} + f_n/R_{nj} \quad \text{KAAVA 4}$$

f_a, f_b, f_n = epähomogeenisessa ainekerroksessa j olevan tasa-aineisen osan alueen a, b, n suhteellinen osuus ainekerroksen kokonaispinta-alasta

R_{aj}, R_{bj}, R_{nj} = epähomogeenisessa kerroksessa j olevan tasa-aineisen osan alueen a, b, n lämmönvastus, joka lasketaan kaavalla 5 (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 5).

$$R_{ja} = \frac{d_j}{\lambda_{aj}}, R_{jb} = \frac{d_j}{\lambda_{bj}}, R_{jn} = \frac{d_j}{\lambda_{nj}} \quad \text{KAAVA 5}$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ ainekerroksen 1, 2, n normaalin lämmönjohtavuus

Epähomogeenisen ainekerroksen f_a lasketaan kaavalla 6.

$$f_a = \frac{A_{puu}}{A_{koko\ pinta-ala}} \quad \text{KAAVA 6}$$

Jos vierekkäisten rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot epätasa-aineisessa ainekerroksessa poikkeavat toisistaan enemmän kuin viisinkertaisesti, niin silloin kaava 6 ei sovellu käyttöön. Siinä tapauksessa suuremman lämmönjohtavuuden osa-alue ja aine käsitellään kylmäsiltaan. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 5.)

2.1.4 Lämmönvastus

U-arvo laskennassa käytetään sisä- ja ulkopuolisia pintavastuksia. Pintavastuksina käytetään taulukossa 1 esitettyjä arvoja, jos rakennusosa rajoittuu ulko- tai sisäilmaan. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 16.)

TAULUKKO 1. Ulko- ja sisäilmaan rajoittuvien rakennusosien pintavastuksia (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 16)

TAULUKKO 2. SISÄ- JA ULKOPUOLINEN PINTAVASTUS R_{si} JA R_{se}

Sisäpuolinen pintavastus R_{si} , ($m^2 \cdot K$)/W			Ulkopuolinen pintavastus R_{se} , ($m^2 \cdot K$)/W		
Lämpövirran suunta					
vaakasuora	ylöspäin	alaspäin	vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Väliarvot 0°–90° saadaan lineaarisesti interpoloimalla.

Tuulettumattomaan ilmakerrokseen ei johda ulkopuolelta ilmavirtausaukkoa, koska se on suljettu ilmaväli rakennusosassa. Taulukossa 2 esitettyjä arvoja käytetään tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksena. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 16.)

TAULUKKO 2. Tuulettumattomien ilmakerrosten lämmönvastuksia (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 16)

TAULUKKO 3. TUULETTUMATTOMAN ILMAKERROKSEN LÄMMÖNVASTUS R_g

Rajoittavien pintojen emissiviteetti	Ilmaraon paksuus d_g mm	Lämmönvastus R_g , (m ² · K)/W		
		Lämpövirran suunta		
		vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
yleinen tapaus: ei heijastavia pintoja $\epsilon > 0,8$	5	0,11	0,11	0,11
	10	0,15	0,15	0,15
	20	0,17	0,16	0,18
	50–100	0,18	0,16	0,21
toinen pinta heijastava $\epsilon < 0,2$	5	0,17	0,17	0,17
	10	0,27	0,23	0,29
	20	0,36	0,25	0,43
	50–100	0,34	0,27	0,61

Rakennusosassa olevaa ilmapäliä kutsutaan tuulettuvaksi ilmakerrokseksi, jonka kautta siirtyy tuulettava ilmavirtaus rakennusosan reunalta toiselle. Ilmapäliin johtavien aukkojen suuruudesta riippuu, onko tuulettuva ilmakerros lievästi tuulettuva tai hyvin tuulettuva. (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 16 - 17.)

2.2 Kylmäsilta

Kylmäsilalla tarkoitetaan lämpöä eristävässä rakenteessa sellaista kohtaa, jossa materiaalin lämmöneristyskyky on huomattavasti huonompi kuin ympäröivän rakenteen lämmöneristyskyky. Rakenteen läpi pääsee ylimääräistä hukkalämpöä kylmäsilasta johtuen. Kylmäsillassa lämpöä siirtyy lämpimästä kylmään hieman enemmän kuin ympärillä olevan materiaalin läpi. Kylmäsilta vaikuttaa monilla eri tavoilla rakenteeseen. Kylmään pintaan tarttuu lika paremmin kuin lämpimään. Julkisivuissa kylmäsilta näkyy likapaikkana. (Siikanen 1996, 38; Hahtokari 2010, 12.)

Rakenteelle ominaiset ja siinä olevat säännöllisesti toistuvat kylmäsilat otetaan huomioon U-arvossa, kun todetaan lämmönläpäisykertoimen vaatimuksen mukaisuus. Tämä koskee muun muassa kannaksia, siteitä sekä tuki- ja runkorakenteita, jotka ovat tyypillisiä rakenteelle koko sen käsittävällä vaipan alueella. Rakennuksen vaippaan eri syistä tehtäviä satunnaisia kylmäsiltoja ei tarvitse

ottaa huomioon laskettaessa U-arvo. Yksittäisen kylmäsilan voi muodostaa alatai välipohjan ja ulkoseinän liittymä, alapohjan puhkaiseva pilari, parvekkeen kannatus, rakenteeseen asennettu talotekniikan komponentti sekä muu rakennukseen erikseen suunniteltu ja toteutettu yksilöllinen rakennusratkaisu. (Hahtokari 2010, 12; Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 23.)

Kylmäsilan kohdalla seinän sisäpuolen pintalämpötila voi laskea paikallisesti. Se saattaa aiheuttaa seinämän sisäpinnassa tai rakenteen sisällä kosteuden tiivistymistä eli kondensaatiota. Rakenteet on suunniteltava siten, ettei lämpötila laske kylmäsilan kohdalla ja ettei kosteushaittoja esiinny. Lisäksi tulee saavuttaa Suomen rakentamismääräyskokoelma D2:n mukaiset pintalämpötila olosuhteet. (Hahtokari 2010, 12 - 13; Siikanen 1996, 38; Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003, 5.)

2.3 COMSOL Multiphysics 4.0a

COMSOL Multiphysics 4.0a on fysikaalinen mallinnusohjelma, jota käytetään apuna ratkaistaessa helppoja sekä vaikeita ongelmia monella eri asiantuntija alalla. Ohjelma mallintaa rakenteen matemaattisen kaavan avulla. Ohjelma käyttää elementtien mallintamisessa FEM:a (Finite Element Method) ja FEA:a (Finite Element Analysis). FEM mallintamisessa yhtälöt kootaan matriisi muotoon ja ne ratkaistaan numeerisesti. Tämä prosessi riippuu mallin elementin tyypeistä ja siitä, mitä reunaehtoja sille on asetettu. (Fedorik 2012, 2, 3, 8.)

FEA:ssa on kolme erilaista vaihetta, jotka ovat alkukäsittely, ratkaisu ja jälkikäsittely. Alkukäsittelyssä ohjelmalla voidaan ratkaista lämpöyhtälön avulla lämmön siirtyminen kiinteissä aineissa. Ratkaisuvaiheessa ohjelma päättelee mallista hallitsevat matriisiyhtälöt ja ratkaisee suureet, jotka ovat ensisijaisia. Jälkikäsittelyssä tarkistetaan ratkaisun kelpoisuus, tutkitaan ensisijaisten suureiden arvot sekä päätellään ja tutkitaan muita suureita. Ohjelmalla voidaan piirtää geometriat tai lisätä AutoCAD-ohjelmalla tehtyjä rakenteita. (Fedorik 2012, 9, 11.)

3 KOSTEUDEN TIIVISTYMINEN

Kosteusriskien tunnistaminen on perustana kosteusteknisesti toimivien rakenteiden suunnittelussa. Lisäksi on tärkeää rajoittaa kosteusriskien vaikutusta. Rakenteiden kosteustekniseen toimintaan saadaan lisävarmuutta vaatimalla rakenteelta myös hyvää kuivumiskykyä. (Kosteus. Rakennusfysiikka rakennusinsinööriille. 2004, 47.)

Rakenteiden lämmöneristyskyky on vuosien kuluessa kokoajan parantunut. Kosteuden tiivistyminen rakenteen sisäpinnalle on vähentynyt. Kosteuden tiivistymiselle rakenteiden sisäpinnoille tärkeitä tekijöitä ovat sisäpinnan- ja rakenteen lämmönvastus, sisäilman kosteuspitoisuus sekä ulkoilman lämpötila. Kaikkiin muihin, paitsi ulkoilman lämpötilaan, voidaan vaikuttaa teknisin toimenpitein. (Björkholtz 1997, 64.)

Pinnalle ei tiivisty kosteutta, kun

$$t_p > t_{kp}$$

t_p = pintalämpötila

t_{kp} = kastepistelämpötila ympäröivässä ilmassa

Kosteus kasaantuu lähelle pintaa, jos se imee kosteutta. Yleensä tiivistymisestä ei ole mitään haittaa, jos se on lyhytaikaista. Pitkäaikaisen ja kokoajan toistuvan tiivistymisen seurauksena voi pintaan syntyä hometta tai muita haittoja. (Björkholtz 1997, 64.)

3.1 Kondensoituminen

Kondensoitumisessa vesihöyry tiivistyy vedeksi. Kun ilman suhteellinen kosteus saavuttaa 100 %, tiivistyminen voi tapahtua rakenteen pinnassa tai sen sisällä. Vesihöyry tiivistyy rakenteen kovalle pinnalle silloin, kun ympäröivä ilma on lämpimämpi kuin rakenteen pinta. Lisäksi vesihöyryn kyllästymiskosteuden pitää ylittyä. Useimmiten kosteuden tiivistymistä aiheuttavat kylmäsillat, höyrysulun väärä sijainti tai puutteellisuus, rakenteen höyrynsulussa olevat reiät

sekä liian kylmä rakenteen sisäpinta, joka rajautuu lämpimään huonetilaan. (Siikanen 1996, 57.)

Diffuusiotiivistä kerrosta eli höyrinsulkua käytetään yleensä rakenteen lämpimällä puolella. Tällä tiiviillä kerroksella estetään oletetut konvektiokosteudesta aiheutuvat kondenssivauriot ja muut ilmanvuodot rakenteen läpi. Rakenteisiin kohdistuvaa kondensoitumisvaaraa ja vesihöyrypainetta vähentää huonetilassa vallitseva alipaine. (Siikanen 1996, 57.)

3.2 Diffuusion kondenssi

Käsilaskennassa jaetaan vuosi kuivumisajanjaksoon ja tiivistymisajanjaksoon. Tiivistyslaskelmista tulee selvittää kosteuden tiivistymismäärä ja kohta tiivistymisajanjaksona. Kuivumisajanjakson aikana on poistuttava vastaava kosteusmäärä tiivistyneestä kohdasta. (Björkholtz 1997, 66.)

Ensimmäinen termi kaavassa 7 kuvaa sisältä rakenteeseen tulevaa ja tiivistyvää kosteutta. Jälkimmäinen termi kuvaa samanaikaisesti tiivistymiskohdasta ulos diffundoituvaa kosteusmäärää. Näiden termien erotus kuvaa seinärakenteeseen jäävää kosteusvirtaa. Laskut on esitetty tarkemmin luvussa 6 ja laskettu liitteessä 2. (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 30.)

$$g_{tiiv} = \frac{p_s - p_B}{Z_B} - \frac{p_A - p_U}{Z_A} \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad \text{KAAVA 7}$$

Kaavoissa 7 ja 9 käytetyt suuret ovat

$P_A = P_B =$ Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä

$P_S =$ Sisäilman vesihöyryn osapaine

$P_U =$ Ulkoilman vesihöyryn osapaine

$Z_B =$ Vesihöyryn vastuksen summa tarkastelupisteestä B sisäänpäin

$Z_A =$ Vesihöyryn vastuksen summa tarkastelupisteestä A ulospäin

Yleensä tiivistyminen tapahtuu kahden eri materiaalin yhtymäkohdassa. Näin yhdistyvät myös A ja B. Rakenteeseen kerääntyneen kosteuden määrä tiivistymisajanjaksona t_{tiiv} lasketaan kaavalla 8. (Björkholtz 1997, 67.)

$$G_{tiiv} = g_{tiiv} \cdot t_{tiiv} \quad (\text{kg/m}^2) \quad \text{KAAVA 8}$$

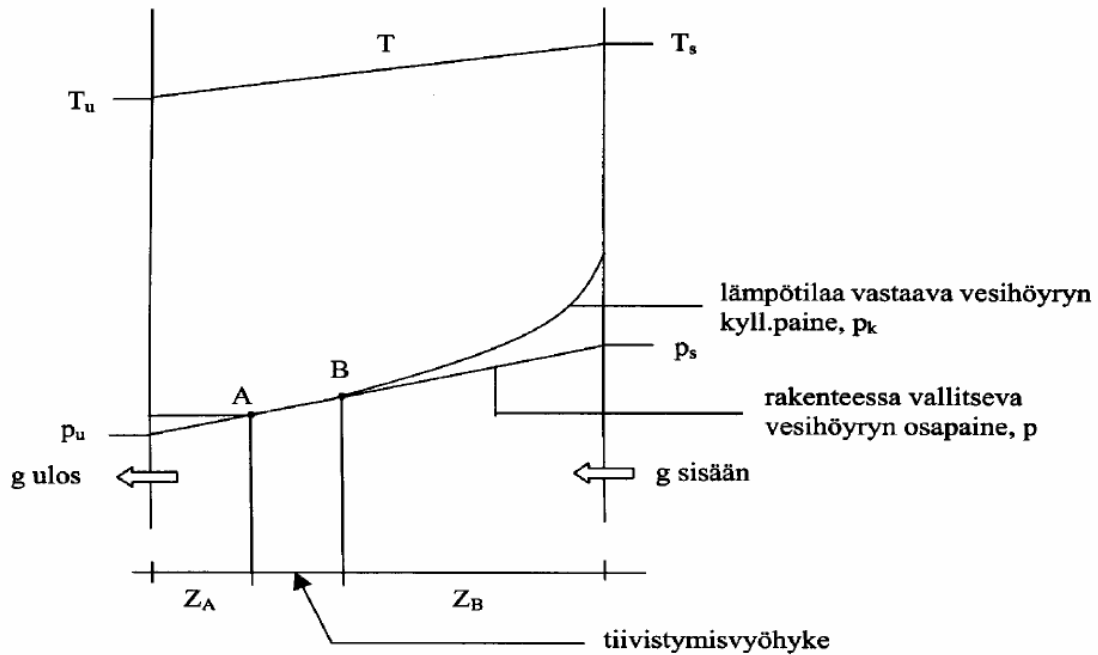
Rakenteessa tapahtuu kuivumista sekä ulos- että sisäänpäin. Aikayksikössä poistuva kosteus lasketaan kaavalla 9. Ensimmäinen termi kuvaa rakenteen kuivumista tiivistymiskohdasta ulospäin ja jälkimmäinen termi kuvaa kuivumista tiivistymiskohdasta sisäänpäin. Laskut löytyvät liitteestä 2. (Björkholtz 1997, 68; Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 30.)

$$g_{kuiv} = \frac{p_A - p_u}{Z_A} - \frac{p_B - p_s}{Z_B} \quad (\text{kg/m}^2\text{s}) \quad \text{KAAVA 9}$$

Rakenteesta poistuneen kosteuden määrä kuivumisajanjaksona t_{kuiv} lasketaan kaavalla 10 (Björkholtz 1997, 67).

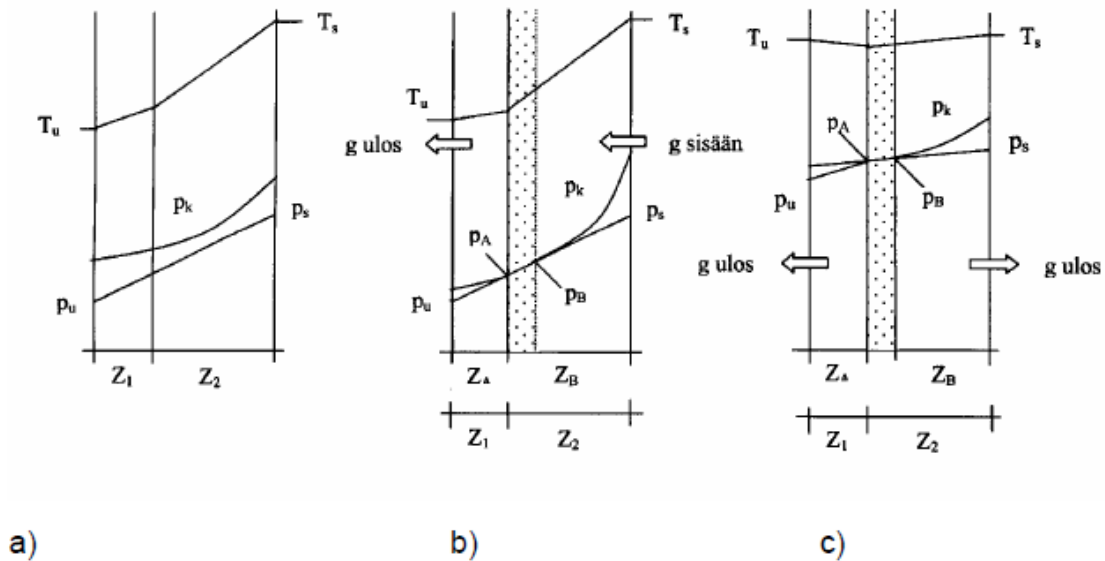
$$G_{kuiv} = g_{kuiv} \cdot t_{kuiv} \quad (\text{kg/m}^2) \quad \text{KAAVA 10}$$

Jos tiivistymistä tapahtuu rakenteen sisällä alueella A – B, aikayksikössä on tiivistynyt vesimäärä (Björkholtz 1997, 67). Kuvassa 1 voidaan nähdä rakenteen tiivistymisvyöhyke A – B ja siihen tiivistyvä vesihöyry.



KUVA 1. Rakenteeseen tiivistyy vesihöyryä (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 30)

Kuvassa 2 kohdassa a tiivistymistä ei voi tapahtua, koska vesihöyryn osapainekäyrän arvo on joka kohdassa seinää pienempi kuin kylläisen vesihöyryn osapainekäyrän arvo vastaavassa kohdassa. Kohdassa b tiivistymistä tapahtuu alueella A - B, kun vesihöyryn osapainekäyrä leikkaa kylläisen vesihöyryn osapainekäyrän. (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 44.) Kohdassa c tapahtuu kosteuden kuivumista sekä ulos- että sisäänpäin, kun alueeseen A - B on kerääntynyt kosteutta nestemuodossa sekä p_u ja p_s ovat pienempiä kuin p_k alueella A - B (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 44; Björkholtz 1997, 68).



KUVA 2. Rakenteeseen poistuneen tai kertyneen kosteuden määrä kuivumis- tai tiivistymisaikana, kuvassa a ei tiivistymistä, b tiivistymistä ja c kuivumista (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 45)

3.3 Konvektion kondenssi

Konvektion avulla kosteuden siirtyminen tapahtuu ensisijaisesti rei'issä ja raoissa. Kondenssi tapahtuu yleensä sisältä ulos kulkevan virtauksen yhteydessä. Tiivistymiskohta on rakenteen ulkopuolella tai sen sisäpuolella. Tiivistymiskohta rakenteen sisäpuolella voi olla tuulensuojalevyn sisäpinnalla. Kattoristikon kylmät osat ja katteen alapinta ovat tiivistymiskohtia ulkopuolella. Ilmanvuodoille alttiita kohtia ovat elementtien väliset saumat ja eri rakennusosien liittymät, kuten yläpohjan ja seinän liittymä kohdat. (Björkholtz 1997, 76.)

4 HOMERISKITARKASTELU

Rakenteille ja rakennuksille kosteus voi aiheuttaa eri olomuodoissaan huomattavasti vaurioita ja ongelmia, jotka heikentävät tai jopa estävät rakennuksen käyttöä. Pahimmillaan kosteusvauriot voivat aiheuttaa terveysriskejä. Useimpien syynä on liiallisen kosteuden aiheuttama homealtistus. Kantavien rakenteiden kantokykyä voivat vaarantaa puurakenteiden lahovauriot, jotka ovat yksi kosteuden aiheuttamista vaurioista. (Kosteus. Rakennusfysiikka rakennusinsinööreille. 2004, 50.)

4.1 Mikrobit ja sienet

Sienet ja bakteerit tarvitsevat elääkseen sopivan lämpötilan, kosteuden, hapen ja orgaanisen aineen. Suotuisien olosuhteiden pitää olla voimassa riittävän pitkän ja jatkuvan ajanjakson ajan, jotta ehtii syntyä vaurioita. Puun erilaiset lahottajasienet ja homesienet kuuluvat mikro-organismeihin. Puu on lahottajasienten ravintoa. (Kosteus. Rakennusfysiikka rakennusinsinööreille. 2004, 50.)

Puun kosteus ja ympäristön lämpötila vaikuttavat puun lahoamisvaaraan. Lahoaminen on mahdollista, kun mikroilmaston tai materiaalien huokosilman kosteus on viikkoja tai kuukausia yli 95 % ja lämpötila on yli + 5 °C. Kosteusolojen ollessa alle RH 90 % lahoa ei kehity. Lahovauriot kehittyvät yleensä silloin, kun puun kosteus on yli 25 - 30 % kuivapainosta eli materiaali on kosketuksissa veden kanssa. (Kosteus. Rakennusfysiikka rakennusinsinööreille. 2004, 50.)

4.2 Puu rakennusmateriaalina

Suomalaisessa rakentamisessa on perinteistä käyttää puuta rakennusaineena, koska Suomi on pinta-alaltaan ja asukasmäärältään katsottuna runsasmetsäinen maa Euroopassa. Mänty ja kuusi ovat yleisimmät Suomessa käytetyt rakennusmateriaalit. Puuta käytetään paljon rakentamisessa, koska sillä on paljon hyviä rakennusfysikaalisia ominaisuuksia, se soveltuu rakennettavaksi kaikkina vuodenaikoina, se on uusiutuva ja se ei saastuta ympäristöään. Puulla on myös joitain epäkohtia, kuten sen suuri kosteuden vaihtelu, anisotrooppisuus, palonarkuus ja lahoaminen kosteissa olosuhteissa. (Siikanen 2001,15.)

4.2.1 Puun kosteus ja vaurion aiheuttajat

Pintapuun kosteus tuoreena on 90 – 200 % ja sydänpuun 30 – 50 %. Ennen kuin puuta voidaan käyttää rakentamisessa, sen kosteuspitoisuutta on alennettava. Ympäristön suhteellisen kosteuden mukaan vaihtelee puussa sisältämän veden määrä, josta osa on soluseinämiin sitoutuneena ja osa on irtaimena. Soluonteloissa oleva vapaa vesi haihtuu ensin puun kuivuessa ja sitten vasta soluseinämiin sitoutunut vesi. Puussa ei tapahdu huomattavaa ominaisuuksien muutosta, kun soluonteloista poistuu kosteutta. Soluseinämistä poistuva kosteus aiheuttaa muun muassa lämmönvastuksen lisääntymistä ja puun kutistumista. (Siikanen 2001, 18 - 19, 25.)

Ennen käyttöä puu tulisi kuivata mahdollisimman lähelle lopullista käyttökosteutta, jotta säästyttäisiin puun kutistumisen haittavaikutuksilta. Ympäröivän ilman kosteuden kanssa puun kosteus pyrkii asettumaan tasapainoon. Puun kosteuskapasiteettia eli kykyä luovuttaa ja sitoa kosteutta voidaan käyttää hyödyksi sijoittamalla puuperäisiä lämmöneristeitä seinärakenteisiin, mikä tasaa kosteuden kulkua rakenteissa. (Siikanen 2001, 19.)

Puun ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä tai muuten puuhun vaurioita aiheuttavia ovat muuan muassa bakteerit, home-, lahottaja- ja sinistäjä sienet, tuhohyönteiset sekä auringon lämpö ja uv-säteily. Männyn pintapuu on herkempi altistumaan biologisille vaurioille kuin sydänpuu. Bakteerien, sinistäjä-, lahottaja- tai homesienten vaikutuksesta muodostuu lahoa, joka on heikentynyttä, pehmentynyttä ja usein myös tummunutta puuainesta. Laho esiintyy pehmeänä tai kovana. Puuaines ei ole vielä menettänyt lujuuttaan ja pehmennyt, kun kyse on kovasta lahosta. (Siikanen 2001, 25.)

Tärkein puuta tuhoavia eliöitä ovat lahottajasienet, jotka muuttavat useimmiten ratkaisevasti puun ominaisuuksia. Puun lujuusominaisuudet heikkenevät ja sen koostumus, muoto ja väri muuttuvat huomattavasti. Lahoamisen alkamisen edellytyksenä on riittävä kosteus. Yleensä sienet tarvitsevat kasvaakseen yli 25 %:n kosteuden. Ilmakuiva puu ei lahoa kuivissa sisätiloissa. Lahottajasienille otollisin lämpötila on + 3 – + 38 °C ja kosteus 20 – 60 %. (Siikanen 2001, 25.)

4.2.2 Puun suojaus

Puun suojauksen tavoitteena on säilyttää puun hyvät ominaisuudet sekä torjua muun muassa hyönteisten ja sienien aiheuttamat vauriot. Lahottajasienet eivät pääse vahingoittamaan puuta, jos sen kosteuspitoisuus on pitkäaikaisesti alle 20 % tai puu on kokonaan upotettuna veteen. Tässä tapauksessa puu voi säilyä useita satoja vuosia turmeltumattomana. Jos puun pinta pääsee kastumisen jälkeen hyvin kuivumaan, silloin lyhytaikainen pinnan kastuminen ei aiheuta vaurioita. (Siikanen 2001, 28.)

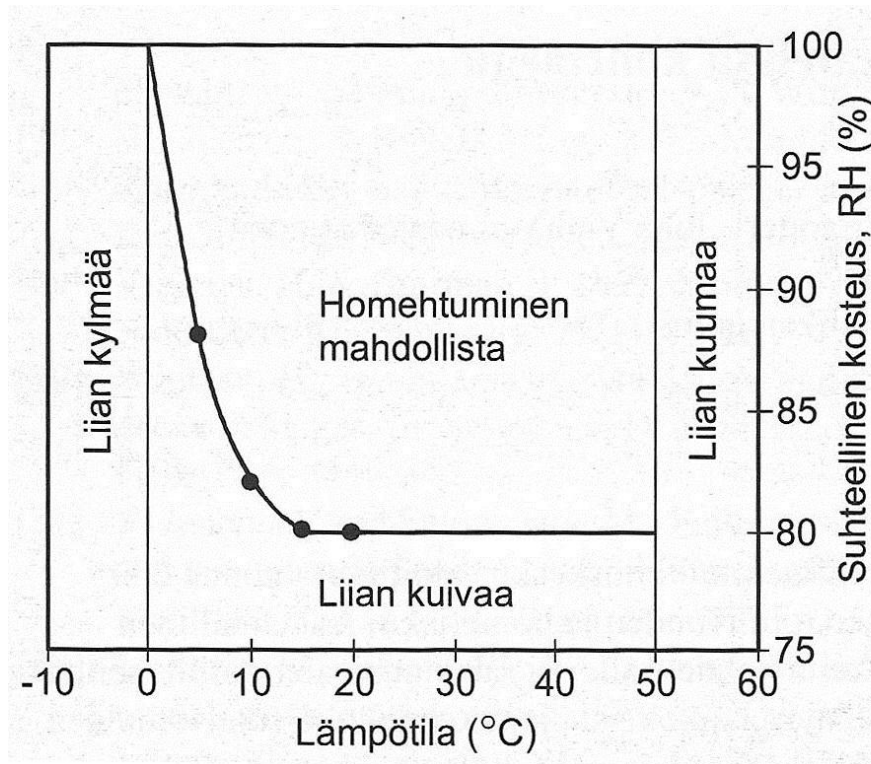
Puuta voidaan suojata laholta kahdella eri menetelmällä: kemiallisella suojauksella ja rakenteellisella suojauksella. Rakenteellisen puunsuojausmenetelmän tarkoituksena on varmistaa rakenteiden kuivana pysyminen ja estää veden tunkeutuminen niihin. Puu on suojassa lahottajasieniltä ja muilta biologisilta tuholaisilta, kun puun kosteuspitoisuus pysyy alle 20 %:n. Puun pintakäsittely ja rakenteiden huolto katsotaan kuuluvaksi rakenteelliseen puunsuojaukseen. (Siikanen 2001, 28.)

Puutavaran pitkäaikainen kosteuspitoisuus saa olla enintään 12 – 15 %, kun puumateriaali on suljettu kaikilta sivuilta rakenteessa. Kemiallista puunsuojausta käytetään rakenteellisen suojauksen lisäksi silloin, kun puun säilymistä ei voida varmistaa rakenteellisin keinoin eikä puun kosteus pysy alle 20 %:n. Kemiallisia puunsuojausmenetelmiä ovat sively tai ruiskutus, upotus sekä tyhjiö- ja painekyllästys. (Siikanen 2001, 28.)

4.3 Homehtumisriski

Homesientien kasvu on mahdollista, kun rakennusmateriaalien huokosilman tai materiaalien välittömästi ympäröivän ilman ns. mikroilmaston suhteellinen kosteus on viikkoja tai kuukausia yli 75 – 80 % RH ja lämpötila 5 – 50 °C. Lisäksi kuvan 3 mukaan lämpötilan pitää olla 0 – 50 °C ja suhteellisen kosteuden vähintään 80 % RH, jotta homehtuminen on mahdollista (Salminen – Viitanen 2007, 347). Homesientien kasvu on nopeampaa yli 20 – 25 °C:n lämpötilassa. Homesientien kasvu on merkittävästi hitaampaa, jos lämpötila on alle 10 °C. Homesienet voivat kasvaa silmin nähtäviksi kasvustoiksi muutamassa vuorokaudessa, jos RH on yli 95 % ja lämpötila 20 – 40 °C. Nämä olosuhteet ovat sienille otolli-

set. Homesienten kasvu on mahdollista alle 5 °C:n lämpötiloissa, jos materiaalin pinnan suhteellinen kosteus on jatkuvasti tai pitkäaikaisesti yli 90 – 95 %. (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 50 – 51.)

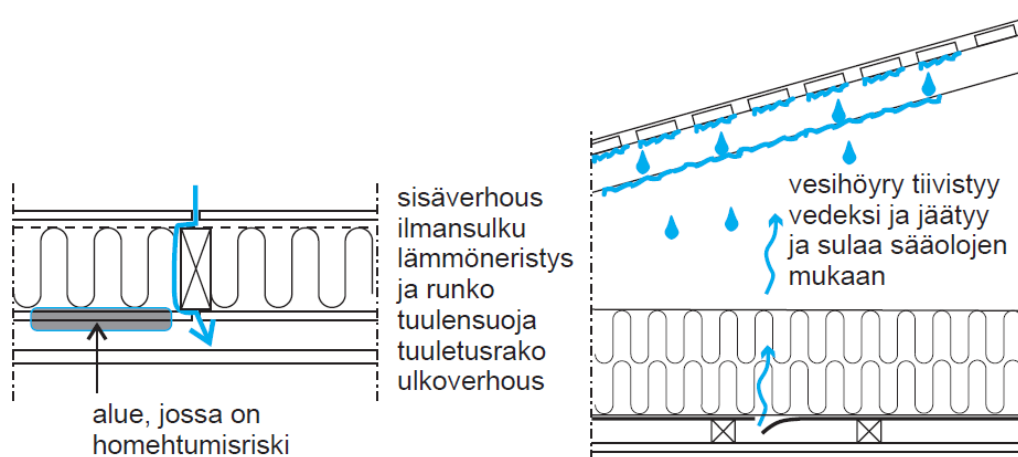


KUVA 3. Homeen kasvulle otolliset kosteus- ja lämpötilaolosuhteet (Salminen – Viitanen 2007, 348)

Homesienet voivat kasvaa puun lisäksi myös muissa orgaanisissa materiaaleissa. Tyypillisimpiä homeen kasvualustoja rakenteissa ovat pölyä keräävät pinnat, orgaaniset levyt ja niiden orgaaniset pintakerrokset. Jos materiaalin pintaan on kertynyt orgaanisia aineksia, kuten pölyä tai muita epäpuhtauksia, voi hometta esiintyä myös kivipinnoissa. Yhteenvetona voidaan todeta puun homevaurioiden esiintymiselle seuraavat päätelmät: suuri riski RH > 85 %; kohtalainen riski RH 70 – 85 %; ei riskiä RH < 70 %. Lämpötilan pitää olla yli 0 °C, jotta hometta voi muodostua. (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 51.)

Kosteusvaurioiden välttämiseksi ilmanvaihdolla pidetään rakennuksen sisätiloissa yllä ulkoilman paineeseen nähden pientä alipainetta. Jos sisätilassa on ylipainetta ja ilmansulussa on vuotokohtia, ilmanpaine-erosta johtuva ilmavirtaus kuljettaa mukanaan vesihöyryä ulkoseinään ja yläpohjaan. Ilman vesihöyry

voi kondensoitua rakennusosan kylmälle pinnalle ja siinä voivat olla otolliset kasvumahdollisuudet mikrobeille. Kuvassa 4 on ilmansulussa vuoto kohta, josta pääsee sisäilman ylipaineen johdosta ilmanvirtaus rakenteen sisälle vieden mukanaan vesihöyryä, joka tiivistyy vedeksi. (RT 05-10710. 1999, 3.)



KUVA 4. Kostuneessa kohdassa on lahovaurio- tai homeutumisriski (RT 05-10710. 1999, 3)

Mäntypuun homeutumiseen vaadittava olosuhteiden vaikutusaika t (vko) voidaan laskea kokeellisella kaavalla 11. Homeutumisriski laskenta on esitetty tarkemmin luvussa 6 ja laskettu liitteessä 5 ja 6. (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille. 2004, 51.)

$$t = \exp(-0,677 \cdot \ln(T) - 13,145 \cdot \ln(RH) + 62,6) \quad \text{KAAVA 11}$$

jossa on,

T = lämpötila (0,1 - 45 °C)

RH = suhteellinen kosteus (%)

Mäntypuun homeutumiseen vaadittava vaikutusaika (kk) voidaan laskea kaavalla 12 (liite 5 ja 6).

$$\frac{31}{7} \cdot t \quad \text{KAAVA 12}$$

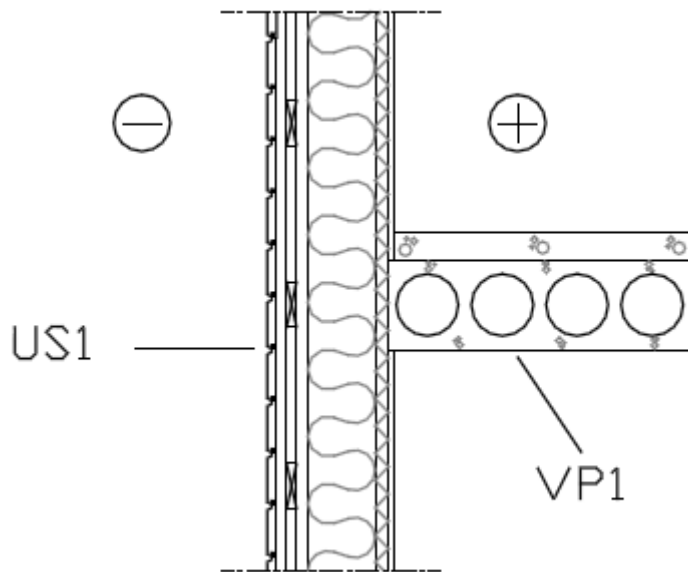
5 AS OY HERRALANTIE 1:N TUTKITTAVAT RAKENTEET

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ulkoseinärakenteen ja välipohjan sekä yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohtia. Rakenteet noudattavat 2010 matalaenergian rakentamismääräyksiä. Rakennuskohde sijaitsee Oulussa Metsokankaan kaupunginosassa. Vuokratontille rakennetaan neljä rivitaloa ja yksi pienkerrostalo, väestönsuoja sekä autokatokset ja jätekatos. Talovarasto ja ulkoiluvälinevarasto sijoitetaan väestönsuojaan. As Oy Herralantie 1:n talotyypeiksi tulee 1-tasoisia ja 2-tasoisia asuntoja. (Veikkola 2011a, 1.)

A-talossa on neljä 1-tasoista asuntoa ja B-talossa kaksi 2-tasoista asuntoa. C-talossa on molemmissa, ensimmäisessä ja toisessa kerroksessa, kolme asuntoa. D-talossa on yksi 1-tasoinen asunto ensimmäisessä kerroksessa ja kolme 2-tasoista asuntoa. E-talossa on kolme 1-tasoista asuntoa. (Veikkola 2011a, 1.)

Osa As Oy Herralantie 1:n asunnoista on kaksikerroksisia rakennuksia, joissa on välipohjana käytetty ontelolaattarakennetta. Rivitaloyhtiön B- ja D-taloissa on käytetty 200 mm:n ontelolaattaa ja C-talossa on käytetty 370 mm:n ontelolaattaa. Ontelolaatan päällä on 60 mm tasausbetonia. As Oy Herralantie 1:n pääpiirustukset löytyvät liitteestä 8. (Veikkola 2011b.)

Seinärakenteesta US1 on esitetty rakennedetalji kuvassa 5.

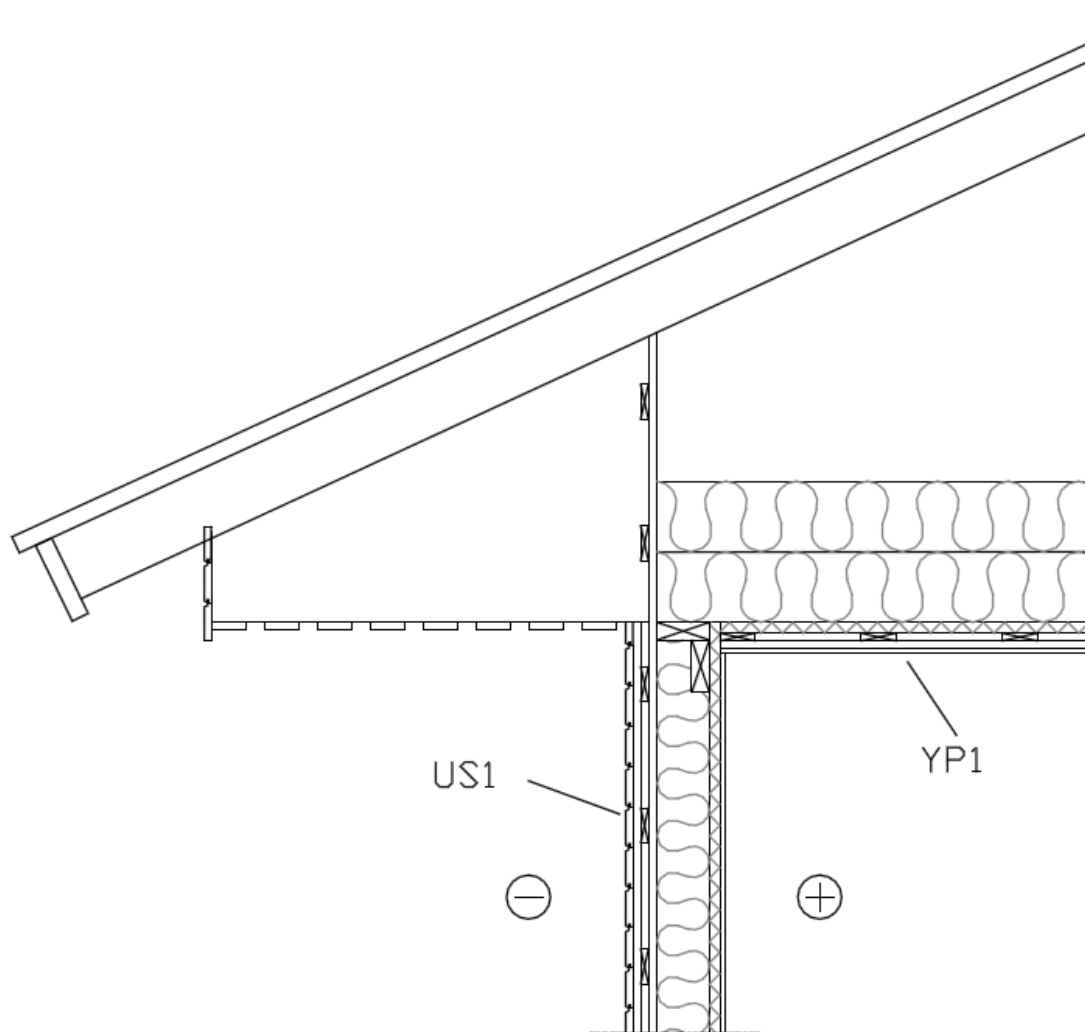


KUVA 5. Ulkoseinän ja välipohjan nurkkaliitoskohta 1:20

US1-rakenne on ulkoapäin lukien seuraavanlainen (Veikkola 2011b):

- vaaka- tai pystyverhouslauta, 20 mm
- ristiinkoolaus, tuulettuva tila 22 + 22 mm
- tuulensuojalevy, kuitulevy 25 mm
- pystyrunko 50 x 150 k 600, rungon välissä mineraalivilla 150 mm
- polyuretaanilevy SPU AL, 30 mm
- sisäverhouslevy, kipsilevy EK 13 mm.

Yläpohjarakenteesta YP1 on esitetty rakennedetalji kuvassa 6.



KUVA 6. Ulkoseinän ja yläpohjan nurkkaliitoskohta 1:20

YP1-rakenne on ulkoapäin lukien seuraavanlainen (Veikkola 2011b):

- vedeneriste, kumibitumikermikate
- raakaponttilaudoitus, 23 mm
- tuulettuva ullakkotila, naulalevyristikot k 900
- lämmöneriste, puhallettu mineraalivilla 400 mm
- polyuretaanieriste, SPU AL 30 mm
- ristiinkoolaus, 22 + 22 mm
- sisäverhouslevy, kipsilevy 13 mm.

As Oy Herralantie 1:n B-, C- ja D-talossa on 2-tasoisia asuntoja, joissa on välipohjana käytetty ontelolaattaa. B- ja D-taloissa ontelolaatan ja ulkoseinän väliin laitettiin uretaanivaahtoa. C-talossa ulkoseinän ja ontelolaatan kohdalta polyuretaanieriste katkaistiin, jotta rakenne täyttää ääneneristys- ja paloeristysmääräykset. Ulkoseinässä käytettiin 25 mm runkoleijonaa ja pystyrungossa ISOVER KL -mineraalivillatuotetta. (Veikkola 2011b.) ISOVER KL 37 -mineraalivilla on hajuton ja lahoamaton tuote, joten homesienet eivät pysty käyttämään sitä kasvualustana (ISOVER Tuoteseloste. 2012).

Sekä ulkoseinässä että yläpohjassa käytettiin polyuretaanieristettä SPU AL 30 mm, koska sillä on erinomainen lämmöneristävyys. SPU-eristeet eivät homehdu, lahoa, vety tai kutistu. Lisäksi eristeellä on erittäin hyvä kosteudenkestokyky. Rakenteeseen päässyt kosteus ei vaikuta polyuretaanin ominaisuuksiin eikä muutenkaan vahingoita sitä. (SPU Yleisesite. 2010, 3.)

6 TUTKITTAVIEN RAKENTEIDEN LASKENTA

Tässä opinnäytetyössä laskettiin ensin ulkoseinälle ja yläpohjalle U-arvot Suomen rakentamismääräyskokoelman C3 mukaan. U-arvot laskettiin matalaenergiarakentamisen mukaisesti ulkoseinälle 0,17 W/m²K ja yläpohjalle 0,09 W/m²K. Lämpötilajakaumat laskettiin ulkoseinälle ja yläpohjalle kesän ja talven ajalta. Samalla tarkasteltiin, tiivistyykö rakenteeseen kosteutta. Homeriskitarkastelu tehtiin vuoden ajalta ulkoseinään sekä yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohtaan. Lisäksi tutkittiin, tapahtuuko kondensoitumista ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdassa talvella.

6.1 U-arvo ja lämpötilajakauma

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin laskettiin käyttämällä apuna normaalisia lämmönjohtavuuksien arvoja (λ_n), joista useimmat löydettiin valmistajien www-sivuilta tai Suomen rakentamismääräyskokoelmasta C4:sta. Ulkoseinän U-arvolaskennassa ei otettu huomioon julkisivun verhouslautaa, koolausta ja ilmarakoa, koska rakenne on hyvin tuulettuva. Tasa-aineisessa ainekerroksessa lämmönvastus saadaan jakamalla ainekerroksen paksuus lämmönjohtavuusarvolla kaavan 3 (sivulla 13) mukaisesti. Pystyrunko on epätasa-aineinen ainekerros, koska siinä on kaksi erilaista materiaalia, joiden lämmönjohtavuudet poikkeavat toisistaan. Tässä tapauksessa vierekkäisten aineiden lämmönjohtavuuksien arvojen suhde on alle viisi, joten U-arvolaskennassa voitiin käyttää alaliikarvokaavaa 4 (sivulla 13). (Liite 1.)

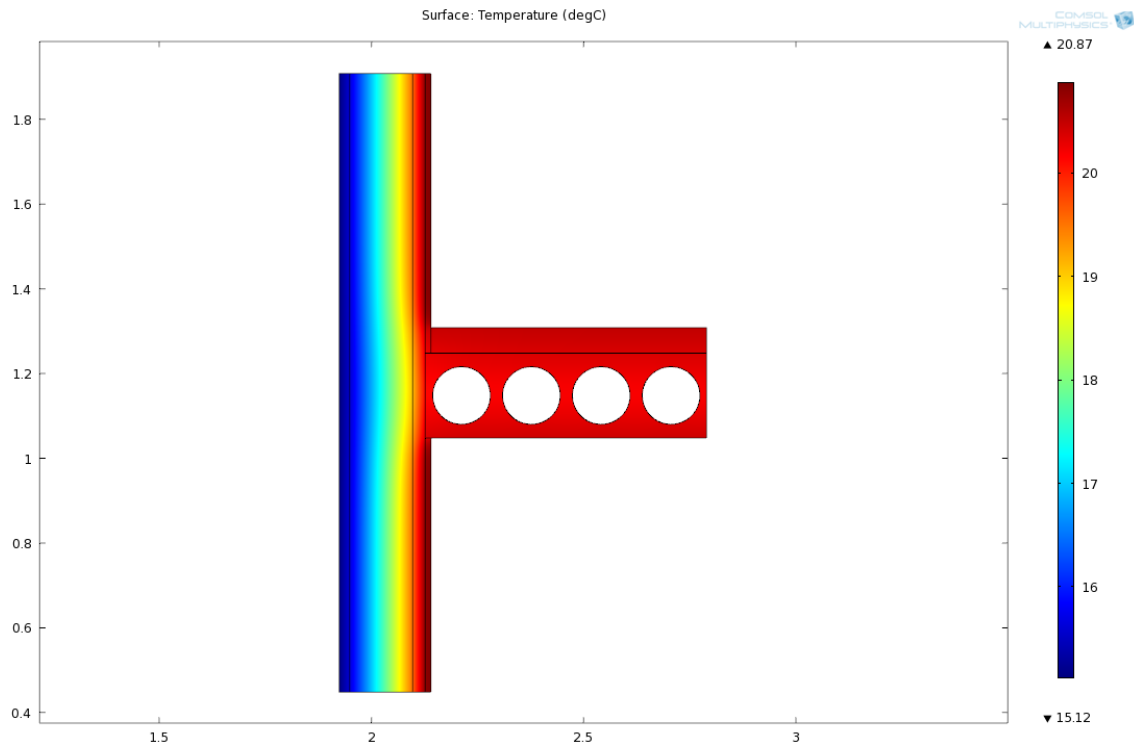
Sisä- ja ulkopinnan pintavastuksena käytettiin arvoa 0,13 taulukon 1 (sivulla 14) mukaisesti, koska lämpövirran suunta on vaakasuora. U-arvo saatiin laskemalla käänteisluku kokonaislämmönvastuksesta (R_T). Kokonaislämmönvastus saadaan, kun lasketaan kaikkien materiaalien lämmönvastukset yhteen. Ulkoseinän U-arvoksi saatiin vastaus 0,181 W/m²K sekä Excel-laskuissa että Doflämpöohjelmalla. Tilaaja oli laskenut U-arvoksi 0,17 W/m²K. (Liite 1.)

Yläpohjan U-arvolaskennassa käytettiin 0,1:tä sisäpuolisena pintavastuksena, koska lämpövirran suunta on yläpohjarakenteessa ylöspäin. Vastaavasti ulkopuolisena pintavastuksena käytettiin 0,04:tä taulukon 1 (sivulla 14) mukaisesti.

Ristiinkoolaus on tuulettumaton ilmakerros, joten laskennassa käytettiin lämmönvastuksena arvoa 0,16 taulukon 2 (sivulla 15) mukaisesti. Epätasa-aineisena ainekerroksena lasketaan naulalevyristikko ja 125 mm mineraalivillaa kaavojen 4 ja 6 (sivuilla 13 - 14) mukaan. Tasa-aineisena ainekerroksena lasketaan loput 275 mm mineraalivillasta. Excel-laskujen mukaan U-arvo on 0,085 W/m²K. Doflämpö-ohjelmalla laskettuna U-arvo on 0,088 W/m²K, joten yläpohja täyttää matalaenergiarakentamisen vaatimukset (liite 3). (Liite 1.)

Lämpötilajakaumat laskettiin Excel-ohjelmassa ulkoseinälle ja yläpohjalle talven ja kesän lämpötilaparametreilla. Lisäksi COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmassa mallinnettiin lämpötilajakaumakuvat talven ja kesän lämpötilaparametreilla. Excel-ohjelman ulkoseinän lämpötilajakaumakuvasta talven osalta voidaan todeta, että kastepistelämpötila on tuulensuojalevyn ja mineraalivillan välillä. (Liite 2.)

Kuvassa 7 on esitetty lämpötilajakauma ulkoseinän ja välipohjan liittymäkohdassa kesäolosuhteissa. Kuvassa 7 esitetyn rakenteen punainen väri tarkoittaa rakenteen lämmintä pintaa ja sininen väri tarkoittaa rakenteessa olevaa kylmää pintaa. Kuvan vieressä on lämpötila asteikko, josta näkee rakenteen lämpötilat.



KUVA 7. Lämpötilajakauma ulkoseinän ja välipohjan liittymä B- ja D-taloissa kesällä

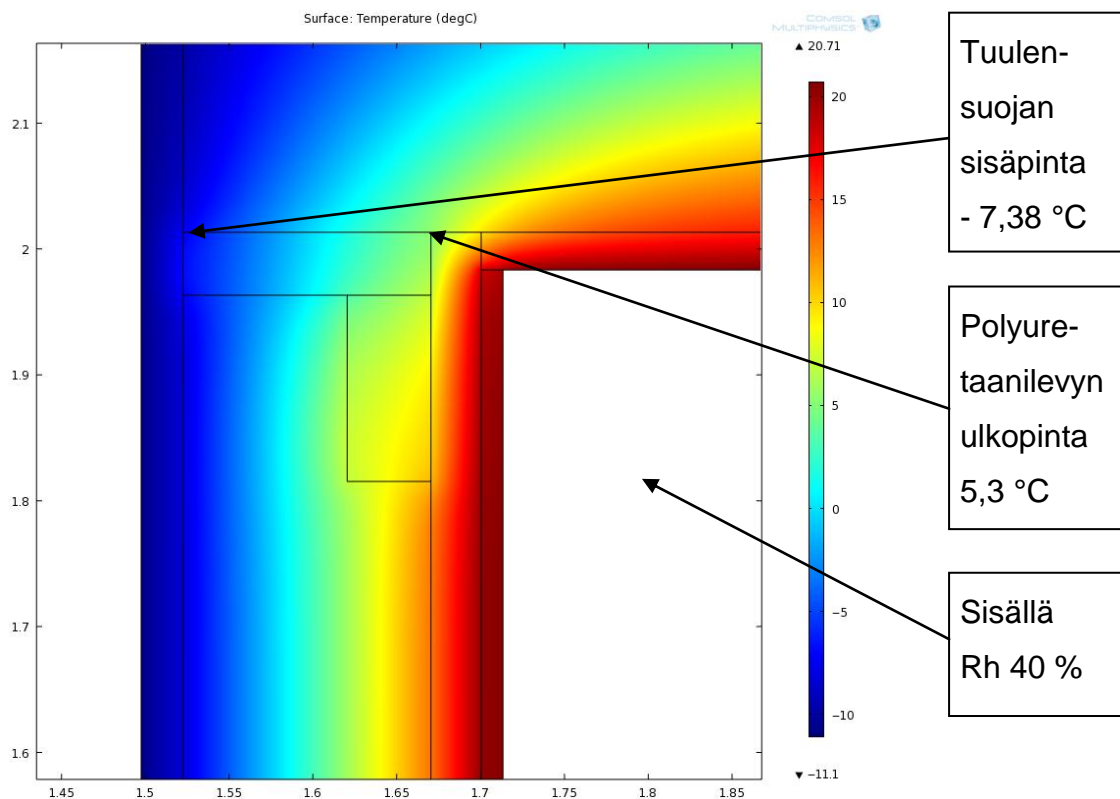
Kuvan 7 väreistä voidaan nähdä, että nurkkaliitoskohdissa on todennäköisimmät vuotokohdat rakenteessa. Kuvasta nähdään lämpötilan vaihtelut nurkkaliitoskohdassa. Kaikki loput 2D-mallinnetut lämpötilajakaumakuvat löytyvät liitteestä 4.

6.2 Homeriskitarkastelu

Homeriskitarkastelu tehtiin ulkoseinärakenteelle (kuva 5 sivulla 28) sekä ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdalle (kuva 6 sivulla 29). Doflämpö-ohjelmasta saatiin Oulun seudun keskimääräiset ulkolämpötilat, joita käytettiin Excel-laskuissa sekä COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmassa. Ulkoseinän homeriskitarkastelua varten Oulun keskimääräiset suhteelliset kosteudet (RH) ulkona saatiin Doflämpö-ohjelmasta. Homeriskitarkastelu tehtiin ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdan männyn pintapuuhun vuoden ajalta. COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmaan laitettiin Doflämpö-ohjelmasta saadut ulkolämpötilat yksitellen jokaiselle kuukaudelle ja lämpötilaparametreina käytettiin 21 °C:n sisätilassa.

Homeriskitarkastelu rajattiin kahteen eri kohtaan rakenteessa, jossa homehtumisriski voi esiintyä useimmiten. Ohjelmassa mallinnetussa lämpötilajakaumakuvassa tarkasteltiin ensimmäiseksi aluetta, joka sijaitsee polyuretaanilevyn ulkopinnan puolella mäntypuun pinnalla, sekä aluetta, joka sijaitsee tuulensuojan sisäpinnan puolella mäntypuun pinnalla. Molemmista tutkittavista alueista otettiin ohjelmassa männyn pintapuusta lämpötilat jokaiselta kuukaudelta erikseen.

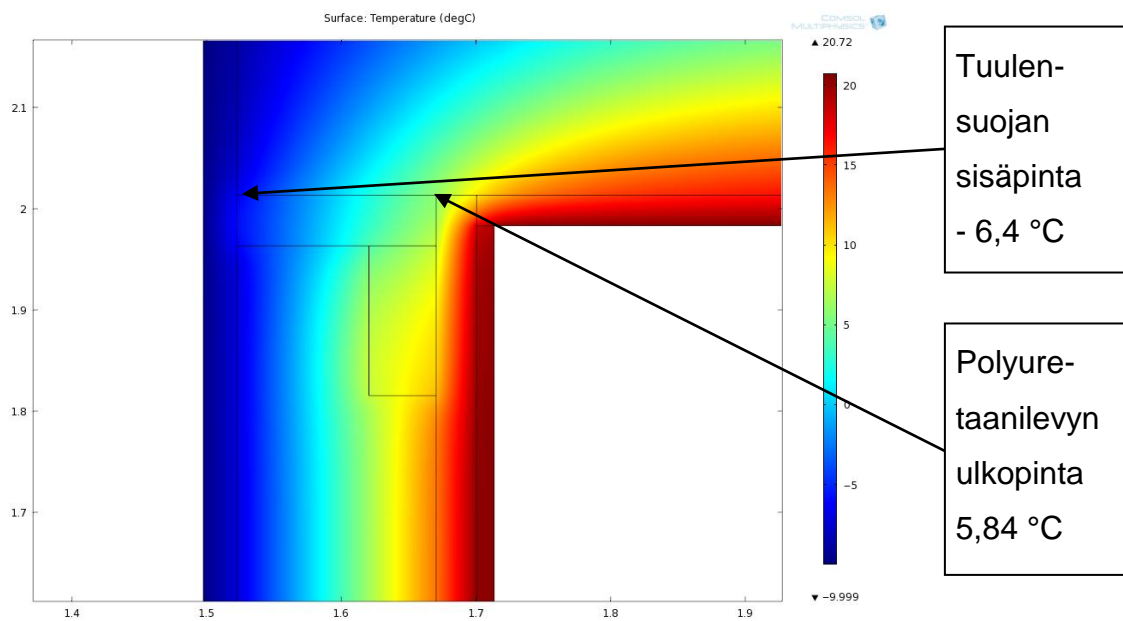
Laskennassa käytettiin sisäilman suhteellisenä kosteutena samoja arvoja kuin Excel-ohjelman laskuissa. Talvella käytettiin suhteellisenä kosteutena 40 %:a (RH) ja kesällä 72 %:a (RH). Kuvassa 8 on esitetty lämpötilajakaumakuva tammikuun ulkolämpötiloilla ulkoseinän ja yläpohjan liitoskohdassa. Kuvassa 8 nuolet osoittavat tutkittavien alueiden sijainnit sekä sisällä vallitsevan suhteellisen kosteuden. Homeriskitarkastelu laskettiin kaavojen 11 ja 12 (sivulla 26) mukaisesti. (Liite 6.)



KUVA 8. Yläpohjan ja ulkoseinän liitoskohta 2D-mallina tammikuun keskimääräisillä ulkolämpötiloilla Oulun seudulla

6.3 Kondenssitarkastelu

Kahdelle eri kohdalle ulkoseinä ja yläpohjarakenteen liitoskohdassa tehtiin kondenssitarkastelu. Rakennetta tarkastellaan talven ajalta, koska silloin on suurempi riski kondensoitumiselle. Laskuissa käytetään samoja arvoja kuin Excelissä eli sisälämpötila on 21 °C ja suhteellinen kosteus sisällä on 40 %. Kuvassa 9 on esitetty lämpötilajakaumakuva talven lämpötiloilla yläpohjan ja ulkoseinän nurkkaliitoskohdassa. Kuvassa 9 nuolet osoittavat tutkittavien alueiden sijainnit.



KUVA 9. Yläpohjan ja ulkoseinän liitoskohta 2D-mallina talvella

COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmasta otettiin männyn pintapuusta lämpötila 5,84 °C, joka sijaitsee kuvan 9 osoittamassa paikassa polyuretaanilevyn ulkopinnalla. Lisäksi laskettiin, tiivistyykö ilman vesihöyry vedeksi mäntypuun pinnalla. Lämpötilaa 21 °C vastaava kyllästysvesihöyrypitoisuus taulukon 3 (sivulla 36) mukaan on 18,31 g/m³. Ilman vesihöyrypitoisuus on 7,32 g/m³, joka vastaa noin 6 °C kyllästysvesihöyrypitoisuutta. Tässä tapauksessa kastepistelämpötila on 6 astetta. Kastepiste laskettiin tuulensuojan sisäpinnan männyn pintapuuhun myös samalla tavalla. (Liite 7.)

TAULUKKO 3. Lämpötilan funktiona ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus ja kyllästysosapaine (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 11)

t (°C)	V_k (g/m ³)	P_{vk} (Pa)
5	6,84	878
6	7,31	941
7	7,8	1008
20	17,28	2337
21	18,31	2484

Excel-ohjelman lämpötilajakaumakuvista voidaan päätellä, että ulkoseinä- ja yläpohjarakenteeseen ei tiivisty kosteutta talvella eikä kesällä. Lämpötilajakaumakuvassa vesihöyryn kyllästyspaineen (P_k) pitää olla suurempi kuin raja-kohtien vesihöyryn osapaine (P). Tämän ehdon täytyy toteutua, jotta rakenteeseen ei tiivisty kosteutta. (Liite 2.)

7 TUTKITTAVIEN RAKENTEIDEN TULOKSET

Työssä tutkittiin ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdan sekä ulkoseinä- ja välipohjarakenteen liittymäkohdan rakennusfysikaalisia riskejä. Yläpohjan U-arvoksi saatiin Excel-laskujen mukaan tulos $0,085 \text{ W/m}^2\text{K}$, joten rakenne täyttää matalaenergiarakentamisen vaatimukset. Ulkoseinän U-arvolaskuissa ei päästy samaan tulokseen tilaajan kanssa. Ulkoseinän U-arvoksi saatiin tulos $0,181 \text{ W/m}^2\text{K}$ Excel-laskuissa.

Lämpötilajakaumalaskujen perusteella ulkoseinään ja yläpohjaan ei tiivisty kosteutta, kun talvella lämpötilaparametrit ovat sisällä $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkona $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ sekä suhteellinen kosteus sisällä on $40 \text{ } \%$ (RH) ja ulkona $85 \text{ } \%$ (RH). Ulkoseinään ja yläpohjaan ei tiivisty kosteutta kesäolosuhteissa, kun sisällä on $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkona on $15 \text{ }^\circ\text{C}$ sekä suhteellinen kosteus sisällä on $72 \text{ } \%$ (RH) ja ulkona $73,5 \text{ } \%$ (RH).

Ulkoseinän homeriskitarkastelusta saatiin tulos $0,484 < 1$. Ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdan männyn pintapuun alueen, joka sijaitsee polyuretaanilevyn ulkopinnalla, homeriskitarkastelusta saatiin tulos $0,287 < 1$. Vastaavasti männyn pintapuun alueen, joka sijaitsee tuulensuojan sisäpinnalla, homeriskilaskennasta saatiin tulos $0,225 < 1$. Rakennetta voidaan pitää luotettavana ja kosteusteknisesti toimivana, jos homehtumisriski on vuoden aikana < 1 (Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004, 54).

Rakenteeseen tehtiin kondenssitarkastelu (kuva 9) ja kastepiste laskettiin tutkitaviin alueisiin, jotka sijaitsevat muutamassa eri kohdassa männyn pintapuussa. Kondenssitarkastelun tuloksena kastepisteeksi saatiin $6 \text{ }^\circ\text{C}$, kun sisällä on $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ja suhteellinen kosteus on $40 \text{ } \%$ (RH) talvella.

Tiivistymisajanjaksona ulkoseinään ei tiivisty kosteutta kahden kuukauden aikana, koska tulos ei ole positiivinen. Saatu tulos on $-1,12 \times 10^2 \text{ g/m}^2$. Yläpohjan tiivistymisajanjaksolta saatu tulos on $-1,07 \times 10^2 \text{ g/m}^2$. Tämän perusteella voidaan sanoa, että yläpohjaan ja ulkoseinään ei tiivisty kosteutta talvella.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia puurakenteisen rivitaloyhtiön ulkoseinän ja yläpohjan sekä ulkoseinän ja välipohjan liittymäkohtia COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelman avulla. Tarkoituksena oli selvittää tutkittavien rakenteiden rakennusfysikaaliset riskit. Työ rajattiin tutkimaan COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmassa liittymäkohtia stationääri- eli jatkuvuustilassa.

Laskujen mukaan yläpohjan U-arvo täyttää matalaenergiarakentamisen määräykset. Homeriskitarkastelun tulosten perusteella voidaan todeta, että ulkoseinän sekä yläpohja ja ulkoseinän nurkkaliitoskohdassa ei ole homehtumisriskiä. Ulkoseinässä ja yläpohjassa käytettiin SPU-eristettä, joka on homehtumatonta materiaalia (SPU Yleisesite. 2010). Tämän perusteella voidaan todeta, että rakenteet oli suunniteltu asianmukaisesti ja huolella. Yläpohjarakenteeseen ei tehty homeriskitarkastelua erikseen, koska rakenne pääsee tuulettumaan hyvin ja rakenne on suunniteltu huolella.

Työssä tutkittiin tuulensuojalevyn sisäpinnan ja polyuretaanilevyn ulkopinnan kohdissa männyn pintapuussa kondensoitumista rakenteen pinnalle ja laskettiin kastepiste. Sisäilman suhteellinen kosteus pääsee rakenteeseen, jos höyrynsulkuun on vahingossa tullut reikiä, ja lisäksi, jos sisäilmassa vallitsee ylipainetta. Tässä tapauksessa tutkituissa alueissa vesihöyry tiivistyy vedeksi ja kondensoituu männyn pintapuuhun. Kastepisteeksi saatiin tulos 6 °C. Jos höyrynsulkuun ei tule vahingossa reikiä joko rakennusvaiheessa tai sen jälkeen, rakenteet toimivat asianmukaisesti eikä rakenne pääse kondensoitumaan.

Insinööriyössä tarkasteltiin nurkkaliitoskohtia, koska niissä on todennäköisesti vuotokohtia rakenteessa. COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmalla saatujen tulosten perusteella voitiin päätellä, että todennäköisemmät kylmäsiilat rakenteessa ovat nurkkaliitoskohdissa.

Tulosten mukaan ulkoseinä- ja yläpohjarakenteeseen ei tiivisty kosteutta tiivistymisajanjaksona, joten rakenteet eivät tarvitse kuivumisajanjakson tarkastelua. Jos rakenteeseen tiivistyy kosteutta talvella, silloin sen pitäisi päästä kuivumaan

kesällä tarpeeksi. Tuloksen pitäisi olla positiivinen, että rakenteeseen tiivistyy kosteutta.

Tutkimuksessa saavutettiin työlle annetut tavoitteet. Ainoastaan rakenteiden tutkiminen COMSOL Multiphysics 4.0a –ohjelmassa ei-stationääritilassa eli ei-jatkuvuustilassa jätettiin kokonaan pois, koska se olisi vaatinut paljon aikaa ja sen tekeminen olisi ollut liian haastavaa. Katsottiin, että rakenteiden tutkiminen stationääritilassa riittää hyvin.

Työn tärkeimmät tulokset ovat homeriski- ja kondenssitarkastelu sekä lämpötilajakaumien laskeminen ja mallintaminen. Tutkimuksen suurimmat haasteet olivat rakenteiden mallintaminen COMSOL Multiphysics 4.0a -ohjelmassa ja tuloksien analysointi lämpötilajakaumakuvista.

LÄHTEET

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

Fedorik, Filip 2012. FEA-thermal. PowerPoint.

Hahtokari, Tapani 2010. Rakennusfysiikka. Oulun ammattikorkeakoulu, rakennusosasto.

ISOVER Tuoteseloste. 2012. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Saatavissa: <http://www.isover.fi/tuoteseloste/2513/isover-kl-37.pdf>. Hakupäivä 24.4.2012.

Kosteus. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004. Rafnet-ryhmä.

Lämpö. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. 2004. Rafnet-ryhmä.

Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. 2012. Valtion ympäristöhallinto. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=303518&lan=fi&clan=fi> Hakupäivä 3.4.2012.

Rakennuksen energiatehokkuusdirektiivi. 2011. Valtion ympäristöhallinto. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=14527&lan=fi> Hakupäivä 3.4.2012.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Rakennustieto Oy. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/tuote.html.stx?RANEget=/index/haku&tuote=/RT_7876. Hakupäivä 24.4.2012.

Salminen, Kati – Lähdesmäki, Kimmo – Strander, Tomi – Vinha, Juha - Paajanen, Leena – Iitti, Hanna – Ojanen, Tuomo – Viitanen, Hannu 2007. Homeenkasvu rakennusmateriaaleissa kenttä- ja laboratoriokokeissa. Teoksessa Vinha, Juha – Korpi, Minna (toim.). Rakennusfysiikka 2007. Seminaarijulkaisu 1. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos Tampere. S. 347 – 358.

Siikanen, Unto 1996. Rakennusfysiikka perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen, Unto 2001. Rakennusaineoppi. Hämeenlinna: Rakennustieto Oy.

SPU Yleisesite. 2010. SPU Systems Oy. Saatavissa: http://www.spu.fi/files/spu/esitteet/SPU_yleisesite_2010.pdf. Hakupäivä 17.4.2012.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003. Lämmöneristysohjeet 2003. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>. Hakupäivä 7.3.2012.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. 2010. Rakennusten lämmöneristysmääräykset 2010. Ympäristöministeriö. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf. Hakupäivä 22.11.2012.

Suvanto, Kari 2003. Tekniikan fysiikka 1. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Veikkola, Keijo 2011a. Rakennusinsinööri, Suunnittelutoimisto Veikkola Ky. Rakennustapaselitys, As Oy Herralantie 1.

Veikkola, Keijo 2011b. Rakennusinsinööri, Suunnittelutoimisto Veikkola Ky. Puhelinhaastattelu 18.10.2011.

LIITTEET

Liite 1 U-arvolaskut

Liite 2 Lämpötilajakaumat

Liite 3 Doflämpö-ohjelman tarkistuslaskelmat

Liite 4 COMSOL Multiphysics 4.0a –ohjelman mallinnukset

Liite 5 Ulkoseinän homeriskitarkastelu

Liite 6 Ulkoseinän ja yläpohjan liittymän homeriskitarkastelu

Liite 7 Ulkoseinän ja yläpohjan liittymän kastepistelaskut

Liite 8 As Oy Herralantie 1:n pääpiirustukset

Tarkasteltava alue [m] [m]
0,6 0,6

	Alueen [m]	mitat: [m]	f	d [m]	λ [W/mK]	R_j [m ² k/W]	f/R
puu eriste	Pystyrunko, ulkoseinä						
	alue a	0,05	0,6	0,083	0,15	0,12	1,25
	alue b	0,55	0,6	0,917	0,15	0,037	4,054
						1/R ₃	0,293
						R ₄	3,416

Ulkoseinä

	Ainekerros	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
R _{si}	sisäpinta			0,13	
R ₁	kipsilevy	0,013	0,21	0,062	
R ₂	polyuretaanieriste SPU AL	0,03	0,023	1,304	
R ₃	pystyrunko 50X150 k600+villa	0,15		3,416	R ₄
R ₄	tuulensuojalevy, kuitulevy	0,025	0,052	0,481	
R ₅	koolaus+tuulettuva ilmarako				
R ₆	vaakaverhouslauta				
R _{se}	ulkopinta			0,13	
			R _T	5,52	
			U-arvo	0,181	[W/m ² K]

vierekkäisten aineiden λ -arvot:

λ_{puu}	0,12
λ_{eriste}	0,037

Lämmönjohtavuuksien suhde 3,24 < 5

C4 kaavaa 3 (alalikiarvo) voidaan käyttää

Tarkasteltava alue [m] [m]
0,9 0,9

	Alueen [m]	mitat: [m]	f	d [m]	λ [W/mK]	R_j [m ² k/W]	f/R	
puu	Pystyrunko, ristikot	0,043	0,9	0,048	0,125	0,12	1,042	0,046
eriste	alue a	0,857	0,9	0,952	0,125	0,041	3,049	0,312
	alue b						1/R ₃	0,358
							R ₄	2,792

Yläpohja

	Ainekerros	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² k/W]	
R _{si}	sisäpinta			0,1	
R ₁	kipsilevy	0,13	0,21	0,619	
R _g	ristiinkoolaus 22+22mm	0,044	0,12	0,16	
	polyuretaanieriste SPU AL	0,03	0,023	1,304	
	ristikko 43x125 k900 +125 villaa	0,125		2,792	R ₄
	mineraalivilla 275	0,275	0,041	6,707	
R _{se}	ulkopinta			0,04	
			R _T	11,722	
			U-arvo	0,085	[W/m ² K]

vierekkäisten aineiden λ -arvot:

λ_{puu}	0,12
λ_{eriste}	0,041

Lämmönjohtavuuksien suhde 2,93 < 5

C4 kaavaa 3 (alalikiarvo) voidaan käyttää

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus s λ [W/m·K]	Lämmön- vastus R=d/ λ_n [K·m ² /W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyll. vesih.pit vk [g/m ³]	Vesihöyr yn kyll.pain e P _k [Pa]	Vesihöyr yn läpäisevy ys $\delta_p \cdot 10^{-12}$ [kg/m ² ·s·Pa/ a]	Vesihöyr yn vastus Z _p =d/ δ_p 10 ⁹ [m ² ·s·Pa/ kg]	Osapaine en muutos ΔP [Pa]	Rajakohhtien vesih. osap. P [Pa]		
ulkoilma			0,13	0,65	-10,00	263,15	2,20	267						
tuulensuojalevy	0,025	0,052	0,48	2,42	-9,35	263,80	2,32	283	2000	0,0	0	227	Ei tiivisty!	
mineraalivilla	0,15	0,037	4,05	20,40	-6,93	266,22	2,85	351	100	1,5	26	227	Ei tiivisty!	
polyuretaanieriste SPU AL	0,03	0,023	1,30	6,56	13,47	286,62	11,72	1 550	0,7	42,9	741	253	Ei tiivisty!	
kipsilevy	0,013	0,21	0,06	0,31	20,03	293,18	17,32	2 343	2000	0,0	0	994	Ei tiivisty!	
sisäpinta			0,13	0,65	20,35	293,50	17,63	2 388				994	Ei tiivisty!	
			6,16		21,00	294,15	18,31	2 486		44,4	768			

sisäilma	
t [°C]	21
t [K]	294,15
RH	40
RH	0,4

ulkoilma	
t [°C]	-10
t [K]	263,15
RH	85
RH	0,85

V_k	18,31	g/m ³
v	7,33	g/m ³
p_v	994,25	Pa

V_k	2,20	g/m ³
v	1,87	g/m ³
p_v	226,54	Pa

P_A	283	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P_B	283	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P_S	994,25	Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
P_u	226,54	Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	44,4	1,00E+09	4,44E+10 m ² *s*Pa/kg
Z_A	1,5	1,00E+09	1,50E+09 m ² *s*Pa/kg

g_{tiiv} -2,16E-08

kesto 60 vrk vrk= 24*60*60s

G_{tiiv} -1,12E-01 kg/m²

-1,12E+02 g/m² 2kk aikana

Kosteutta ei tiivisty!

I	II	III	IV	V	VI	Vib	Vib	Vib	VII	VIII	IX	X	XI
Ainekerros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus s λ [W/m·K]	Lämmön- vastus R=d/λ _n [K·m ² /W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Lämpötila t [K]	Ilman kyl- vesih.pit vk [g/m ³]	Vesihöyr yn kylil.pain e P _k [Pa]	Vesihöyr yn läpäisevy ys δ _p 10 ⁻¹² [kg/m·s·P a]	Vesihöyr yn vastus Z _p =d/δ _p 10 ⁹ [m ² ·s·Pa/ kg]	Osapaine muutos ΔP [Pa]	Rajakohti en vesih. osap. P [Pa]	
ulkoilma			0,13	0,13	15	288,2	12,86	1 709					
tuulensuojalevy	0,025	0,052	0,48	0,47	15,13	288,28	12,96	1 723	2000	0,0	0	1256	
mineraalivilla	0,15	0,037	4,05	3,95	15,59	288,74	13,33	1 775	100	1,5	18	1257	
polyuretaanieriste SPU AL	0,03	0,023	1,30	1,27	19,54	292,69	16,83	2 273	0,7	42,9	515	1275	
kipsilevy	0,013	0,21	0,06	0,06	20,81	293,96	18,12	2 457	2000	0,0	0	1790	
sisäpinta			0,13	0,13	20,87	294,02	18,18	2 466					
			6,16		21,00	294,15	18,31	2 486		44,4	533	1790	

Ei tiivisty!

Ei tiivisty!

Ei tiivisty!

Ei tiivisty!

Ei tiivisty!

sisäilma			
t [°C]	21	°C	
t [K]	294,15	K	
RH	72	%	
RH	0,72		

ulkoilma			
t [°C]	15	°C	
t [K]	288,15	K	
RH	73,5	%	
RH	0,735		
ΔT	6		
ΔP	533,28	Pa	

V_k	18,31	g/m^3
V	13,19	g/m^3
p_v	1789,64	Pa

V_k	12,86	g/m^3
V	9,45	g/m^3
p_v	1256,36	Pa

P_A	1723	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P_B	1709	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P_S	1789,64	Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
P_u	1256,36	Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	44,4	$1,00E+09 \text{ m}^2 \cdot s \cdot Pa/kg$	
Z_A	1,5	$1,50E+09 \text{ m}^2 \cdot s \cdot Pa/kg$	

g_{kuiv} 3,09E-07

kesto 60 vrk
5184000 s

G_{kuiv} 1,60E+03 g/m^2

G_{tiiv} -2,84E+03 g/m^2

$G_{kuiv} - G_{tiiv}$ 4,44E+03 g/m^2

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Ainekerrros	Paksuus d [m]	Lämmön- johtavuus λ [W/m·K]	Lämmön- vastus $R=d/\lambda_n$ [K·m ² /W]	Lämpöt. muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]	Vib Ilman kyl. vesih.pit vk [g/m ³]	Vesihöyry n kyl.paine P_k [Pa]	Vesihöyry yn läpäisevyys $\delta_p \cdot 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa/ a]	Vesihöyry yn vastus $Z_p=d/\delta_p$ 10^9 [m ² ·s·Pa/ kg]	Osapaine en muutos ΔP [Pa]	Rajakohti en vesih. osap. P [Pa]
ulkoilma			0,04	0,11	-10	2,20	267				
min.villa 275 mm	0,275	0,041	6,71	17,74	-9,89	2,22	269	100	31	227	Ei tiivisty!
ristikko 43x125k900+125mm min.villa	0,125		2,79	7,38	7,84	8,24	1 068	100	14	257	Ei tiivisty!
polyuretaanieriste SPU AL	0,03	0,023	1,30	3,45	15,23	13,03	1 734	0,7	477	271	Ei tiivisty!
ristiinkoolaus 22+22mm	0,044	0,12	0,16	0,42	18,68	16,00	2 154	2	245	748	Ei tiivisty!
kipsilevy	0,13	0,21	0,62	1,64	19,10	16,40	2 211	2000	1	994	Ei tiivisty!
sisäpinta			0,10	0,26	20,74	18,04	2 446		0	994	Ei tiivisty!
			11,72		21,00	18,31	2 486		768		
								68,9			

sisäilma		ulkoilma	
t [°C]	21	t [°C]	-10
t [K]	294,15	t [K]	263,15
RH	40	RH	85
RH	0,4	RH	0,85
		ΔT	31
		ΔP	767,70
			°C
			Pa

v _k	18,31	g/m ³
v	7,33	g/m ³
p _v	994,25	Pa

v _k	2,20	g/m ³
v	1,87	g/m ³
p _v	226,54	Pa

P _A	267	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P _B	267	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P _S	994,25	Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
P _u	226,54	Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z _B	69,1	1,00E+09	6,91E+10 m ² *s*Pa/kg
Z _A	1,3	1,00E+09	1,30E+09 m ² *s*Pa/kg

g_{tiiv} -2,06E-08

kesto 60 vrk k=24*60*60s

G_{tiiv} -1,07E-01 kg/m²

-1,07E+02 g/m² 2kk aikana

Kosteutta ei tiivisty!

sisäilma	
t [°C]	21
t [K]	294,15
RH	72
RH	0,72

ulkoilma	
t [°C]	15
t [K]	288,15
RH	73,5
RH	0,735

v_k	18,31	g/m ³
v	13,19	g/m ³
p_v	1789,64	Pa

v_k	12,86	g/m ³
v	9,45	g/m ³
p_v	1256,36	Pa

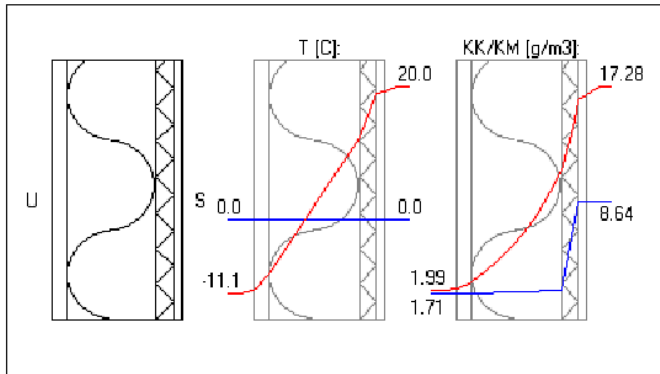
P_A	1709	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P_B	1709	Pa	Vesihöyryn osapaine tiivistymisvyöhykkeellä
P_S	1789,64	Pa	Sisäilman vesihöyryn osapaine
P_u	1256,36	Pa	Ulkoilman vesihöyryn osapaine
Z_B	69,1	1,00E+09	6,91E+10 m ² *s*Pa/kg
Z_A	1,3	1,00E+09	1,30E+09 m ² *s*Pa/kg

g_{kuiv}	3,47E-07	vrk
kesto	60	s
G_{kuiv}	5184000	g/m ²
G_{tiiv}	1,80E+03	g/m ²
$G_{kuiv} - G_{tiiv}$	-2,04E+03	g/m ²
$G_{kuiv} - G_{tiiv}$	3,84E+03	g/m ²

Rakennuskohde: As Oy Herralantie 1	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 10.5.2012	Tunnus: US1

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.181 W/m ² K
Paksuus:	218.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	52.20 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	44376142857.143
Vesih. läpäisykerroin:	0.000000 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.525 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.130 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Tuulensuojalevy	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	1000.00
2 Mineraalivilla	150.00	0.0370	1.000000e-10	0.00	30.00
3 Polyuretaani	30.00	0.0230	7.000000e-13	0.00	50.00
4 Kipsilevy	13.00	0.2100	2.000000e-09	0.00	1200.00
KYLMÄSILTA:					
2 Puu (mänty)	0.1200	8.3	0.00	480.00	—

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet:

Tammikuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.10	1.99	1.71	86.0	0.00
1	-10.44	2.11	1.71	81.0	0.00
2	-8.02	2.61	1.71	65.7	0.00
3	12.45	11.01	1.95	17.7	0.00
4	19.03	16.33	8.64	52.9	0.00
5	19.34	16.64	8.64	51.9	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

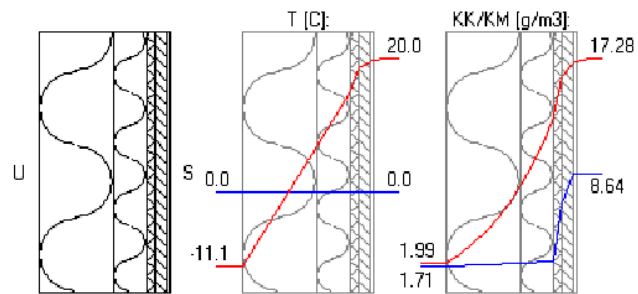
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisä tiedot:

Rakennuskohde: As Oy Herralantie 1	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 5/10/2012	Tunnus: YP1

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.088 W/m ² K
Paksuus:	487.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	52.92 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	68863642857.143
Vesih. läpäisykerroin:	0.000000 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	11.371 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m ² K/W
Kulma (0-90):	0.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Mineraalivilla	275.00	0.0410	1.000000e-10	0.00	30.00
2 Mineraalivilla	125.00	0.0410	1.000000e-10	0.00	30.00
3 Polyuretaani	30.00	0.0230	7.000000e-13	0.00	50.00
4 ristiinkoolaus	44.00	0.1200	2.000000e-12	0.00	480.00
5 Kipsilevy	13.00	0.2100	2.000000e-09	0.00	1200.00
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu (mänty)	0.1200	4.8	0.00	480.00	—

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

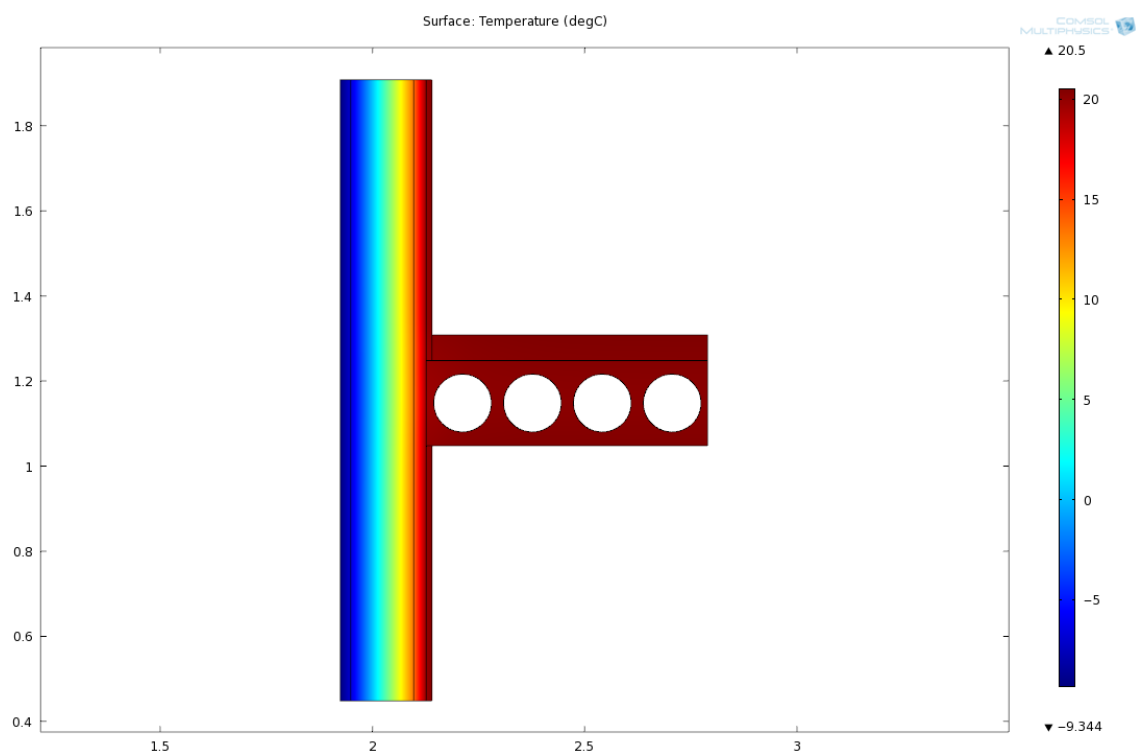
Lämpötilat ja kosteudet:

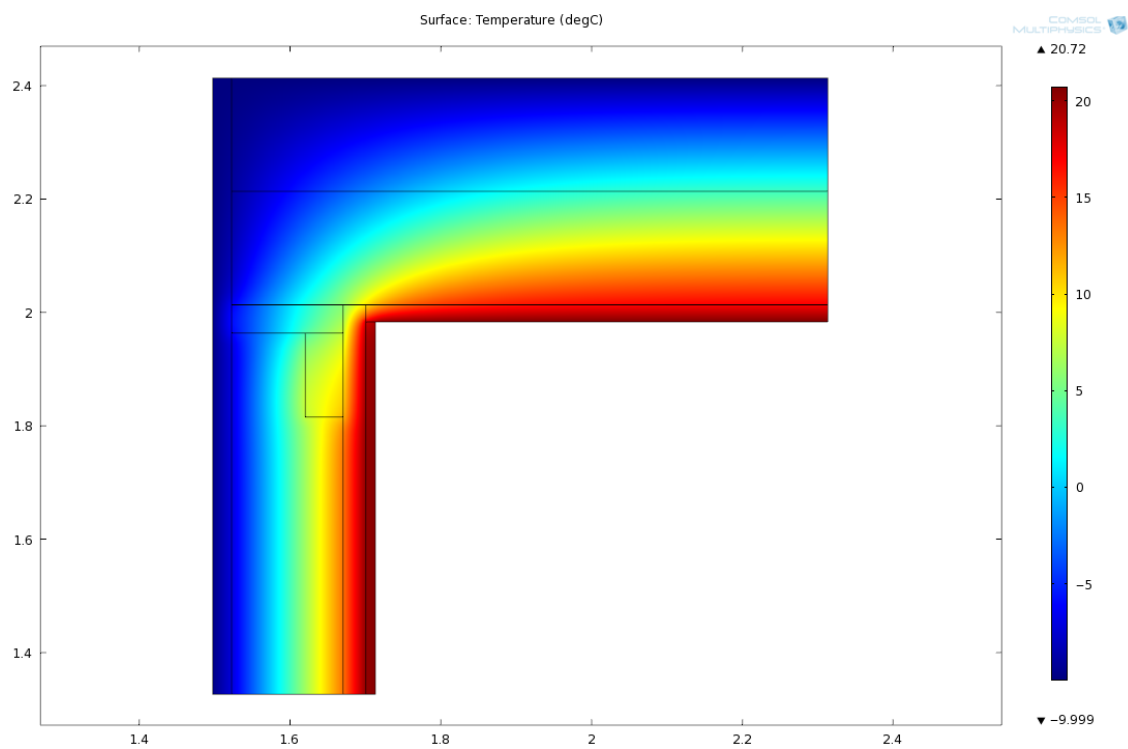
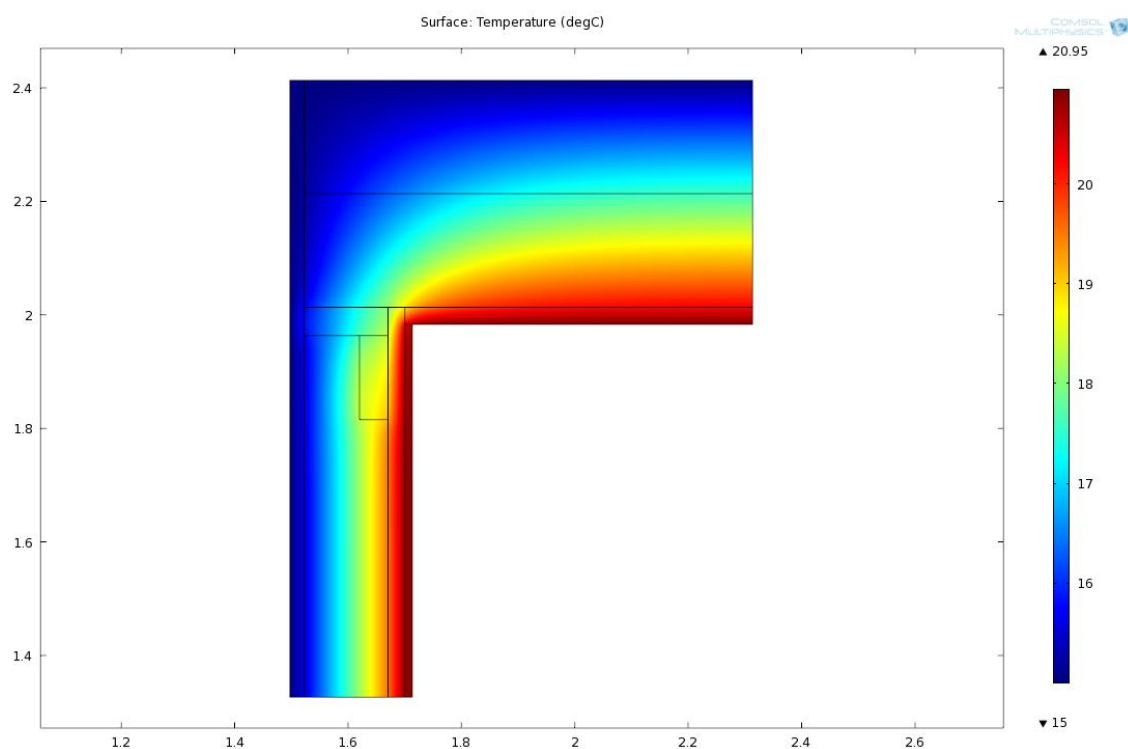
Tammikuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.10	1.99	1.71	86.0	0.00
1	-10.99	2.01	1.71	85.2	0.00
2	6.94	7.78	1.99	25.6	0.00
3	15.10	12.94	2.11	16.3	0.00
4	18.59	15.92	6.43	40.4	0.00
5	19.57	16.86	8.64	51.3	0.00
6	19.73	17.02	8.64	50.8	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisä tiedot:





Ulkoseinän homehtumistarkastelu (puuosa) vuosi/12kk: Oulu

kuukausi	t [C] (Doflämpö)		Rh [%] (Doflämpö)		homehtumisaika T _h [vko] e-0,677ln(T)-13,145ln(Rh)+62,6	homehtumisriski=31/7*T _h	
	ulko		ulko				
tammikuu	-11,1		86				T < 0 °C
helmikuu	-10,4		85				T < 0 °C
maaliskuu	-5,8		82				T < 0 °C
huhtikuu	0,5		74		660,056	0,007	Rh < 75 %
toukokuu	7,5		67		389,641	0,011	Rh < 75 %
kesäkuu	13,5		65		389,810	0,011	Rh < 75 %
heinäkuu	16		70		131,169	0,034	Rh < 75 %
elokuu	13,7		77		41,625	0,106	Rh < 75 %
syyskuu	8,4		82		25,352	0,175	
lokakuu	3		85		31,740	0,140	
marraskuu	-3,1		88				T < 0 °C
joulukuu	-8,2		88				T < 0 °C
Yhteensä:						0,484	

Ei homehtumisriskiä

Homehtumisriski on < 1, joten rakenne ei homehdu

Ulkoiseinän ja yläpohjan liittymäkohdan homehtumistarkastelu (puuosa) vuosi/12kk: Oulu

Tuulensuojalevyn sisäpinta

kuukausi	t [C] (Dof-lämpö)	t [C] (Comsol)	Rh [%] (Excel)	homehtumisaika T_h [vko]	homehtumisriski= $31/7 \cdot T_h$	
	ulko	sisä (puun pinta)	sisä	$e^{-0,677 \ln(T) - 13,145 \ln(Rh) + 62,6}$		
tammikuu	-11,1	-7,38	40			T < 0 °C
helmikuu	-10,4	-6,76	40			T < 0 °C
maaliskuu	-5,8	-2,69	40			T < 0 °C
huhtikuu	0,5	2,88	72	289,195	0,015	Rh < 75 %
toukokuu	7,5	9,06	72	133,114	0,033	Rh < 75 %
kesäkuu	13,5	14,37	72	97,409	0,045	Rh < 75 %
heinäkuu	16	16,58	72	88,418	0,050	Rh < 75 %
elokuu	13,7	14,55	72	96,592	0,046	Rh < 75 %
syyskuu	8,4	9,86	72	125,703	0,035	Rh < 75 %
lokakuu	3	5,089	40	446031,789	0,000	Rh < 75 %
marraskuu	-3,1	-0,305	40			T < 0 °C
joulukuu	-8,2	-4,81	40			T < 0 °C
				Yhteensä:	0,225	

Ei homehtumisriskiä

Homehtumisriski on < 1, joten rakenne ei homehdu

Ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdan homehtumistarkastelu (puuosa) vuosi/12kk: Oulu

Polyuretaanilevyn ulkopinta

kuukausi	t [C] (Dofiämpö) ulko	t [C] (Comsol) sisä (puun pinta)	Rh [%] (Excel) sisä	homehtumisaika T_h [vko] $e^{-0,677 \ln(T) - 13,145 \ln(Rh) + 62,6}$	homehtumisriski= $31/7 \cdot T_h$	Rh < 75 % Rh < 75 % Rh < 75 % Rh < 75 % Rh < 75 % Rh < 75 %
tammikuu	-11,1	5,3	40	433931,5398	1,02057E-05	Rh < 75 %
helmikuu	-10,4	5,64	40	416044,7324	1,06445E-05	Rh < 75 %
maaliskuu	-5,8	7,89	40	331462,8422	1,33607E-05	Rh < 75 %
huhtikuu	0,5	10,98	72	116,872	0,038	Rh < 75 %
toukokuu	7,5	14,4	72	97,272	0,046	Rh < 75 %
kesäkuu	13,5	17,34	72	85,775	0,052	Rh < 75 %
heinäkuu	16	18,55	72	81,946	0,054	Rh < 75 %
elokuu	13,7	17,43	72	85,475	0,052	Rh < 75 %
syyskuu	8,4	14,84	72	95,310	0,046	Rh < 75 %
lokakuu	3	12,2	40	246768,872	0,000	Rh < 75 %
marraskuu	-3,1	9,22	40	298286,190	0,000	Rh < 75 %
joulukuu	-8,2	6,72	40	369510,670	0,000	Rh < 75 %
				Yhteensä:	0,287	

Ei homehtumisriskiä

Homehtumisriski on < 1, joten rakenne ei homehdu

Kondenssitarkastelu, kastepisteen laskenta

Lämpötila on otettu tuulensuojanlevyn sisäpinnasta mäntypuun pinnasta -6,4 °C

sisälämpötila	21 °C	18,31	g/m ³
RH sisällä	40 %	7,324	vastaa 6 °C kyllästysvesihöyrynpitoisuutta
		18,31	vastaa 21 °C kyllästysvesihöyrynpitoisuutta

vastaus: vesihöyry tiivistyy vedeksi, jos sisälämpötila on 21 °C ja sisällä Rh 40%

Kondenssitarkastelu, kastepisteen laskenta

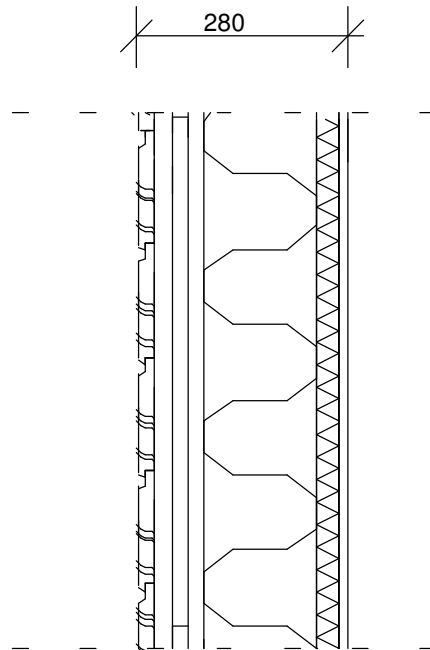
Lämpötila on otettu polyuretaanilevyn ulkopinnasta mäntypuun pinnasta 5,84 °C

sisälämpötila	21 °C	18,31	g/m ³
RH sisällä	40 %	7,32	vastaa 6 °C kyllästysvesihöyrynpitoisuutta
		18,31	vastaa 21 °C kyllästysvesihöyrynpitoisuutta

vastaus: vesihöyry tiivistyy vedeksi, jos sisälämpötila on 21 °C ja sisällä Rh 40%

Laatija KV	Hyväksyjä	Päiväys 30.05.2011	Sivu 21	Muutos
Rakennuskohde AS OY HERRALANTIE 1		Työn numero	Rakennetyypin tunnus US1	
Rakennetyypin nimi ULKOSEINÄ, ASUINHUONEET				

Rakennetyypin kuvaus (piirros ja selostus) Mittakaava 1:10

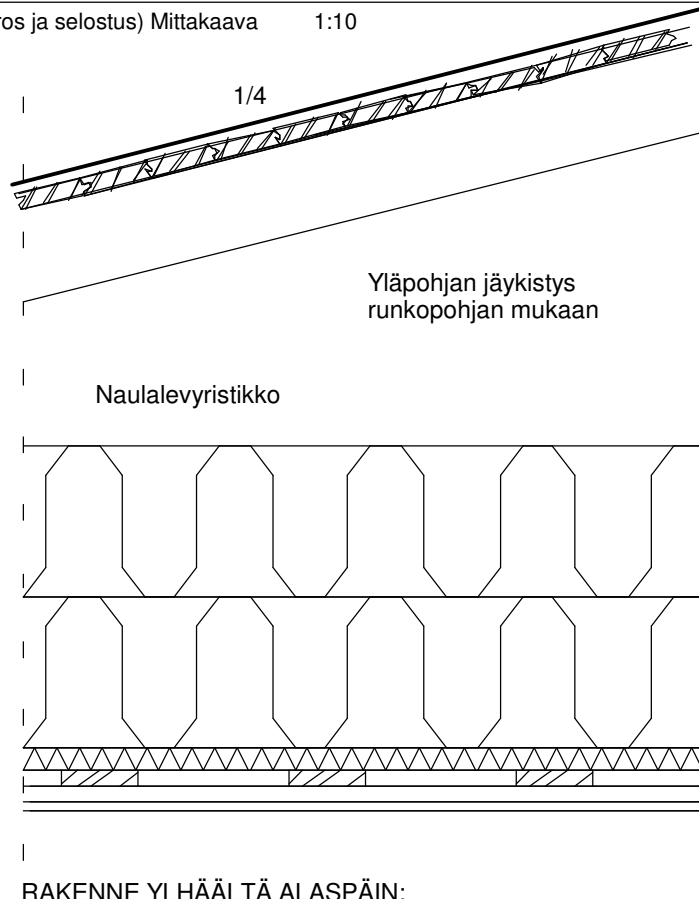


- Pintakäsittely
- 20 mm Vaakaverhouslauta julkisivupiirustusten mukaan
 - 44 mm Ristiinkoolaus 22 +22 mm, tuulettuva tila
 - 25 mm Tuulensuojalevy, kuitulevy 25mm saumat suojataan esim. laudalla/ rimalla
 - 148 mm Pystyrunko 50x150 mitallistettuna
Mineraalivilla 150 mm , esim. ISOVER KL 37 150 mm
 - 30 mm POLYURETAANILEVY SPU AL 30 mm, saumat teipataan al-teipillä
 - 13 mm Sisäverhouslevy, kipsilevy EK 13mm , reunaohennettu
Ruuvikiinnitys SPU:n läpi runkoon
Pintakäsittely

U-arvo 0,17 W/m²K

Laatija KV	Hyväksyjä	Päiväys 30.05.2011	Sivu 15	Muutos
Rakennuskohde AS OY HERRALANTIE 1		Työn numero	Rakennetyypin tunnus	
Rakennetyypin nimi YLÄPOHJA, ASUINRAKENNUKSET			YP1	

Rakennetyypin kuvaus (piirros ja selostus) Mittakaava 1:10



RAKENNE YLHÄÄLTÄ ALASPÄIN:

- VEDENERISTE, kumibitumikermikate , kiinnitetään kermin valmistajan ohjeiden mukaisesti
- Käyttöluokka VE20 , räystäällä tippapelti
- 23 mm Raakaponttilaudoitus rak.piiir. mukaan
- Tuulettuva ullakotila, naulalevyristikot k900
ellei runkopohjissa toisin mainita
- 400 mm LÄMMÖNERISTE, mineraalivilla 400mm puhallettuna , lambda-arvo 0,041
+ tuulenhajaimet
- 30 mm POLYURETAANIERISTE, SPU AL 30mm, Saumat teipataan al-teipillä
- 22+22 mm ristiinkoolaus 22+22mm, ruuvikiinnitys ristikoihin SPU.n läpi
- 13 mm SISÄVERHOUSLEVY, KIPSILEVY 13mm reunaohennettu tai puupaneli, ks huoneselitys

Vesikatkon varusteet RakMK F2:n ja Ark.suunnitelmien mukaisesti
u = 0,09 W/Km2 (laskennassa käytetty normaalaisia lämm.joht.arvoja)

TALO A

A4

2hks-55,0m²

A3

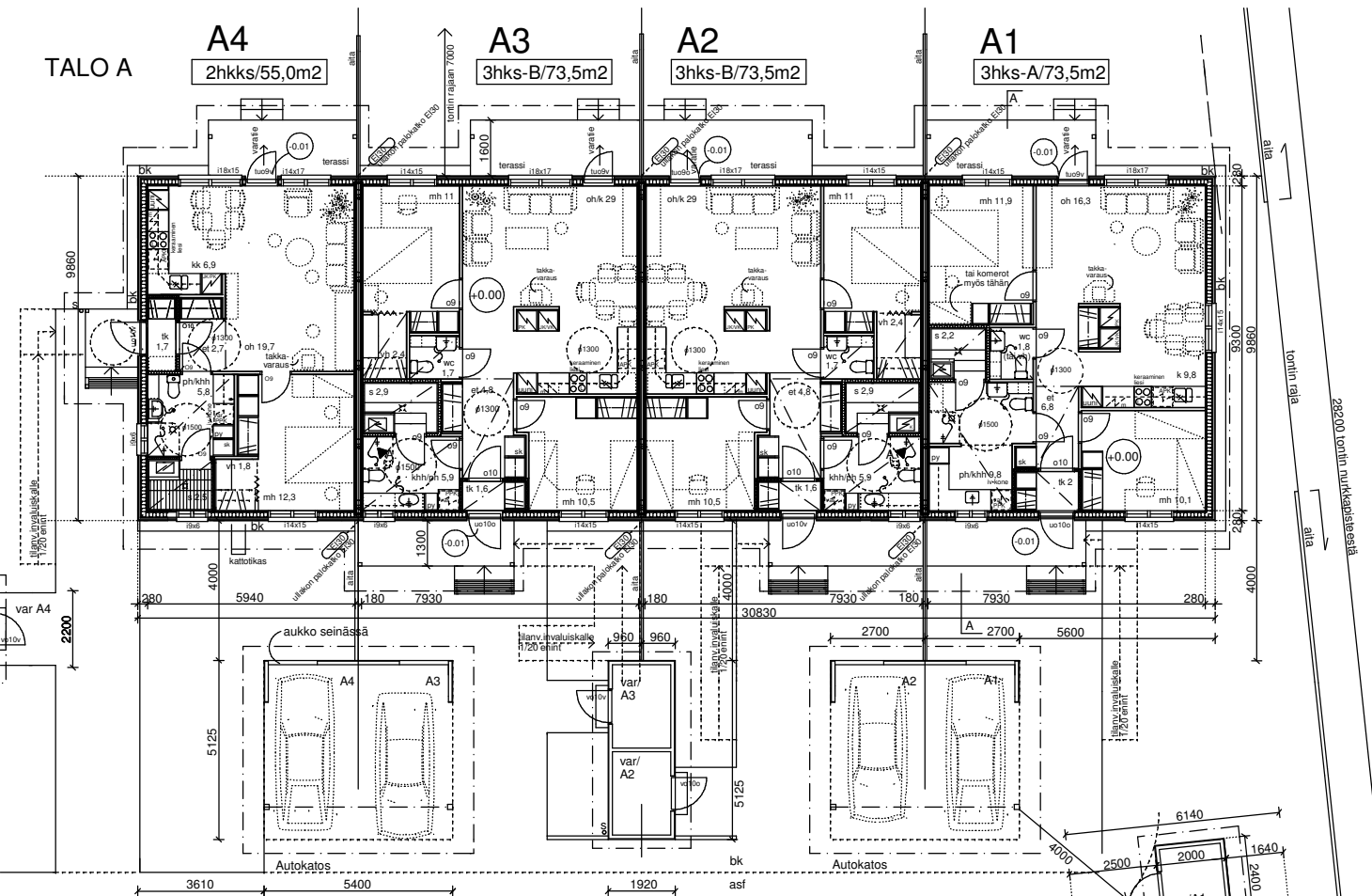
3hks-B/73,5m²

A2

3hks-B/73,5m²

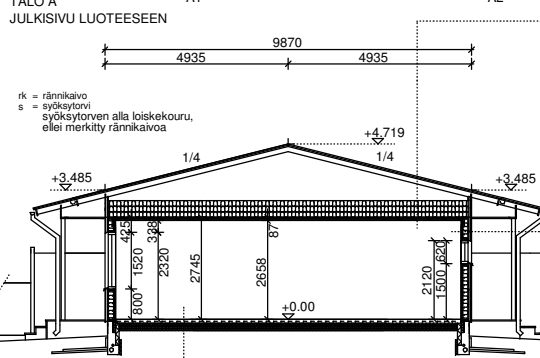
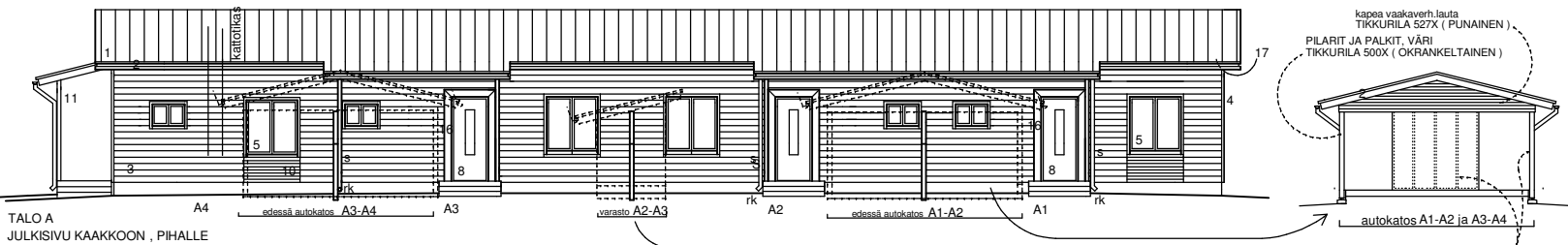
A1

3hks-A/73,5m²



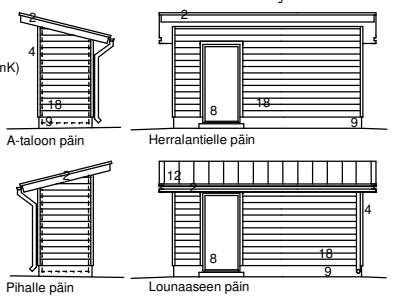
bk = betonilaatta, esim.300x300x60
 asf = asfaltti

A PÄVITETTY, SUIHKUN SIIRTO		18.10.2011
Koska/Kylä	Kortti/Tila	Tontti/Rn:o
METSOKANGAS (28)	74	1
Rakennuslupa	Viranomaisen arkitointimerkintöjä varten	
Rakennusmenetelmä	UUDISRAKENNUS	Piirustuslaji PÄÄPIIRUSTUS
Rakennuskohteen nimi ja osoite	Mittakaavat	
As Oy Herralantie 1 HERRALANTE 1 90420 OULU	TALO A POHJAPIIRROS	
1/100		
päiväys	allekirjoitus	muutos
07.09.2011	allekirjoitus	muutos
lyön numero	piirustuksen numero	suunnitteluala
	301	ARK



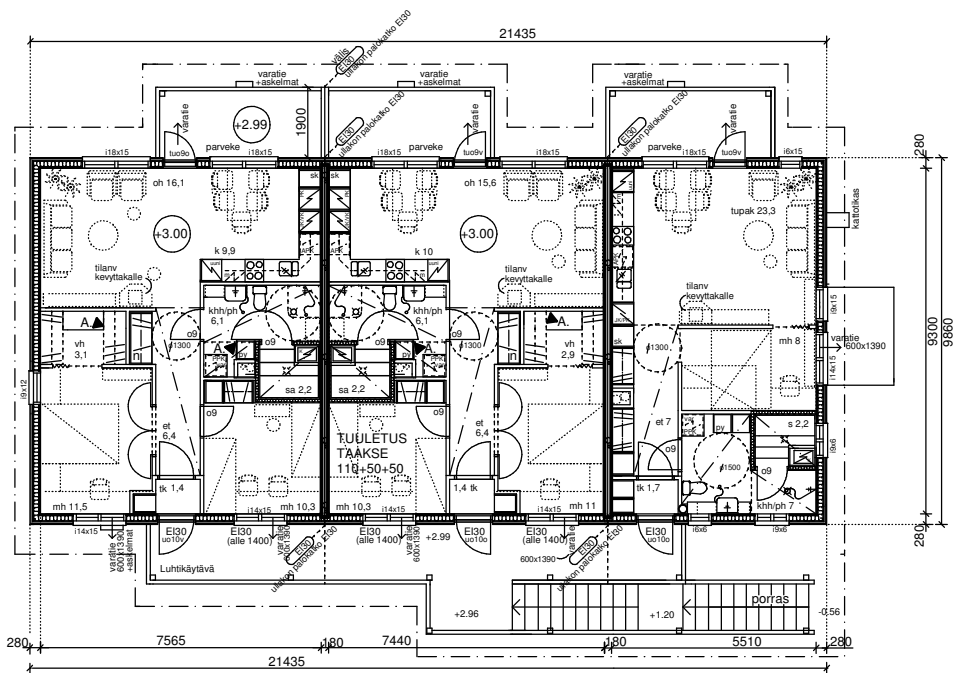
- VESIKATTO / YLÄPOHJA YP1 (Asuinrakennus)**
 U-arvo: 0,09 W/m²K
 - BITUMIKERMIKATE
 - RAAKAPONTTI (tai vaneri)
 - NAULALEVYTYSTIKOT / TUULETTUVA ULLAKKOTILA
 - MINERAALIVILLA PUHALLETTUNA 400mm (puhallusvillan λ-arvoksi oletettu 0,041 W/mK teoriassa riittää 390mm)
 - POLYURETAANIERISTE SPU AL 30mm
 - HARVALAUTA 22x100 k300 ristiin k400
 - KIPSILEVY 13mm (huoneselityksen muk. tiloissa paneli)
 - PINTAKÄSITTELY
- IKKUNOIDEN VALOAIKUN ALAPINTA VÄHINTÄ 700mm LATTIASTA**
- ULKOSEINA US1**
 U-arvo: 0,17 W/m²K
 - VAAKAVERHOUSLAUTA JULKISIVUPIIRUSTUKSIEN MUKAAN
 - KOOLAUS / TUULETTUVA ILMARAKO
 - TUULENSUOJALEVY 25mm (kuitulevy) : saumat suojataan esim. laudalla
 - PYSTYRUNKO, 50x150 mitallistettu k600mm / MINERAALIVILLA KL37 150mm
 - POLYURETAANIERISTE SPU AL 30mm
 - KIPSILEVY 13mm (ruuvaten SPU:n läpi)
 - PINTAKÄSITTELY

- 1 VESIKATE / HUOPAKATE, VÄRI MUSTA (TAI TUMMA HARMAA)
- 2 OTSALAUDAT, VESIKOURUT, VÄRI TUMMA HARMAA (TAI MUSTA)
- 3 VAAKAVERHOUSLAUTA, LEVEÄHKÖ, VÄRI TIKKURILA 570X (VAALEAHO HARMAA)
- 4 NURKKALAUDAT, VÄRI KUTEN ULKOSEINA
- 5 IKKUNAT, VÄRI VÄRI KESKI-HARMAA (vakioväri)
- 6 IKKUNAOVET, VÄRI KESKI-HARMAA (vakioväri)
- 7 PARVEKEKAITTEET, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 8 ULKO-OVET, VÄRI KESKI-HARMAA (vakioväri)
- 9 BETONISOKKELI, VÄRI BETONINHARMAA
- 10 VAAKAVERHOUSLAUTA, KAPEA, VÄRI TIKKURILA 560X (KESKI-HARMAA)
- 11 PILARIT, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 12 PYSTYVERHOUSLAUTA, LEVEÄHKÖ, VÄRI TIKKURILA 570X (VAALEAHO HARMAA)
- 13 SP-VANERI, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 14 AITA, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 15 SYÖKSYTORVET, VÄRI VAALEA HARMAA = S
- 16 KEHYS ULKO-OVEN YMP, VÄRI TIKKURILA 500X (OKRANKELTAINEN)
- 17 RÄYSTÄSPOHJAT, VÄRI TIKKURILA 570X (VAALEAHO HARMAA)
- 18 VAAKAVERHOUSLAUTA, LEVEÄHKÖ, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)



HUOMI! VANERIA EI MAALATA KATOKSEN PUOLELTA RUSKEA FILMIPINTA

K.osa/Kylä METSOKANGAS (28)	Kortteli/Tila 74	Tontti/Rn:o 1	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten
Rakennuslupamäärä UUDISRAKENNUS	Päärakennus PÄÄPIIRUSTUS		
Rakennuskohteen nimi ja osoite As Oy Herralantie 1 HERRALANTE 1 90420 OULU		Päärakennuksen sisältö TALO A JULKISIVUT JA LEIKKAUS 1/100	
päiväys 07.09.2011	allekirjoitus	muutos	työn numero piirustuksen numero suunnitteluala
		309	



C12
3hks/69,5m²

C11
3hks/68,5m²

Luhdin porttas (katettu)
- nousu 160mm
- etenemä 335mm
2n+e= 655

C10
htupaks /50,5m²

TALO C 2KRS

K:osa/Kylä		Korttel/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten	
METSOKANGAS (28)		74	1		
Rakennuslupa			Pääpiirustus		
UUDISRAKENNUS			Pääpiirustus		
Rakennuskohteen nimi ja osoite			Pääpiirustuksen sisältö		
As Oy Herralantie 1			Mittakaavat		
HERRALANTE 1 90420 OULU			TALO C POHJAPIIRROS 2.KRS 1/100		
päiväys		allekirjoitus		muutos	
07.09.2011					
lyön numero		piirustuksen numero		suunnitteluala	
		305		ARK	

Ⓐ PÄIVITETTY (IV-KANAVAT/LVI-TEKN)

18.10.2011

VEIKKOLA KY
KAMULANTIE 48 90910 KONTIO (KIIMINKI)
ARKKITEHTUUR- JA INSINÖÖRISUUNNITTELU
P. 0500 281001 | mail: k.veikkola@mail.eurofi.net



VESIKATTO / YLÄPOHJA YP1 (Asuinrakennus)

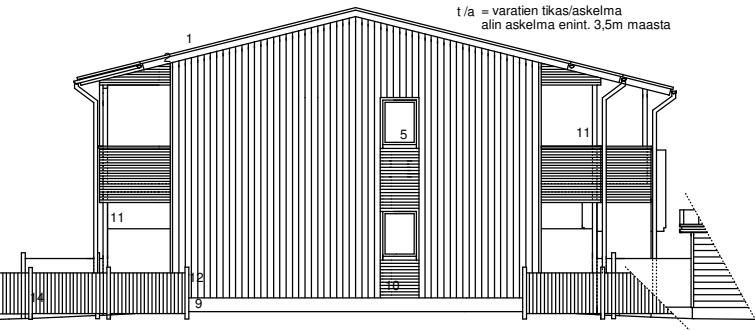
- U-arvo: 0.09 W/m²K
- BITUMIKERMIKATE
- RAAKAPONTTI (tai vaneri)
- NAULALEVYTYSTIKOT / TUULETTUVA ULLAKKOTILA
- MINERAALIVILLA PUHALLETTUNA 400mm (puhallusvillan λ-arvoksi oletettu 0,041W/mK)
- POLYURETAANIERISTE SPU AL 30mm teoriassa riittää 390mm
- HARVALAUTA 22x100-käppä ristiin k400
- KIPSILEVY 13mm (huoneselityksen muk. tiloissa paneli)
- PINTAKÄSITTELY

ULKOSEINÄ US1

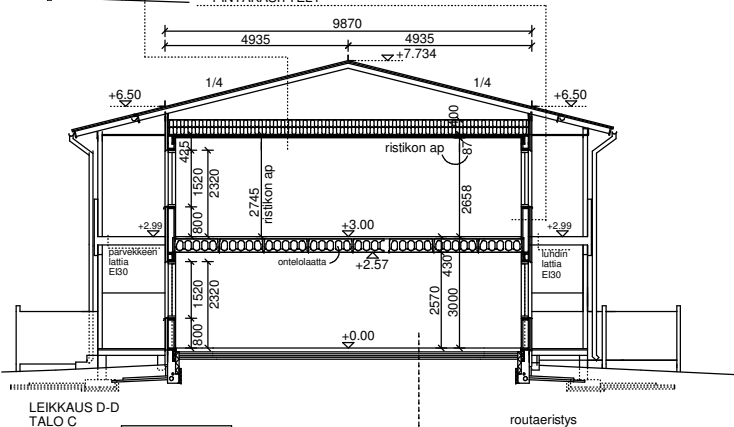
- U-arvo: 0.17 W/m²K
- VAAKAVERHOUSLAUTA JULKISIVUPIIRUSTUKSIEN MUKAAN
- KOOLAUS / TUULETTUVA ILMARAKO
- TUULENSUOJALEVY 25mm (kuitulevy) , saumat suojataan esim. laudalla
- PYSTYRUNKO, 50x150 mitalistettu k600mm/ MINERAALIVILLA KL37 150mm
- POLYURETAANIERISTE SPU AL 30mm
- KIPSILEVY 13mm (ruuvaten SPU:n läpi)
- PINTAKÄSITTELY

TALO C
PÄÄTY KOILLISEEN, HERRALANTIELLE (AUTOKATOKSIIN) PÄIN

t/a = varatien tikas/askelma
alin askelma enint. 3,5m maasta



TALO C
PÄÄTY LOUNAASEEN, METSOKANKAANTIELLE PÄIN




LEIKKAUS D-D
TALO C

ALAPOHJA AP1

- U-arvo:
- LATTIAPÄÄLLYSTE, MÄRISSÄ JA KOSTEISSA TILOISSA VESIERISTYS
- BETONILAATTA min 100mm / TERÄSVERKKO
- SOLUMUOVI m m LIMITETYN SAUMOIN
- TIIVISTETTY TÄYTTO
- KAPILLARIKATKO KAPILLARITODISTUKSEN MUKAAN (min.250mm)
- TIIVISTETTY TÄYTTO
- PERUSMAA

rk = rännikvaivo
s = syöksytorvi
syöksytorven alla loiskekouru,
ei-let merkitty rännikvaivoa

- 1 VESIKATE / HUOPAKATE, VÄRI MUSTA (TAI TUMMA HARMAA)
- 2 OTSALAUDAT, VESIKOURUT, VÄRI, TUMMA HARMAA (TAI MUSTA)
- 3 VAAKAVERHOUSLAUTA, LEVEÄHKÖ, VÄRI, TIKKURILA 570X (VAALEAHO HARMAA)
- 4 NURKKAUUDAT, VÄRI KUTEN ULKOSEINÄ
- 5 IKKUNAT, VÄRI, VÄRI KESKIHARMAA (vakioväri)
- 6 IKKUNAOVET, VÄRI KESKIHARMAA (vakioväri)
- 7 PARVEKKAITEET, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 8 ULKO-OVET, VÄRI KESKIHARMAA (vakioväri)
- 9 BETONISOKKELI, VÄRI BETONINHARMAA
- 10 VAAKAVERHOUSLAUTA, KAPEA, VÄRI TIKKURILA 560X (KESKIHARMAA)
- 11 PILARIT, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 12 PYSTYVERHOUSLAUTA, LEVEÄHKÖ, VÄRI TIKKURILA 570X (VAALEAHO HARMAA)
- 13 SP-VANERI, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 14 AITA, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)
- 15 SYÖKSYTORVET, VÄRI VAALEA HARMAA = S
- 16 KEHYS ULKO-OVEN YMP, VÄRI TIKKURILA 500X (OKRANKELTAINEN)
- 17 RÄYSTÄSPOHJAT, VÄRI TIKKURILA 570X (VAALEAHO HARMAA)
- 18 VAAKAVERHOUSLAUTA, LEVEÄHKÖ, VÄRI TIKKURILA 527X (PUNAINEN)

K.osa/Kylä METSOKANGAS (28)	Kortteli/Tila 74	Tontti/Rn:o 1	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten
Rakennusomistajapää UUDISRAKENNUS	Pääpiirustus PÄÄPIIRUSTUS		Juoks.n:o
Rakennuskohteen nimi ja osoite As Oy Herralantie 1 HERRALANTE 1 90420 OULU	Pääpiirustuksen sisältö TALO C PÄÄDYT JA LEIKKAUS		Mittakaavat 1/100
päiväys 07.09.2011	allekirjoitus	muutos	
 KAMULANTIE 48 90910 KONTIO (KIMINKI) ARKKITEHTUURI- JA INSINÖÖRISUUNNITTELU p. 0500 281001 mail: k.veikkola@mail.eurofi.net		työn numero	piirustuksen numero 314
			suunnitteluala 