

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Santeri Envall

PASSIIVI- JA NOLLAENERGIATALOJEN ULKOSEINIEN
KOSTEUSKEHITYS KOKO ELINKAAREN AIKANA

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

ENVALL, SANTERI

Passiivi- ja nollaenergiatalojen ulkoseinien
kosteuskehitys koko elinkaaren aikana

Opinnäytetyö

56 sivua + 3 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Jani Pitkänen

Toimeksiantaja

Wise Group Finland Oy

Tammikuu 2015

Avainsanat

kosteus, rakennusfysiikka, homevauriot,
lämmönkulutus

Opinnäytetyöni on tehty Wise Group Finland Oy:n Kotkan rakennussuunnittelutoimistolle. Tulevaisuudessa Euroopan unionin agenda on nostaa rakentamisen vaatimuksia, kuinka paljon talot käyttävät energiaa lämmitykseen ja jäähdytykseen. Agendan taustalla ovat myös nousevat energian hinnat. Tarkoituksena on yleistää energiatehokkuusmalleja rakentamisessa, kuten passiivienergiataloja.

Opinnäytetyössä perehdyttiin eri energiatehokkuusmalleihin ja eristetyyppeihin. Vankan tietopohjan ja asiantuntioden neuvojen varassa rakennettiin 4 erilaista malliulkoseinää, jotka edustaisivat mahdollisman monta eri tapaa rakentaa taloja ja eri materiaalivaihtoehtoja. Nämä koeseinät ajettiin WUFI-kosteussimulaattori-ohjelman läpi ja tuloksia verrattiin kriittisiin homevaurio raja-arvoihin.

Tulokset kertoivat eri seinien käyttäytymisestä, mutta myös selvensi yleiset simuloinnin heikkoudet. EPS-eriste osoittautui virheelliseksi, mutta muut seinät läpäisivät testit. Liian monta oletusta ja vastaamatonta kysymystä tekee simulaation tuloksista arveluttavia.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Constructional Engineering

ENVALL, SANTERI

Moisture development of Passive and zero energy buildings' exterior walls in the length of their whole life cycle

Bachelor's Thesis

56 pages + 3 pages of appendices

Supervisor

Jani Pitkänen, lecturer

Commissioned by

Wise Group Finland Oy

January 2015

Keywords

moisture, construction physics, mold damage, thermal energy consumption

The European Union has an agenda to drive more strict requirements for the construction sector, especially on how much energy is used to heat and cool buildings. The objective is to push energy-efficient building models such as the passive energy building to become a commonplace standard in overall building construction.

After collecting the necessary theoretical knowledge, I designed different samples of exterior walls for the experiments. These walls were designed to incorporate as many different styles of construction methods and materials. The sample walls were then run through the WUFI-moisture simulator and results were compared to mold-growth models.

The results showed how the different test walls acted over their whole lifecycle, but also shed light on the weakness in trying to predict the future with simulations. Expanded polystyrene was exposed as the weakest of all four, while all other walls passed the tests. Too many unanswered questions and presumptions degrade the overall credibility of the result conclusions.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
2	MATALAENERGIARAKENTAMINEN	10
	2.1 Energiatehokkuusluokitukset	11
	2.1.1 Matalaenergiatalo	11
	2.1.2 Passiivienergiatalo	11
	2.1.3 Nollaenergiatalo	13
3	RAKENNEKOSTEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	14
	3.1 Sade	14
	3.2 Kosteusvauriot	15
	3.2.1 Home- ja mikrobiongelmat	15
	3.2.2 Kriittiset raja-arvot	16
	3.3 Kosteaa ilmaa	18
	3.4 Rakennekosteus	18
	3.5 Diffuusio	18
	3.6 Hygroσκοoppisuus	19
	3.7 Konvektio	19
4	ERISTEMATERIAALIT	20
	4.1 Mineraalivilla	20
	4.2 Puukuituvilla	20
	4.3 Muovit	21
	4.3.1 Polystyreenit	21

4.3.2 Polyuretaani	22
5 SIMULAATION LÄHTÖKOHDAT	22
5.1 Wufi	22
5.2 Koeseinät	23
5.2.1 Puurakenteinen rankaseinä	23
5.2.2 Puu-rakenteinen CLT-seinä	24
5.2.3 Betoni sandwich-seinä, jossa EPS eriste	25
5.2.4 Betoni sandwich-seinä, jossa PUR eriste	26
5.3 Muut lähtötiedot	27
6 SIMULAATION TULOKSIA	27
6.1 Rankaseinän tulokset	29
6.1.1 Tarkastelupiste 1	30
6.1.2 Tarkastelupiste 2	31
6.1.3 Tarkastelupiste 3	32
6.1.4 Tarkastelupiste 4	34
6.2 CLT- seinä	35
6.2.1 Tarkastelupiste 1	36
6.2.2 Tarkastelupiste 2	37
6.2.3 Tarkastelupiste 3	38
6.3 Sandwich-elementti, EPS	39
6.3.1 Tarkastelupiste 1	40
6.3.2 Tarkastelupiste 2	41
6.3.3 Tarkastelupiste 3	42
6.4 Sandwich-elementti, PUR	44
6.4.1 Tarkastelupiste 1	45
6.4.2 Tarkastelupiste 2	46
6.4.3 Tarkastelupiste 3	47
7 LOPPUPÄÄTELMIÄ	47

7.1 Pitkän aikavälin simulointi	49
7.2 Rankaseinä	50
7.3 CLT-seinä	50
7.4 Sandwich-elementit	51
LÄHTEET	53
LIITTEET	
Liite 1. Rankaseinän rakennekuva	
Liite 2. CLT-seinän rakennekuva	
Liite 3. Suurennos kipsilevyn ja eristeen kosteuskäyttäytymisestä	

1 JOHDANTO

Rakentaminen on muutoksen keskellä energiakysymyksen valtaamassa Euroopassa. Euroopan unionin Energiatehokkuuden toimintasuunnitelmassa on Euroopan unionin komissio valottanut tulevaisuuden tavoitteita ja vaatimuksia energiategokkuuden parantaminen tuotteiden, palveluiden prosessien ja infrastruktuurin kannalta. Vuoteen 2020 mennessä on tarkoitus vähentää energiankulutusta 20 prosentilla asiakirjan luomispäivästä alkaen ja rakentamisen näkökulmasta tämä päästös toteutetaan energiategokkaan rakentamisen läpivientinä.

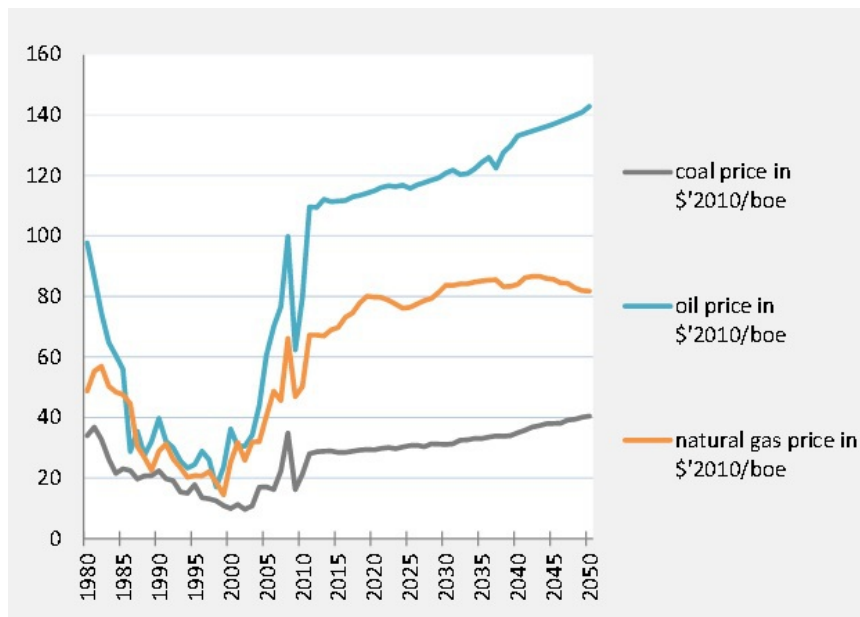
Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2010/31 on säädetty suoraan seuraava vaatimus: ”Valtioiden on varmistettava, että: a) 31 päivään joulukuuta 2020 mennessä kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia.” Vaikka tutkimuksia on tehty paljon ja vaatimukset täyttäviä rakennuksia on jo rakennettu, onko meillä tarpeeksi varmuutta sanoa että nämä erittäin tiiviit ja talotekniikaltaan kalliit rakennukset tulevat olemaan rakennettu niin varmasti, että ne osoittautuvat toimiviksi koko elinkaarensa ajaksi?

Esimerkiksi arkkitehti Unto Siikanen kommentoi karusti: ”Rakentamisen taito ei riitä, ammattimoraalikin on katoamassa. Tekaistaan rakennus äkkiä ulkomaalaista halpatyövoimaa käyttämällä. Heitä ei pitäisi rakennuksille päästää ilman riittävää lisäkoulutusta.” (Vikström 2014)

Tavoiteltavien energian- ja ympäristönsäästöjen tulokset on ainoastaan mahdollista saavuttaa, jos uudet talot kestävät käyttöä tarpeeksi kauan. Kallis rakennus tuhlaa vieläkin enemmän luonnon resursseja, jos se joudutaan varhain purkamaan asukkaille aiheutuneiden terveysongelmien vuoksi.

2 MATALAENERGIARAKENTAMINEN

Matalaenergiarakentaminen on rakentamisen muoto, jossa kokonaislaajuisesti jokaisessa rakennuksen valmistusasteessa, oli se sitten arkkitehtuurissa, talotekniikassa tai rakennetekniikassa, saavutetaan taso, joka vähentää kyseisen rakennuksen energiatarvetta. Maailmassa missä energian hinta tulee nousemaan ja kestävä kehitys saa sille kuuluvaa arvoa, matalaenergiarakentaminen tulee osaksi jokapäiväistä rakentamista.



Kuva 1 Ennuste tuodun energian hintakehityksestä (EU Energy, Transport and GHG emissions trends to 2050 2013, 17)

Ateenan teknillisen yliopiston energiakysymyksiin keskittyneen laboratorior ryhmän tekemässä energiaa, kuljetusta ja päästöjä koskevassa tulevaisuutta tutkivassa raportissa ”EU Energy, Transport and GHG emissions trends to 2050” (2013, s.16–17) on selvitetty, kuinka paljon energian hinta nousee tulevaisuudessa. Esimerkiksi maakaasun hinta voi nousta yli kaksinkertaiseksi tulevaisuudessa. Kestävä kehitys ei ole vain ainoastaan maailman parantamisaate vaan tulevaisuuden selviytymisen vaatimus. Suomen pohjoinen sijainti ja kylmät talvet luovat tarpeellisesta lämmityksestä elinehdon. Tilastokeskuksen asumisen energiakulutusjulkaisussa kerrotaan, että 80 % asuntojen vuosittaisesta energiatarpeesta menee lämmitykseen.

2.1 Energiatehokkuusluokitukset

Matalaenergiarakentaminen jaetaan eri luokituksiin. Nämä luokitukset määräytyvät tavoiteltavan energiasäästön mukaan ja toimivat konkreettisinä tasoina eri laajuisille asteille energiatehokkuudessa.

2.1.1 Matalaenergiatalo

Matalaenergiatalon määritelmä on muuttunut viime vuosikymmenen aikana paljon. Pohjustuksena mainitsen, että 2010 Suomen RakMK:n uudet minimimääräykset ovat erittäin lähellä mitä 2003 vuoden aikana määriteltiin matalaenergiataloksi. Motiva Oy mainitsee sivuillaan, että vähittäisvaatimusten mukaan eristettyyn taloon verrattuna matalaenergiatalo kulutti puolet vähemmän energiaa lämmitykseen. Toinen kohta on passiivienergiatalo.com-sivulla esitetty arvio, jossa 2007 vuoden matalaenergiatalon U-arvot olisivat 2010 uudistuksen minimiarvoja huonommat. Matalaenergiatalot ovat toimineet askelkivinä ja muistuttavat nykyään yhä enemmän passiivienergiataloa uudistuneiden vaatimusten ansiosta.

Matalaenergiarakennuksen lähtökohta on pienempi lämpöhäviö verrattuna normaaliin vertailuarvoon, enintään 85 %. Esimerkiksi RIL 249-2009 (s.28) julkaisussa todetaan, että matalaenergiatalon nettoenergiantarve on 26-50 kWh/m² välillä. Matalaenergiatalo on erittäin saavutettavissa oleva mallitavoite, sillä sen toteutus ei vaadi erikoisia suunnitelmia. Jokapuolinen riittävä eristys, tehokas ja energiasäästävä ilmanvaihto, pitävät ikkunat ja ovet ovat riittävät toimenpiteet matalaenergiatalon vaatimusten saavuttamiseksi.

2.1.2 Passiivienergiatalo

Passiivienergiatalo on yksi energiatehokkuuden tavoitekäsitteistä, jotka toimivat tavoitteina tietyn energiatehokkuuden asteelle. Unto Siikasen kirjassa Rakennusfysiikka (s. 63) on esitelty erilaisia energiatehokkuuden tavoitemalleja. Esimerkiksi matalaenergiarakennukset ovat lievempi muoto passiivienergiarakennuksesta.

Passiivenergiatalon lähtökohtana voidaan todeta, että kaikki alustavat energiatehokkuusmallit on luotu yleiseurooppalaisesti, joten vaatimukset täyttävä rakentamisen kustannustehokkuus on heikompi Pohjoismaiden ilmastossa.

VTT:n 2012 passiivitalosertifikaatissa on lueteltu heidän vaatimuksiaan passiivenergiatalolle:

- Lämmitykseen ja jäähdytykseen käytetty energia ei saa ylittää 20 – 30 kWh/ m², raja-arvo riippuen missä päin Suomea rakennus on.
- Ilmanvaihtokoneen lämmön talteenoton hyötysuhteen on oltava vähintään 75 %.
- Vaipan tiiveyden on oltava pienempi kuin 0.6 litraa tunnissa
- Kokonaisilmanvaihtokertoimen on oltava vähintään 0,5 litraa tunnissa.

Huomioitavaa on, että kaikille energiatehokkaille luokituksille ei ole määrätty vähittäisarvoja mitä tulee rakennuksen vaipan lämmönläpäisykertoimeen.

Jokainen rakennus vaatii tapauskohtaista laskentaa siitä, mikä arvo on vähintään saavutettava, jotta tarkoitettu lämmityksen ja jäähdytyksen nettoenergian ominaistarve ei ylity. RIL 249-2009 (s.34) on esittänyt Jyväskylän leveyspiirin tason mukaan esimerkkiarvoja ulkoseinän U-arvolle, jotka vaihtelevat 0,12:n ja 0,08:n välillä.

Puhelinkeskustelussa 24.9.2014 ympäristö- ja energia-asiantuntija Jose Tamayo Vera kiteytti passiivenergiatalon konseptin täten: ”On parempi ajatella passiivenergiatalo mallina, missä kaikki passiiviset menetelmät säästää energiaa on maksimoitu. Mallissa on tärkeitä että energiakulutus on vähennetty kaikin järkevin keinoin, kuten tiivistämällä rakennuksen seinät ja katon, tehokkaalla ilmanvaihdolla ja niin edelleen. Tässä on hyvä erottaa passiivenergiatalot nollaenergiamalleista, missä on aktiiviset energiatehokkuusmenetelmät eli energian tuotanto otettu käyttöön.

Passiivenergiatalo on tarkoitus tavoittaa järkevin energian kulutuksen vähäisin muoto, kun taas nollaenergiatalo voi olla ihan mikä tahansa rakennus.

Rintamamiestalo, jonka sadat tuulimyllyt tuottaa energiaa nollaamaan sen

energiankulutuksen on myös nollaenergiatalo, kuten on etelän aurinkokennoja käyttävät kodit.”

Passiivenergiataloissa tavoitellaan ihanteellista tilannetta, jossa kiinteistön talotekniikka ja rakenteet ovat niin tiiviitä, että varsinaista lämmitysjärjestelmää ei tarvitse olla rakennuksessa. Koska rakennusten koko elinkaareissa lämmityskustannukset ovat suuri osa kuluja, pienempi kulutus olisi merkittävä säästö. Passiivitalon kriteeri on alhainen lämmitysenergian tarve, korkea ilmanpitävyys ja alhainen energiankulutus. Sillä erittäin tiiviissä talossa ilmanvaihto ei voi tapahtua rakenteiden läpi, koneellisella ilmastoinnilla on vastuu huolehtia rakennuksen ilmanlaadusta. Lämmitysjärjestelmän sijasta lämmitys toteutuu rakennuksessa toimivien kodinkoneiden, elektroniiikan tai valaistusten tuottaman lämmön avulla. (Nieminen 2008)

2.1.3 Nollaenergiatalo

Nollaenergiatalo on rakennus, jossa ostoenergian ominaiskulutus on nolla. Nollaenergiataloissa tulee tarpeelliseksi erottaa nettoenergian ominaisarpeen ja ostoenergian ominaiskulutuksen ero. Aikaisissa energiatehokkuusluokissa nämä arvot ovat olleet samat, sillä kaikki lämmitykseen käytetty energia on oletuksena ostoenergiaa.

Nollaenergiatalon ero passiivitaloon ei tule nettoenergiatarpeen vähentämisestä vaan ostoenergian korvaamisesta uusiutuvilla paikallisesti tuotetulla energialla, joka toimii rakennuksen lämmityksen turvaajana. Nollaenergiatalon voi periaatteessa valmistaa kuinka pienen energiatehokkuuden omaavasta rakennuksesta, sillä ainoa ehto talolle on kattavan kokonaisenergian kulutuksen uusiutuvalla energialla. Tämä ei tietenkään ole kustannusmielessä järkevää. (Tamayo 2014.)

Nollaenergiatalon rakentaminen on edelleen EU:n tavoitteena osana EU:n kestävä kehityksen politiikkaa. Käytännössä jäsenmaat tulevat rakentamaan taloja, joissa absoluuttinen nollaenergiatavoite ei tule toteutumaan. Jäsenmaat ovat sopineet vaihtoehtoisesta energiatehokkuusmallista, jota kutsutaan miltei nollaenergiataloksi (nZEB) eli Nearly zero energy building.

Esitelmässään ”Development of nearly zero energy buildings in Europe and related European standards” professori Jarek Kurnitski esittelee nearly zero energy buildings energialuokan. Tässä luokituksessa otetaan huomioon maakohtaiset lieventävät seikat kuten nykyinen taloustilanne, maantieteellinen sijainti ja uusiutuvien luonnonvarojen kapasiteetin mukaan. Kuitenkin huomioitavaa on se, että uusiutuvan energian kustannustehokkuus ei saa olla esteenä sen käytölle, eli vauraan maan on oltava valmis tuottamaan uusiutuvaa energiaa vaikka se ei olisi kustannustehokasta. (Kurnitski 2014, 6-10.)

3 RAKENNEKOSTEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Lämmöneristys ja kosteuseristys ovat toisistaan riippuvaisia ominaisuuksia ulkovaipan toiminnassa, sillä molemmat osapuolet vaikuttavat toisiinsa vahvasti. Huonosti suunniteltu kosteuseristys aiheuttaa lämpöeristeiden kastumisen ja heikkenemisen ja huonosti suunniteltu lämpöeristys myös aiheuttaa kosteutta rakenteissa ja tekee kosteuseristyksestä hyödyttömän. Käsitellään tapoja miten kosteus kohtaa rakenteet, joita on käsitelty Björkholtzin kirjassa Lämpö ja Kosteus.

3.1 Sade

Sateen vaikutus koko rakennuksen eliniässä jakautuu kahteen eri jaksoon: rakennuksen aikainen sade ja rakentamisen aikainen sade.

Rakentamisen aikana on hyvin tärkeää huolehtia, siitä että asentamattomat rakennusmateriaalit eivät pääse kastumaan lumi- tai vesisateiden takia työmaalla. Vesi, joka on päässyt jo rakentamisen aikana kertymään joko lämmöneristysvilloihin, puurakenteisiin tai elementtien väleihin, luo epäsuotuisan alkutilanteen heti lähdöstä. On selvää, että tulevaisuuden erittäin tiiviistä ulkoseinästä rakennusvaiheessa kertynyt rakennekosteus ei tule poistumaan, mikä asettaa vaativat ehdot työmaan materiaalien kosteussuojaamiselle ja varastoinnille.

Valmistuneessa rakennuksessa sade kuormittaa ulkovaippaa sekä rakennuksen kattoa. Ulkoseiniä rasittava sade eli viistosade on tärkein tämän työn kannalta.

Kuinka paljon viistosade rasittaa seinää, riippuu ulkoseinän pintamateriaalin vedenimuominaisuuksista. Suuren vedenimukyvyn omaavat pinta-aineet imevät vettä itseensä, kunnes ovat vedestä kyllästyneitä. Ylimääräinen vesi kasaantuu aineen pinnalle vesikalvoksi, kunnes tuulen voima puskee veden aineen läpi toiselle puolelle. Tiilet ja rappaukset ovat esimerkiksi aineita, jotka käyttäytyvät tällä tavalla. Ilmarako julkisivumateriaalin ja muun rakennetyypin välillä torjuu veden kulkeutumisen eteenpäin. (Björkholtz 1997, s.40-41)

3.2 Kosteusvauriot

Kosteus- ja homeongelmat syntyvät, kun rakenteiden eri osien kyky sietää kosteutta ylittyy, luoden mikrobeille ja homeille ympäristön kasvaa ja aiheuttaa terveysongelmia. Yhtä kaiken kattavaa selitystä ei ole sille, milloin kosteusvaurio on huonon rakennesuunnittelun tulosta ja milloin se on vain luonnollisen rakenteen vanhentumisen tulosta, joten kaikki home- ja mikrobiongelmat eivät ole kosteusvaurioiden aiheuttamia. Suomen akatemian ja Luonnonvarain tutkimussäätiön hankkeiden tuloksissa on todettu suhteellisen kosteuden ylittäessään 80 % rajan mahdollistavan homeen vakavan kehityksen rakenteissa, mutta tämä raja-arvo elää lämpötilan ja vaikutusajan mukaan. Tutkimuksissa tuli ilmi, että mikäli kosteus rakenteissa on vain väliaikaista, vaurioita ei synny. Alhaiset lämpötilat myös hidastavat homeiden kasvua ja antaa armonaikaa rakenteen kosteusjaksona. Mikäli rakenne tai materiaali jätetään huoltamatta ja se altistuu pitkäaikaiselle kosteusrasitukselle, joka ylittää sen sietokyvyn, kosteusvaurio syntyy haitallisten kasvustojen ilmestyessä sen pinnalle tai sisälle. Viitanen toteaa, kuinka suurin osa rakennusvaurioista on kosteuden aiheuttamia ja listaa yleisimmät syyt itse vaurioille, kuten esimerkiksi huono suunnittelu, tahallaan laiminlyöty toteutus tai materiaalivirheet. (Viitanen 2007, 335-345)

3.2.1 Home- ja mikrobiongelmat

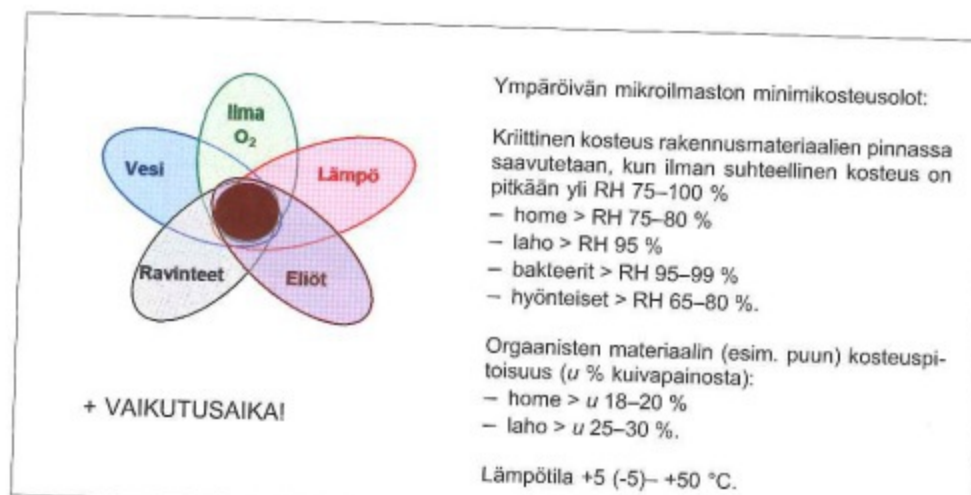
Tiedot perustuvat RIL 250-2011-kirjaan ja Sisäilmäyhdistyksen verkkosivuihin.

Kosteus itsessään ei luo sisäilmaongelmia, vaan se luo alustan mikrobikasvustoille, joiden eritteet tai hiukkaset päästyään hengitysilmaan aiheuttavat terveysongelmia. Nämä elävät organismit tarvitsevat vettä, lämpöä, happea, kasvualustan, ravinteita ja aikaa kasvaakseen materiaalien pinnoilla tai sisässä. Tärkeimmät näistä kriteereistä ovat kosteus, lämpö ja aika. Rakenteet erittäin harvoin ovat täysin ilmatiiviitä, jotta hapensaanti olisi estetty, poikkeuksina erittäin tiiviiseen maahan pakatut ja vedenalaiset olosuhteet. Nämä eivät ole relevantteja ulkoseinätutkimuksessa. Mikrobit tulevat toimeen niukankin ravinnon avulla, yleinen rakennuspöly rakenteen pinnalla esimerkiksi kelpaa jo.

Kosteutta tarkastellaan suhteellisen kosteuden parametrin kautta, joka ilmoittaa kuinka paljon kosteutta ilmassa on verrattuna ilman kokonaishöyrykapasiteettiin. Kosteus ja lämpötila vaikuttavat yhdessä tärkeimmin, kuinka nopeasti home- ja mikrobivauriot syntyvät rakenteeseen. Homeelle, lahoamiselle ja bakteereille on omat raja-arvonsa, jolloin kasvu on mahdollista, mutta tämä pelkästään ei anna tarkkaa kuvaa, onko kyseessä riski homeongelmalle. Rajusti muuntuvat olosuhteet ja mahdollinen rakenteen kuivuminen vaikuttavat homeen kehitykseen rajusti ja tekevät selvien johtopäätöksien vetämisestä epäselvää.

3.2.2 Kriittiset raja-arvot

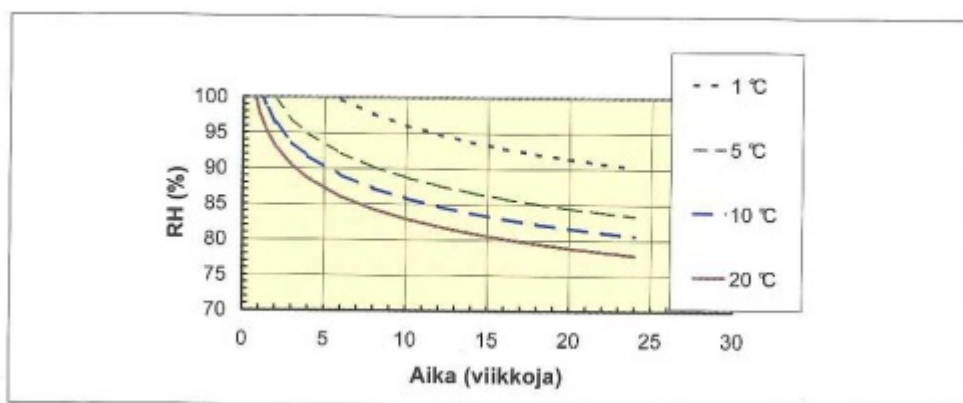
Olosuhteet, jotka haitalliset kasvustot tarvitsevat muodostuakseen todelliseksi uhkaksi ovat tulleet selviksi laajojen tutkimusten ansiosta.



Kuva 2: Vaurioiden kannalta tärkeät tekijät (RIL 250-2011 s.153)

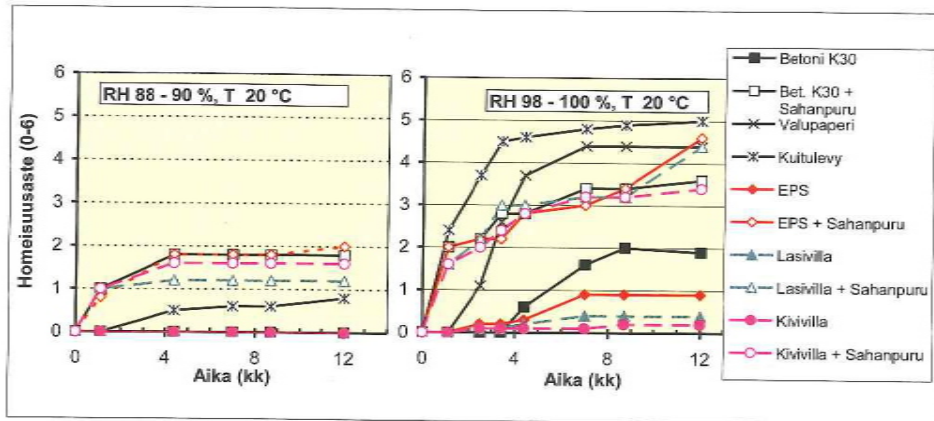
RIL:n kirjasta otetusta kuvasta käyvät ilmi tärkeimmät arvot, jotka ovat tärkeimmät kohdisteltavat asiat simulaatioiden ulosannista. Lahoamisen ja bakteereiden kriittinen raja on selkeä ja helposti tutkittavissa, puun kosteuskäyttäytyminen on tasaista ja tapaukset, joissa lahoaminen on mahdollista, ovat erittäin ilmiselviä. Bakteerit kasvuolosuhteet lähestyvät jo selvää kosteusvauriota, toimen kylkiäisinä muiden ongelmien kanssa.

Tärkein onkin home ja homeenkasvu. Vaikka 75 % RH ja +5 asteen lämpötila mahdollistavat homeen kasvun, kasvu olisi erittäin hidasta. Kuvan 3 kuvaajassa on esitetty eri viikkomääriä, jotka home tarvitsee kasvaakseen kyseisissä olosuhteissa. Sekä alhaiset lämpötilat ja niukat kosteusmäärät luovat erittäin huonot kasvuolosuhteet homeelle ja homeen kasvaminen on niin hidasta, että se ei koidu haitaksi. (RIL 250-2011 s.153)



Kuva 3: Homeen kasvun alkamiseen johtavat kriittiset kosteus- ja lämpöolot sekä niiden vaikutusaika pitkään vakiona olevissa oloissa pintapuussa. (RIL-250-2011 s.155)

Lämpö-olojen ja kosteuden yhteisvaikutuksella on suurin osuus homeen kasvamiselle. Pitää olla samaan aikaan sekä lämmintä että kostea monen viikon ajan, jotta selvä homevaurio voidaan todeta. Esimerkiksi sienet kehittyvät pinnoille erittäin nopeasti jos suhteellinen kosteus on yli 95 % ja lämpötila 20 asteen yläpuolella. (RIL-250-2011 s. 155)



Kuva 4 Erilaisten materiaalien homehtuminen eri kosteusoloissa ajan suhteen (RIL-250-2011 s.155)

Myös pintojen materiaaleilla on suuri vaikutus homeen kasvuun. Orgaaninen pienaine on parempi kasvualusta kuin kuivat mineraalivillat, mutta kaikki aineet muuttuvat homeelle suotuisiksi kasvupaikoiksi, jos ne sotketaan rakennusjätteillä tai pölyllä. (RIL-250-2011 s.155)

3.3 Kosteaa ilmaa

Kosteaa ilmaa on kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Kastepiste on lämpötilasta riippuva määrä vesihöyryä jota ilma voi sisältää ilman kondensoitumista eli nesteen syntymistä pinnoille. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä suurempi kastepiste on ja sitä enemmän vesihöyryä ilma voi sitoa itseensä. Tästä syntyy perussääntö rakenteiden kosteuskäyttäytymiselle: Kosteaa ilmaa ei saa päästä kylmenemään niin nopeasti, että vesihöyry kondensoituisi rakenteen sisällä. (Björkholtz 1997, s.43)

3.4 Rakennekosteus

Rakennekosteus on rakenteesta poistuvaa vettä. Rakentamisen aikana materiaalit joko keräävät tai menettävät kosteutta varastoinnin, kuljetuksen tai työstämisen aikana. Esimerkiksi betoniin kerääntynyt vesi sen tuotannosta siirtyy diffuusion avulla pois ajan kuluessa ja voi aiheutua ongelmaksi, jos betonin pinnat on kääritty ja kosteuden haihtuminen on estetty. Rakennekosteus

myös yrittää tasata itseään materiaalien kohdatessa. Märkä saumaustaasti kuivaa ja rapistuu kun vesi karkaa pois siitä kuivaan tiiliskiveen. (Björkholtz 1997, s.51)

3.5 Diffuusio

Vesihöyrypitoisuuksien eroavaisuudet sisä- ja ulkoilman välillä aiheuttaa diffuusiota. Ilmatilasta, jossa on enemmän vesihöyryä, syntyy kosteusvirta joka yrittää tasapainottaa huonetilojen vesihöyrypitoisuudet. Kuinka paljon vettä seinän läpi kulkee, riippuu käytetyistä rakennusmateriaaleista ja niiden vesihöyrynläpäisevyys-arvoista. (Björkholtz 1997, s.55)

3.6 Hygroskooppisuus

Joillekin aineille on ominaista huokoinen rakenne, joka antaa näille aineille kyvyn sitoa vettä itseensä ja myös luovuttaa sitä. Lähtöpiste on hygroskooppinen tasapaino, missä aineen ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ja itse aineen suhteellinen kosteus ovat samat. Tasapainon kosteustaso vaihtelee eri aineiden välillä.

Hygroskooppisuus on ilmankosteutta tasaava voima. Ilman kuivatessa kosteutta vapautuu takaisin ilmaan aineesta ja ilmankosteuden noustessa taas aine sitoo sitä hieman itseensä. (Björkholtz 1997, s.59-60)

3.7 Konvektio

Konvektio on aineen virtausta ja aineen mukana kulkeutuvan kosteuden tai lämmön virtausta. Rakennuksissa tärkein on ilmapaine-erojen luomaa ilman virtausta rakenteissa tai ilmanvaihdossa.

Pystyrakenteissa on mahdollista esiintyä pystysuoraa virtausta ulkoilman lämpötilasta riippuen. Luonnollinen konvektio on huomattavaa enimmäkseen silloin, kun sisä- ja ulkotilojen lämpötilaerot ovat suuret ja aiheuttavat suuren eroavaisuuden ilman tiheydessä. Kylmän ulkokuoren vieressä seisova ilma jäähtyy ja muuttuu tiheämmäksi, laskeutuen eristekerroksen sisällä alaspäin. Lämpimän sisäkuoren vieressä oleva ilma lämpenee ja muuttuu harvemmaksi, nousten ylöspäin. Tämä kierre liikuttaa vesihöyryä ja lämpöä rakenteen sisällä.

Luonnollinen konvektio tulee huomioitavaksi seikaksi erittäin paksuissa eristekerroksissa. Rakenteen sisäisen virtauksen kasvu ei aiheuta itsessään kosteuden syntyä, mutta altistaa kondensoitumiselle, kun ylimääräinen kosteus kulkeutuu ja tiivistyy kylmemmän seinän pinnalle. (Siikanen 2014, s.71-72)

Pakotetussa konvektiossa keinotekoinen virtaus luodaan esimerkiksi tuulettimilla. Tämä on osa talon ilmapaine-erojen säätämistä pakottamalla ilmanpaineen muuttumaan. Pakotettu konvektio voi myös kuljettaa vesihöyryä pois paikoista, missä se olisi ongelma.

4 ERISTEMATERIAALIT

4.1 Mineraalivilla

Unto Siikasen Rakennusaineopissa (s. 217- 220) selitettynä mineraalivilla on yleinen rakennuseristemateriaali, joka on epäorgaanisten kuitujen ja orgaanisten sidosaineiden yhdiste. Kaksi yleisintä tyyppiä villoille on lasi- ja kivivillat. Villatyypit eroavat koostumukseltaan ja hieman toiminnaltaan. Siinä missä kivivillat muodostuvat emäksisistä kivilajeista, lasivillan koostumus on kvartsihiekkaa, soodaa ja kalkkikiveä. Villat jakavat keskenään saman valmistustavan, missä linkopyörät ja vahva ilmavirta venyttävät sulat massat pehmeiksi kuiduiksi, jotka poltetaan uuneissa koviksi.

Villojen tiheys vaihtelee valmistustavan ja raaka-aineen mukaan, kivivilla on kaksi kertaa tiheämpää kuin lasivilla. Mineraalivilla omaa suuren ilmanläpäisevyyden eli ilma pystyy vapaasti virtaamaan materiaalin lävitse. Tämän takia ulko- ja sisäkuoren tiiveys ovat erittäin tärkeitä varmistaakseen, ettei konvektiota pääse syntymään eristekerroksen sisällä. Lämpötekniset ominaisuudet perustuvat huokoisessa villassa seisovaan ilmamassaan, ja vaihtelevat villan tiheyden perusteella. Jäykkä villan korkea tiheys pienentää ilmanläpäisyyttä huomattavasti, mutta lämmön johtumisen ansiosta heikentää sen lämmöneristyskykyä. Tämän johdosta eri villatiheyksien yhteistoiminta mitätöi villan ominaisheikkouksia.

Korkea kosteuspitoisuus heikentää villan lämmöneristyskykyä. Itse ilman suhteellinen kosteus ei vaikuta villan eristyskykyyn, joten vain itse villan kosteus on huomioitava. Villalla on myös korkea vesihöyrynläpäisykyky, päästään vesihöyryn lävitseen tiivistymättä. (Siikanen 2001, s.217- 220)

4.2 Puukuituvilla

Puukuituvilla tai yleisnimityksenä tunnettu selluvilla on pääosin keräyspaperista ja osin booraksista valmistettua eristemateriaalia. Vapaata ilmaa eristysaineessa on 85–92 % koko tilavuudesta. Lämmöneristysominaisuuksiltaan puukuituvilla häviää mineraalivilloille ja täten on vaikea valinta vaativien lämmöneristysvaatimuksen täyttämiseen, tässä tutkimuksessa sen osuus on toimia vertailukohteena kosteustarkastelussa puukuidun hygroskooppisten ominaisuuksien takia.

Puun solut varastoivat joko soluonteloihin tai soluseinämien sisälle vettä. Puun fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat sen solujen luovuttaessa ja sitoessa vettä itseensä, kutistuen tai paisuen. Tärkeää eristeiden kannalta on puukuitujen kyky tasapainottaa kosteutta seinärakenteissa, sitoen sitä itseensä kun kosteus nousee ja luovuttaen sen myöhemmin pois kun ilmankosteus laskee. (Siikanen 2001, s.42)

4.3 Muovit

Vaikka muovilla on monta eri muotoa muissa rakentamisen alueilla, rakennuseristeinä käytetyt muovit on pääosin solumuoveja. Solumuovit saavat nimensä valmistusprosessistaan, jossa raaka-aineisiin lisätään ponneaineita seoksen sisään. Valmistuksen kemiallisessa reaktiossa vapautuu lämpöä, joka saa ponne-aineet muuttumaan kaasuksi ja jäävät vangituksi itse muovin raaka-aineista syntyneiden solujen sisään, tuoden tuotteelle sille haetun lämmöneristävyuden. Kansankielellä solumuovit kuten styreenimuovit tunnetaan tuotenimellä Styrox. (Siikanen 2001, s.254)

4.3.1 Polystyreenit

Tavallisimmat Suomessa valmistettavat styreenimuovituotteet ovat solupolystyreeni eli EPS, iskunkestävä polystyreeni sekä lasinkirkas polystyreeni. EPS on näistä kolmesta tärkein tässä tapauksessa, sillä se on yleisesti käytettävä lämpöeriste.

Solupolystyreenin valmistaminen tapahtuu seuraavasti: Paisuviin rakeisiin tai sulaa muovimassaan sekoitetaan paineen avulla kaasuuntuvaa nestettä. Paisuvia rakeita hyödyntävä valmistustapa eli BASF:n menetelmä ensin esikäsittelee rakeita kuumassa vedessä, paisuttaen rakeet 2-5 mm:n läpimittaisiksi palloiksi. Muutaman päivän jäähdyttelyn jälkeen pallot laitetaan muottiin ja paisutetaan levyksi kuumalla vesihöyryllä. Dow-menetelmässä sula muovimassa suoraan viedään muottivaiheeseen ja kuumennetaan, jolloin kaasuuntuva aine paisuttaa muovin levyksi. (Siikanen 2001 s.260–261)

Tuloksena molemmista valmistustavoista on hajuton, myrkytön ja umpisoluinen muovieriste, jonka vedenimemiskyky on vähäinen. Lopputuotteita esiintyy kaksi, EPS eli Expanded Polystyrene ja XPS Extruded Polystyrene. Siinä missä EPS on paisutettua muovia, XPS on suuttimen läpi puristettua muovia. Tärkein ero kahden tyypin välillä on solujen avoimuus. XPS:n solut ovat suljettuja ja sisältävät eristäviä kaasuja sisällään, antaen materiaalille paremmat lämmöneristävyysarvot sekä puristuskestävyyden. EPS:n solut ovat avonaisia, mikä helpottaa höyryn kulkeutumista eristeen läpi ja tekee eristeestä joustavampaa ja helpommin työstettävää työmailla.

Polystyreenin käyttö on erittäin laajaa. Eristämiseen se kelpaa rakennuksen jokaiseen suuntaan, putkien päällä, betonin sisässä, tierakentamisessa, routasuojana, kellukkeena tai vain pakkausaineena. (Truefoam Limited 2014)

4.3.2 Polyuretaani

Polyuretaanimuovia voi muotoilla moneen eri tarkoitukseen, mutta rakenneeristämiseen sitä käytetään kovassa levymuodossa. Polyuretaani muodostuu, kun polyeteenit tai polyesterit liitetään yhteen katalysaattoriaineiden

avustuksella vahtoutumisprosessin aikana. Solutusaineena käytetään kaasuuntuvia nesteitä kuten vettä.

Polyuretaanin tekniset ominaisuudet ovat erittäin hyvät, mutta on yleisiin eristemateriaaleihin verrattuna kallista käyttää, vaikka sen menekki on pienempi erittäin hyvän lämmönläpäisyvastusarvojen takia. Uretaani on myös erittäin heikosti syttyvää ja pystyy sammuttamaan itsensä. (Siikanen 2001 s.263)

5 SIMULAATION LÄHTÖKOHDAT

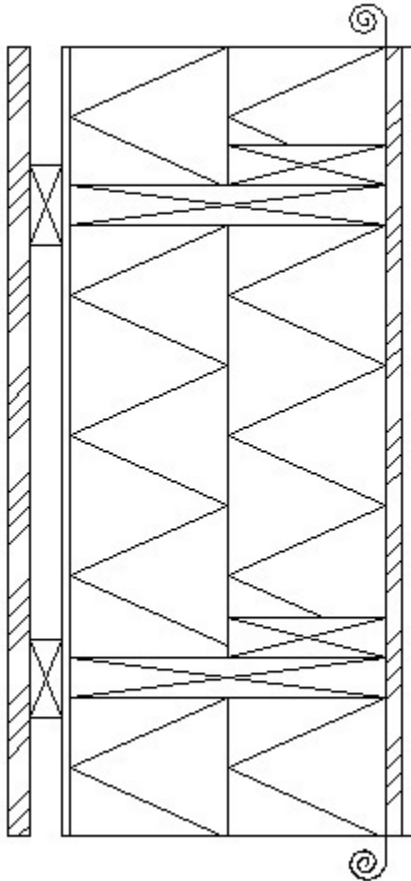
5.1 Wufi

Wärme und Feuchte instationär eli WUFI on Saksasta peräisin olevan Fraunhofer-instituutin rakennusfysiikkaan keskittyneen IBP-siiven tietokoneohjelma, joka simuloi virtuaalisen rakenneleikkauksen lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä reaaliajassa. Ohjelma sisältää 97 kaupungin säätiedot, kattavan materiaalitietokannan ja verkossa olevan dokumentoinnin. Suomen yhteistyökumppanina IBP:n kanssa toimii VTT Expert Services Oy, joka jälleenmyy myös ohjelman lisensoijana. (Fraunhofer IBP 2014)

5.2 Koeseinät

Kaikki rakennetyypit ovat rakennettu passiivienergiatalovaatimusten mukaan. Yhteensä neljä seinää on suunniteltu edustamaan sekä eri eristemateriaaleja sekä eri runkomateriaaleja ja -tyyppejä. Rakenteissa ei ole otettu kuormia huomioon.

5.2.1 Puurakenteinen rankaseinä



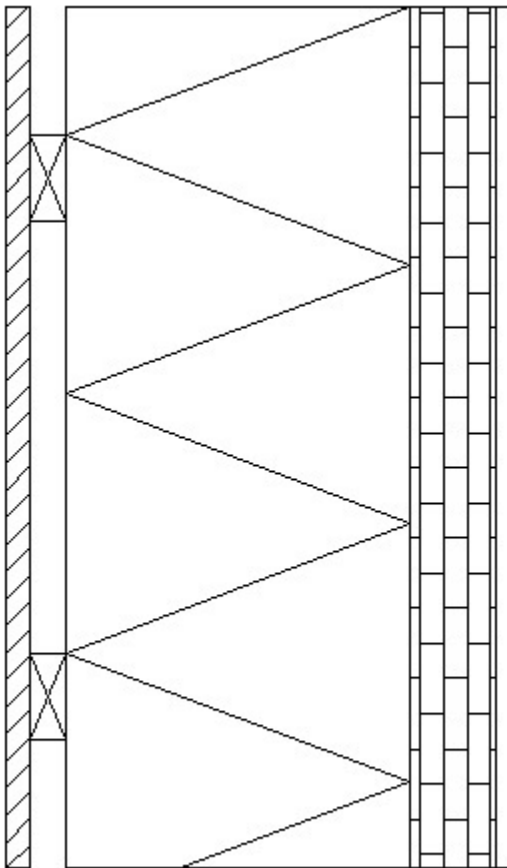
Tieto:	Arvo:
U-arvo:	0.101 W/m ² K
Pintavastus, ulko (U):	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä (S):	0.130 m ² K/W
Vesihöyryn vastus:	1.181e+05 m ² hPa/g
Vesih.läpäisykerroin:	8.470e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	9.940 m ² K/W
Paino:	51.69 kg
Hinta:	0.00 euro

Kuva 5 Piirros rakennetyypistä ja laskennallisia arvoja DOF-Lämpö -ohjelmasta

Kantava ulkoseinä perustuu Puuinfo-organisaation RunkoPES 2.0-standardiin, jossa kantavana rakenteena toimivat runkotolpat. Tukipuiden ja rungon aiheuttamat vaikutukset seinän u-arvoon tekevät seinän paksuuden ja eristekustannusten optimoinnista vaativaa. Tämän seinäleikkauksen kokonaispaksuus on 515 mm ja eristepaksuus 400 mm. U-arvo on laskettu käyttäen lasivillaa, jonka Lambda Design arvo on 0,033 W/mK. Eristepaksuus nostaa puurakenteiden korkeutta, joten palkit ja pilarit on laskenassa oletettu viilupuuksi eli tuotenimeltä tunnettuna kertopuuksi.

Huomioitavaa, että kyseinen U-arvo läpäisee juuri ja juuri pientalojen ulkoseinien vaatimuseron joka on nimetty RIL 249-2009 kirjassa (s.34), joten liikuntavaraa eri eristeiden ja eristepaksuuksien kanssa ei ole. Lisätietoja ja yksityiskohtia rakennetyypistä on liitteessä 1 [US401KR.pfd]

5.2.2 Puu-rakenteinen CLT-seinä



Tieto:	Arvo:
U-arvo:	0.082 W/m ² K
Pintavastus, ulko (U):	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä (S):	0.130 m ² K/W
Vesihöyryn vastus:	1.647e+05 m ² hPa/g
Vesih.läpäisykerroin:	6.072e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	12.211 m ² K/W

Kuva 6 Piirros rakennetyypistä ja laskennallisia arvoja DOF-Lämpö -ohjelmasta

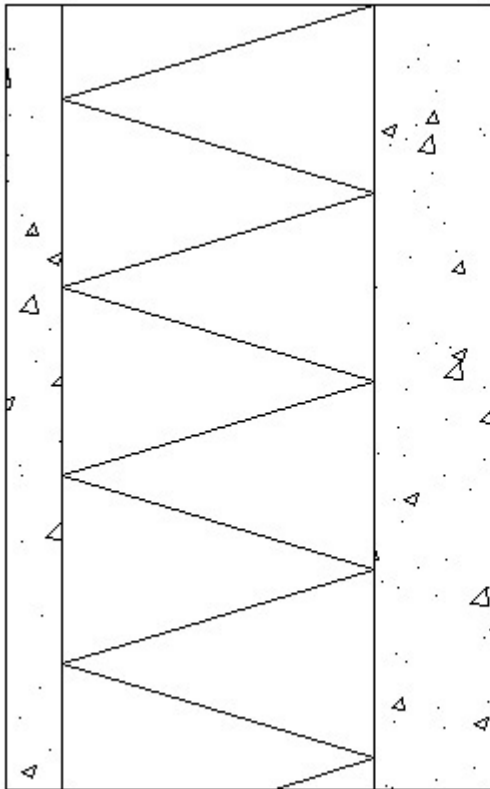
Myös tämä puurakenteinen ulkoseinä perustuu RunkoPES 2.0-standardiin, jossa kantavana rakenteena toimii tällä kertaa CLT-elementti. CLT eli Cross laminated timber on seinälevyä, jotka on valmistettu ristikkäin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista, luoden kuormia kantavan seinäpalan.

Huomioitavaa verrattuna edelliseen puuseinään on se, että ulkopuolella ei ole palosuojalevyä vaan eristeen on oltava palonkestävää. Tämän takia eristeenä on tällä kertaa käytetty 400 mm kivivillaa, jonka ulkopinta on kestettävä tuuletusta.

Kokonaispaksuus on 585 mm, joka on tolpparunkoseinää paksumpi, mutta kylmäsiltojen puute antaa paremman U-arvon.

Tässä laskennassa kivivillan Lambda Declared arvo on 0,033 W/mK ja CLT-seinä on tiiveytensä kannalta laskettu WUFI-ohjelman Saksan tietokannasta löydettyjen CLT-seinätiетоjen mukaan. Lisätietoja ja yksityiskohtia rakennetyypistä on liitteessä 2 [US401KM.pfd]

5.2.3 Betoni sandwich-seinä, jossa EPS eriste



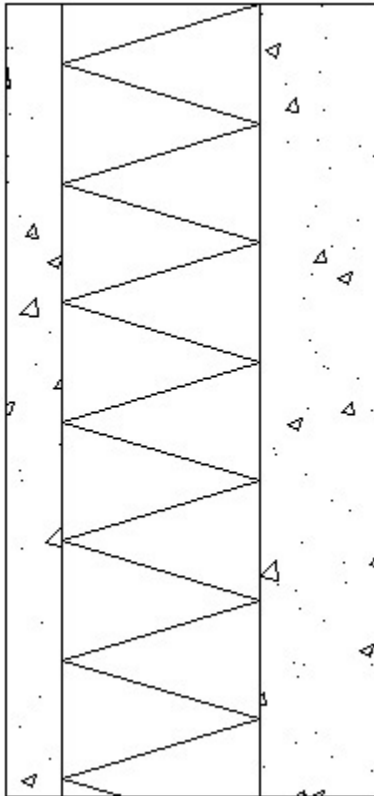
Tieto:	Arvo:
U-arvo:	0.088 W/m ² K
Pintavastus, ulko (U):	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä (S):	0.130 m ² K/W
Vesihöyryn vastus:	1.508e+05 m ² hPa/g
Vesih.läpäisykerroin:	6.630e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	11.369 m ² K/W
Paino:	528.40 kg
Hinta:	0.40 euro

Kuva 7 Piirros rakennetyypistä ja laskennallisia arvoja DOF-Lämpö -ohjelmasta

Betonelementtisandwich-seinän eristysmateriaalina toimii paisutettu polystyreeni eli EPS. Ulkokuoren ja sisäkuoren paksuudet ovat 70 mm ja 150 mm. EPS eristeen Lambda Declared arvo on 0,036 W/mK ja muut tekniset tiedot perustuvat suomalaisen EPS eristeen valmistajan tietoihin. Mitattavan seinän kokonaispaksuus on 620 millimetriä. Kerrostaloilla on löysemmät U-arvo vaatimukset, jolloin seinän eristepaksuudessa on tinkimisvaraa, joka mahdollistaa ohuemman seinän. EPS-eristeen uritusta ei ole otettu huomioon laskelmissa.

Ulkokuoren pinta on oletettu maalatuksi kerman värisellä maalilla, joka vaikuttaa kuinka paljon auringonvalo lämmittää pintaa ja kuinka kosteus läpäisee pinnan sekä sisältä ulos kuin toisinpäinkin.

5.2.4 Betoni sandwich-seinä, jossa PUR eriste



Tieto:	Arvo:
U-arvo:	0.097 W/m ² K
Pintavastus, ulko (U):	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä (S):	0.130 m ² K/W
Vesihöyryn vastus:	1.092e+05 m ² hPa/g
Vesihäpäisykerroin:	9.160e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	10.258 m ² K/W

Kuva 8 Piirros rakennetyypistä ja laskennallisia arvoja DOF-Lämpö -ohjelmasta. Kyseessä on samanlainen seinä kuin edellinen rakennetyyppi, mutta eriste on vaihdettu EPS:stä polyuretaanieristeeseen. Tekniset arvot on otettu suomalaisen PUR-eristeitä valmistavan yrityksen tuotteiden tuotetiedoista. PUR-eristeen uritusta ei ole otettu huomioon laskennassa.

5.3 Muut lähtötiedot

Jokaisen simulaation alkukosteus ja – lämpötila eri rakennekerroksille on ollut WUFI:n oletusarvot 80 % RH ja +20 astetta. Laskettaessa säämuutoksia ja kosteuskehitystä vuosikymmeniä, laskenta päättyy pois alkuarvoista ensimmäisten vuosien aikana ja löytää oikean tasapainon, joka toistaa itseään

aloitusarvoista huolimatta. Myös totuudenmukaisten alkuarvojen löytäminen ei onnistunut tiedonhaun vaiheessa, sillä yritykset kuten Stora-Enso tai Parma eivät vastanneet viesteihini, joissa tiedustelin esimerkiksi CLT-seinien toimituskosteutta.

Kaikki seinät on simuloitu olettaen, että ne ovat eteläseiniä Espoossa. WUFI:n tietokantojen Espoon säätiedot, joita ohjelma käyttää simuloimaan säätiloja, perustuvat VTT-tietoihin.

Simulaatioiden pituudet määräytyivät sen mukaan, kuinka kauan tietokoneella kesti laskea kukin tapaus. Ohjelmalla on epämiellyttävä piirre suorittaa koko simulaatio alusta loppuun, mutta epäonnistua kuitenkin luomaan tulostarkastelu jälkianalyysejä varten. Tämän takia jokainen testi oli tähdätty kestämään noin 10 minuuttia, jotta pystyin ajamaan laskentoja jatkuvasti läpi pieniä muutoksia tehden, toivoen ohjelman antavan lopulta tuloksia ulos. Mikäli ohjelma ei olisi ollut näin ongelmallinen, kaikki testit olisi ajettu suuremmalla tarkkuudella.

Ulkopinnan sadeabsorptioarvot ja auringon säteilyn emissioarvot ovat nolla kaikilla ulkoseinillä, joilla on tuuletusväli erottamassa eristeen ja ulkoverhouksen. Betonipinnat on laskettu maalatuiksi kermanvärillä maalilla.

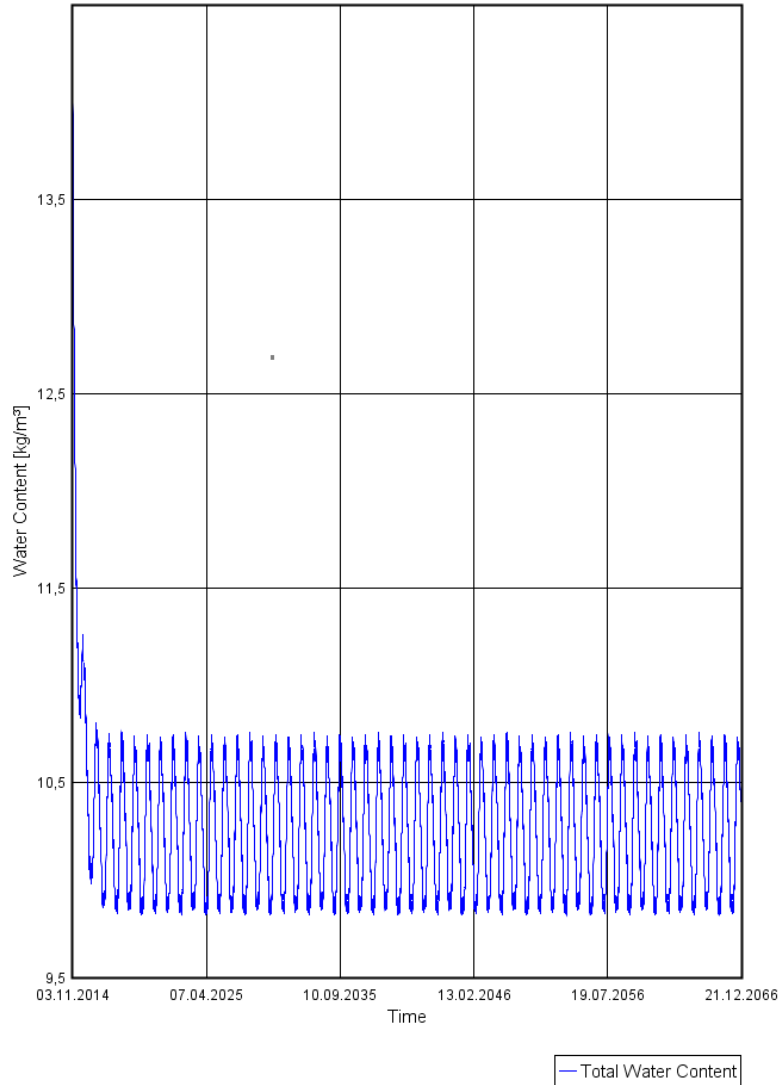
Tarkasteluajanjaksot ovat yli 50 vuotta puurakenteilla ja yli 100 vuotta betonirakenteilla. Toistuvien syklien takia tarkat vuosimäärät eivät ole hyödyksi, sillä usein kosteuskehitys ei muutu 10 vuoden jälkeen merkittävästi.

6 SIMULAATION TULOKSIA

Simulaatioiden tulokset esitetään kuvina ja lyhyinä tarkasteluina mikäli tuloksista esiintyi huomattavia riskitilanteita.

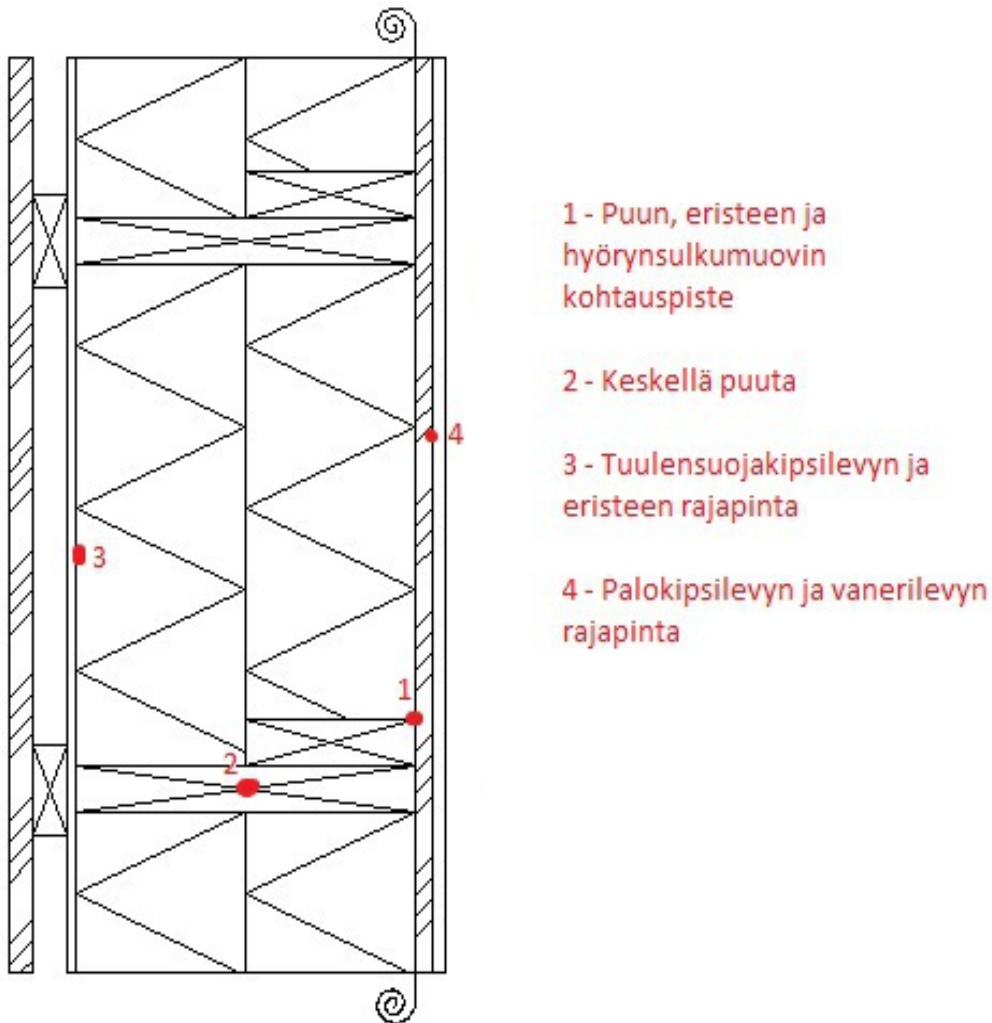
Pitkänaikavälin simulaatioissa on selvää, että laskenta löytää lopulta tasapainon ja toistaa itseään vuodesta toiseen.

Total Water Content



Kuva 9 Esimerkki tuloksien toistuvuudesta, vesimäärä toista itseään koko 50 tarkastelujakson ajan

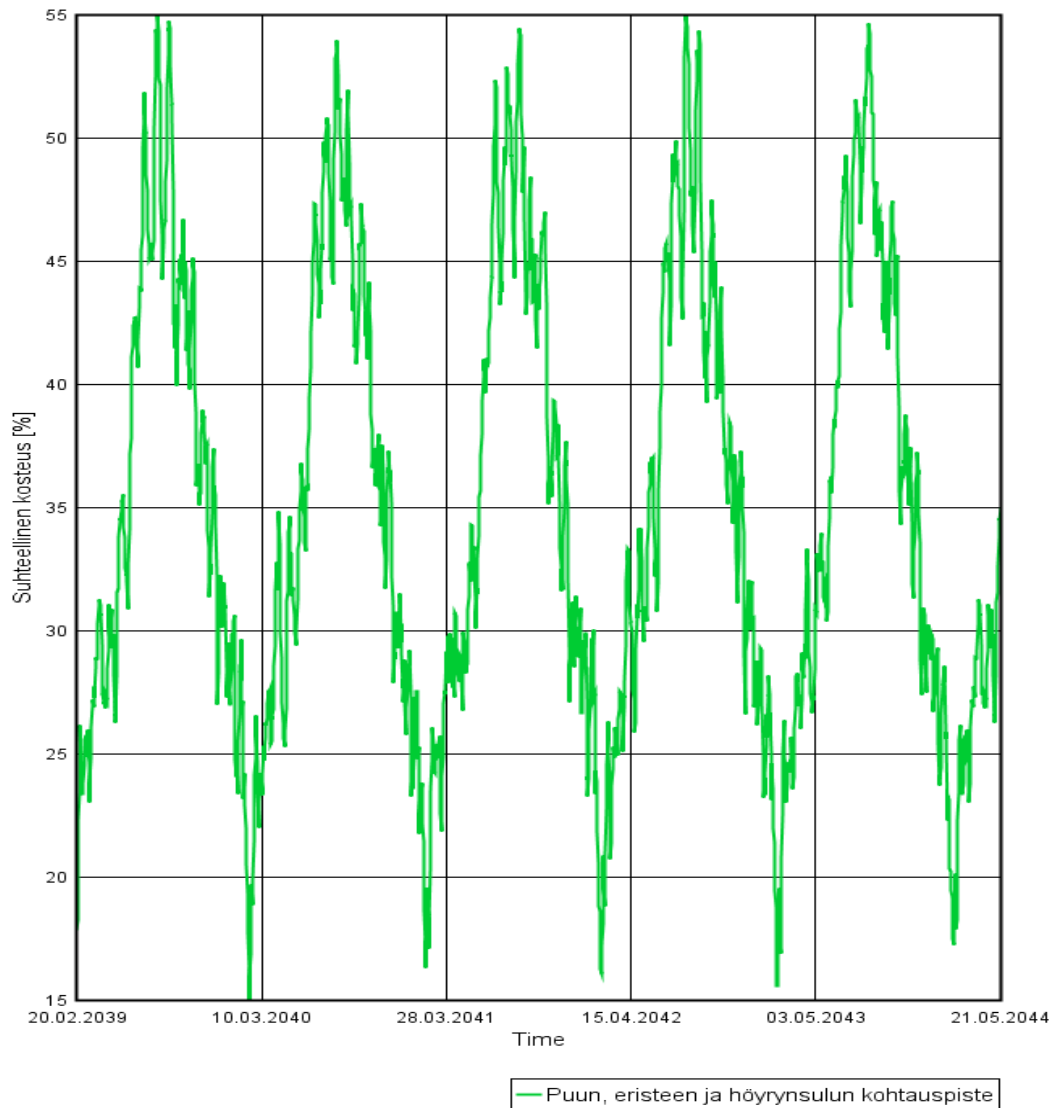
6.1 Rankaseinän tulokset



Kuva 10 Tarkastelupisteet

Tolpparunkoseinäistä otetaan tarkempaan tarkasteluun nämä neljä kohtaa. Jokainen tarkastelupiste on valittu olettaen sen olevan paikka, missä rakenteen kokonaistoimivuus voidaan todeta joko hyväksi tai huonoksi. Kohta 1 esimerkiksi kertoo, onko lämmöneristys tarpeeksi tehokas estämään veden tiivistymisen joko muovin tai puun pinnalle. Kohdassa 2 tarkastellaan puun sisäistä kosteustilannetta homeiden ja lahoamisen kannalta. Kohta 3 on kriittisin piste, jossa homeenkasvulle on suurimmat riskit. Kohdassa 4 on hyvin vähäinen riski olla ongelmia, mutta se on tarkastettu varmuudeksi.

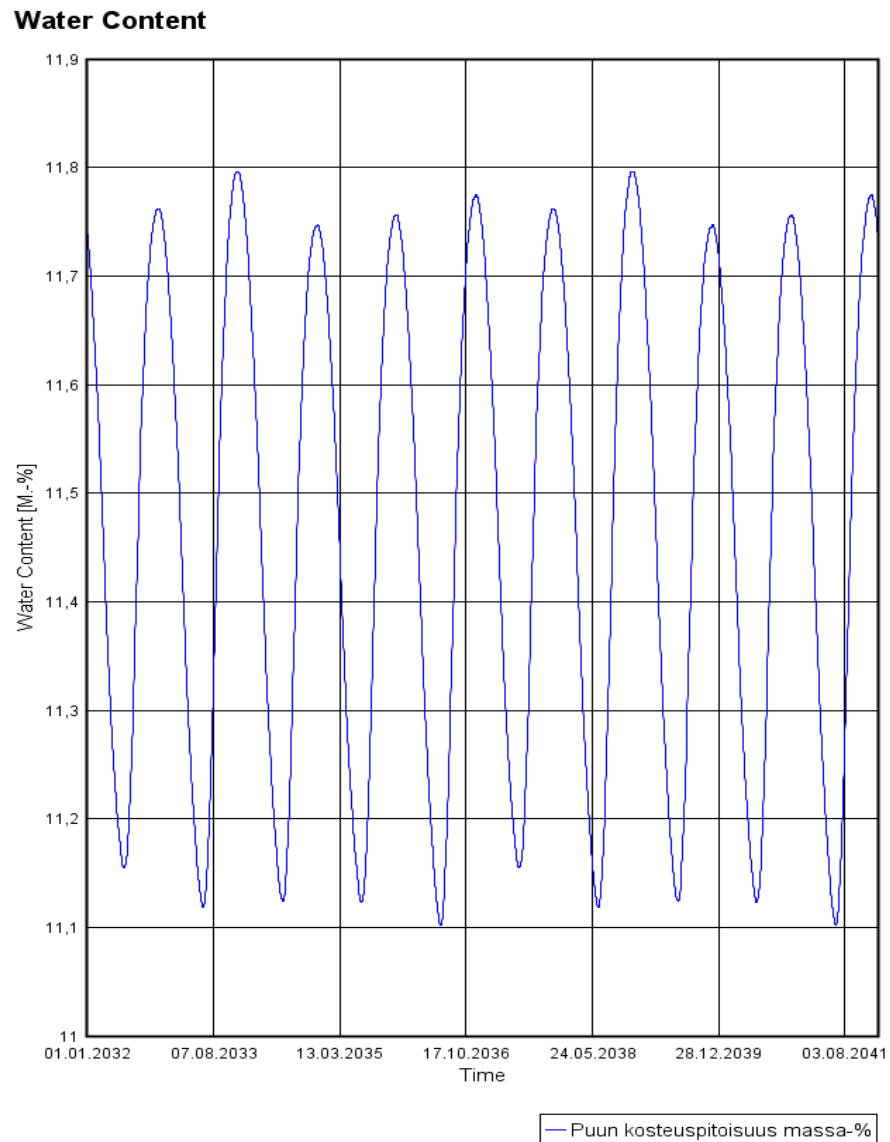
6.1.1 Tarkastelupiste 1

Relative Humidity

Kuva 11 Suhteellisen kosteuden käyrä tarkastelupisteessä

Suhteellisen kosteuden huippu käy 55 % RH:ssa kesäisin ja talvisin käy jopa niin alhaalla kuin 15 % RH. Syynä on tietenkin muovikalvon kyky estää sisäilman kosteuden diffuusio, joten kuvaajassa nähtävä kosteusheittely syntyy pelkästään ulkoilman kosteuden mukaan. Kosteusvaurion riski on nolla ja seinä on tässä kohtaa täysin turvallinen.

6.1.2 Tarkastelupiste 2

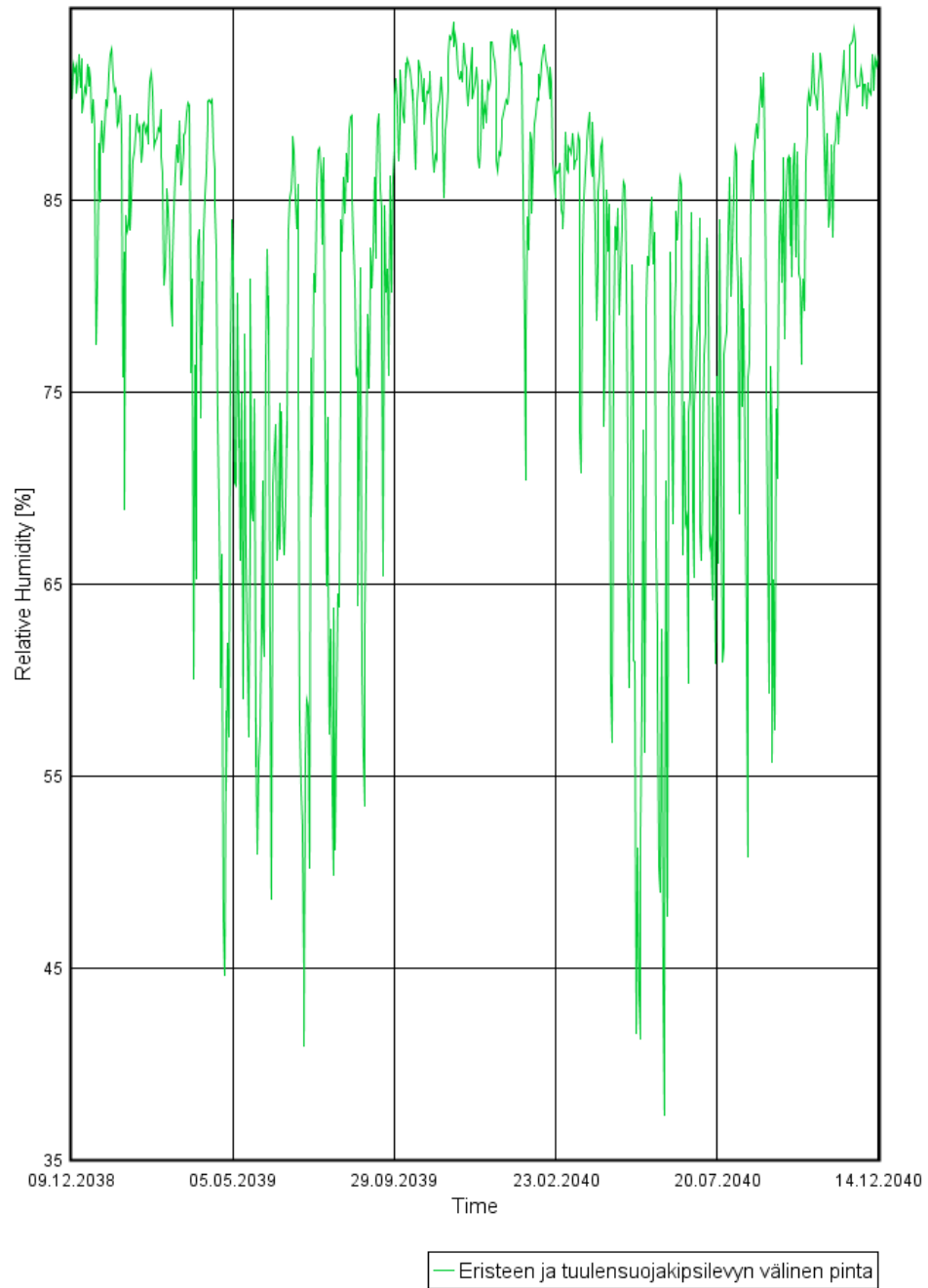


Kuva 12 Veden määrä puun sisässä

Kokonaispainosta puussa veden määrä on pysyvästi 11 % - 12 %. Kuvasta 2 löytyvä kriittinen raja on 18 %, joten puu pysyy kuivana ja lahoamisen tai homeen vaaraa ei ole. Puu on täysin terve koko tarkastelujakson ajan.

Kuvaajassa nähty sykli toistuu koko elinkaaren aikana.

6.1.3 Tarkastelupiste 3

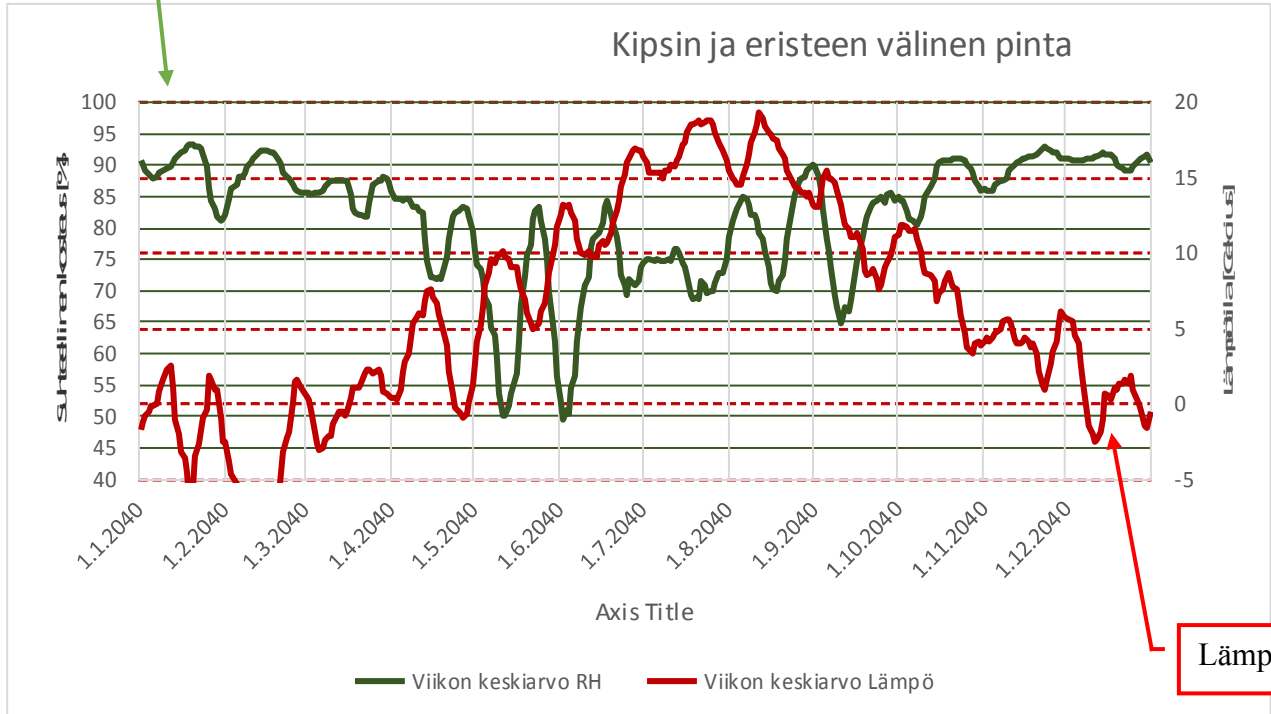
Suhteellinen kosteus

Kuva 13 Suuntaa-antava kuvaaja RH-kehityksestä

Tästä kuvaajasta selviää jo, että olosuhteiden vaihtelu on suurta ja suhteellinen kosteus ylittää 75 %:n kriittisen raja-arvon monessa kohtaa ja tarpeeksi pitkiksi aikaväleiksi, että homeenkasvulle on aikaa. Tarkastelupistettä oli tutkittava tarkemmin ja tuotava lämpötilat mukaan tarkasteluun, jotta järkevä

Suhteellinen
kosteus

riskitarkastelu olisi mahdollista. Myös aika rajattiin pelkästään vuoteen 2060 ja suurta vaihtelua päivittäisissä arvoissa tasattiin käyttämällä seitsemän päivän keskiarvoa.



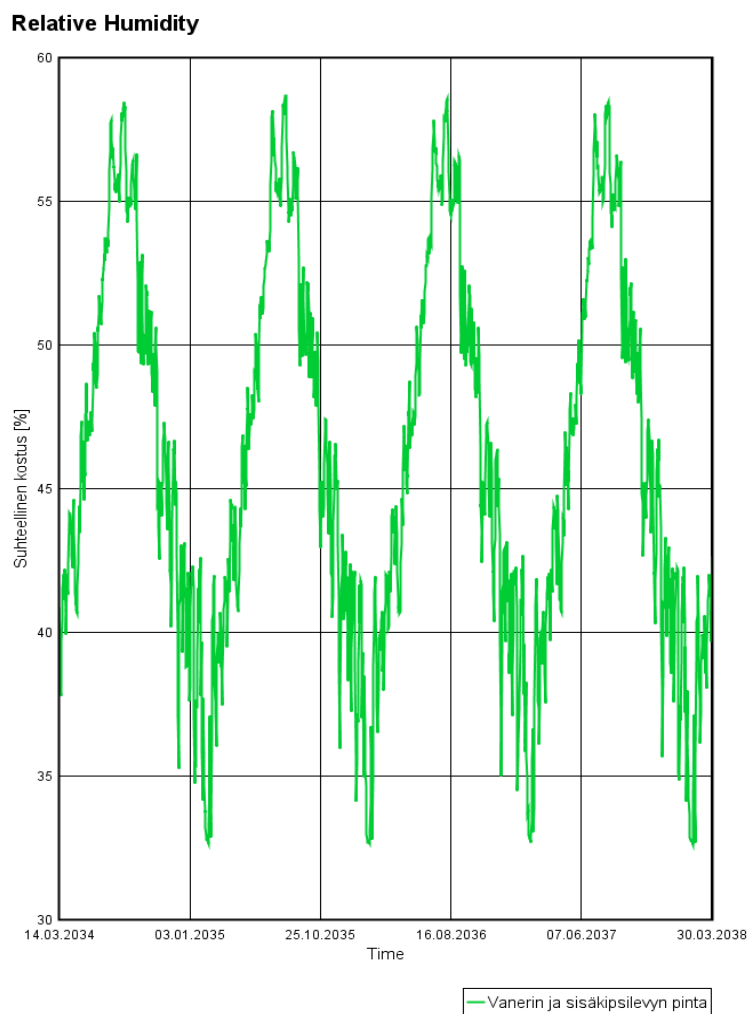
Kuva 14 Vuoden ajanjakson lämpö- ja kosteuskehitys viikon keskiarvoilla

Olettavasti talveksi lämpötila laskee alle +5 asteen ja pakkasen puolelle, joten vaikka tällä aikajaksolla suhteellinen kosteus on korkea, homeenkasvu on mahdotonta näin kylmissä oloissa. Huhtikuun aikana keskimääräinen lämpötila nousee +5 asteeseen ja pysyy siellä, mutta samalla suhteellinen kosteus romahtaa jopa niin alas kuin 50 %:iin RH. Homeenkasvulle nämä olosuhteet ovat liian sekasortoiset, ja homeen riskin voidaan todeta olevan epätodennäköinen.

Kesäkuussa noin puolet kuukaudesta kohdepisteessä on mahdolliset hyväksyttävät olosuhteet homeenkasvulle. Lämpötilat ovat +10 - +12 astetta ja suhteellinen kosteus vaihtelee 75 %:n ja 85 %:n välillä. Mutta nämä olosuhteet kestävät ainoastaan noin 2-3 viikkoa, joten homeen kehittyminen on epätodennäköistä. Heinäkuussa on vuoden korkeimmat lämpötilat, mutta suhteellinen kosteus homeen kannalta niukoilla rajoilla 70 %-75 % RH. Heinäkuussa rakenne kuivaa ja myös pysäyttävät kesäkuun homeenalut.

Suurin riskikausi tarkastelun kohdalta alkaa elokuussa ja jatkuu lokakuun loppuun. Vaikka RH-luvut vaihtelevat rajusti, syyskuun alussa suhteellinen kosteus nousee jopa 90 %:iin samalla kuin lämpötila on +14 astetta. Näissä olosuhteissa home tarvitsee noin 5 viikkoa alkaakseen kasvaa pinnoilla. Suotuisat olosuhteet kuitenkin kestävät ainoastaan noin 2 viikkoa, joten riski on vain pieni homeenkasvulle. Suurennus kuvaajasta löytyy liitteessä 3.

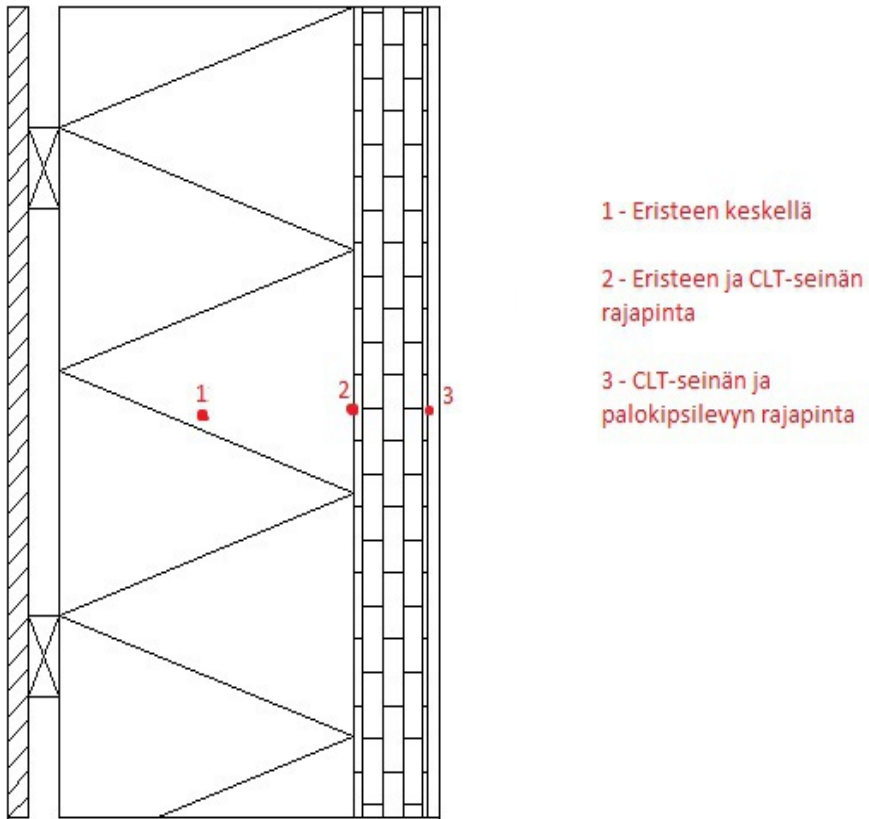
6.1.4 Tarkastelupiste



Kuva 15 Suhteellinen kosteus

Sisäverhouksen tilanne on täysin turvallinen. Mitään riskiä ei ole.

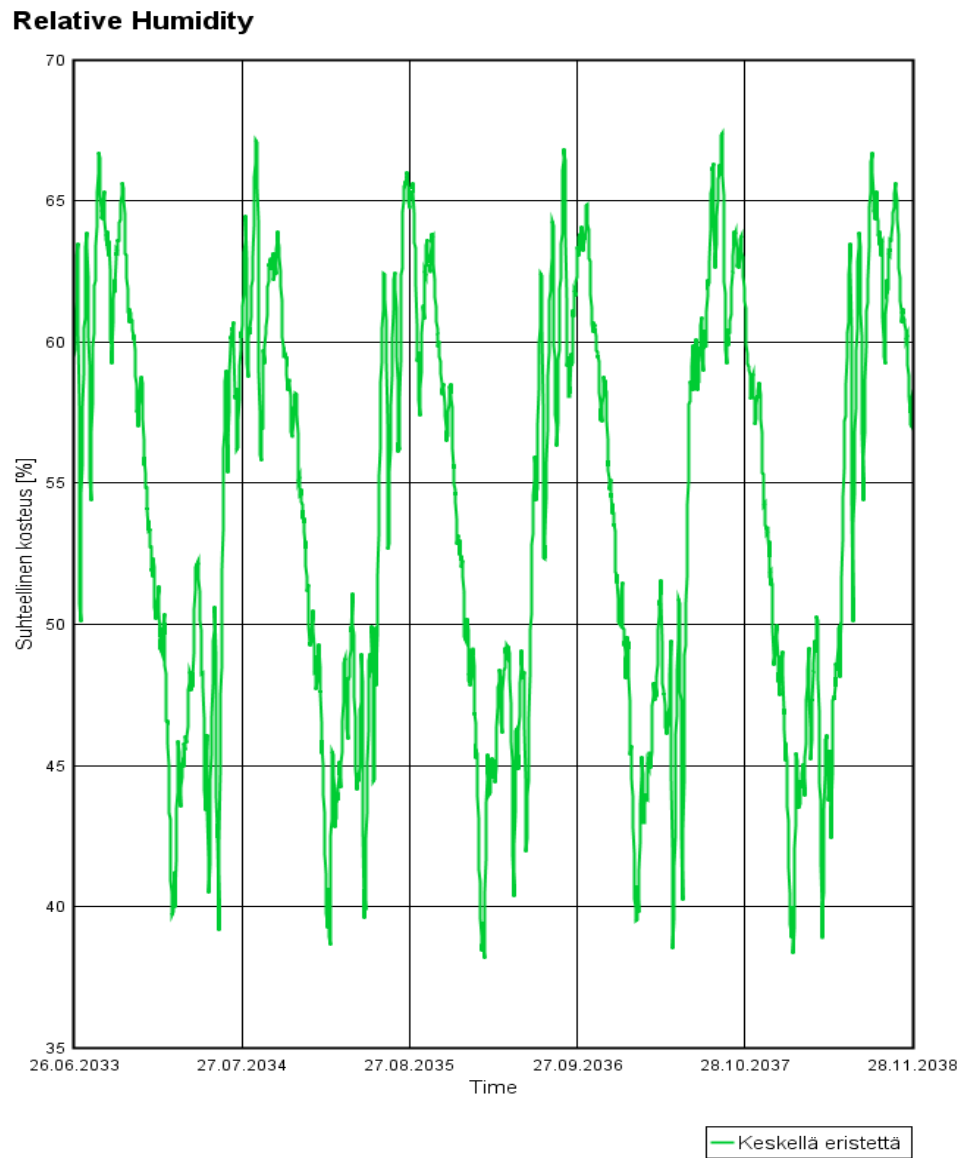
6.2 CLT- seinä



Kuva 16 Tarkastelupisteet

CLT-seinästä tarkastettiin kosteustilanne keskellä villa eristettä, eristeen ja puun rajapinta sekä sisäverhouksen sisäpinta. Jo alkutekijöissä oletuksena oli, että mitään riskiä koko rakenteessa ei ole.

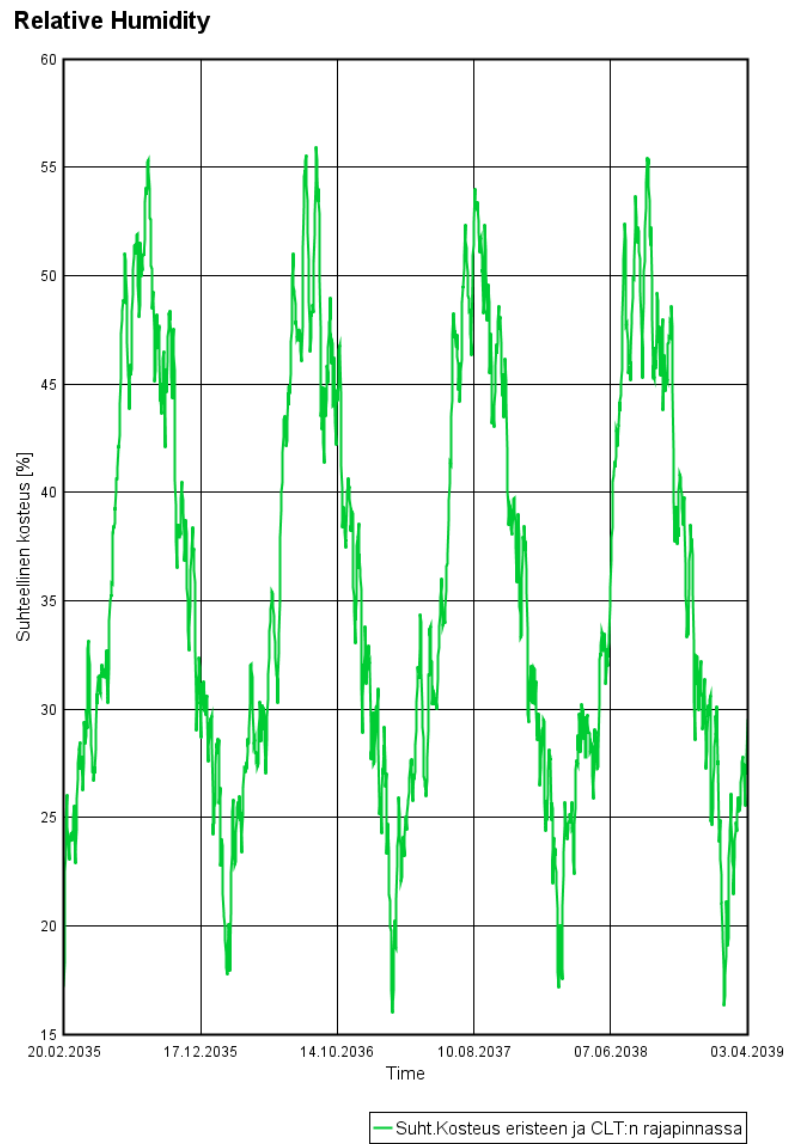
6.2.1 Tarkastelupiste 1



Kuva 17 Suhteellinen kosteus

Eriste on turvallisilla alueilla koko syklin. Eriste on turvassa.

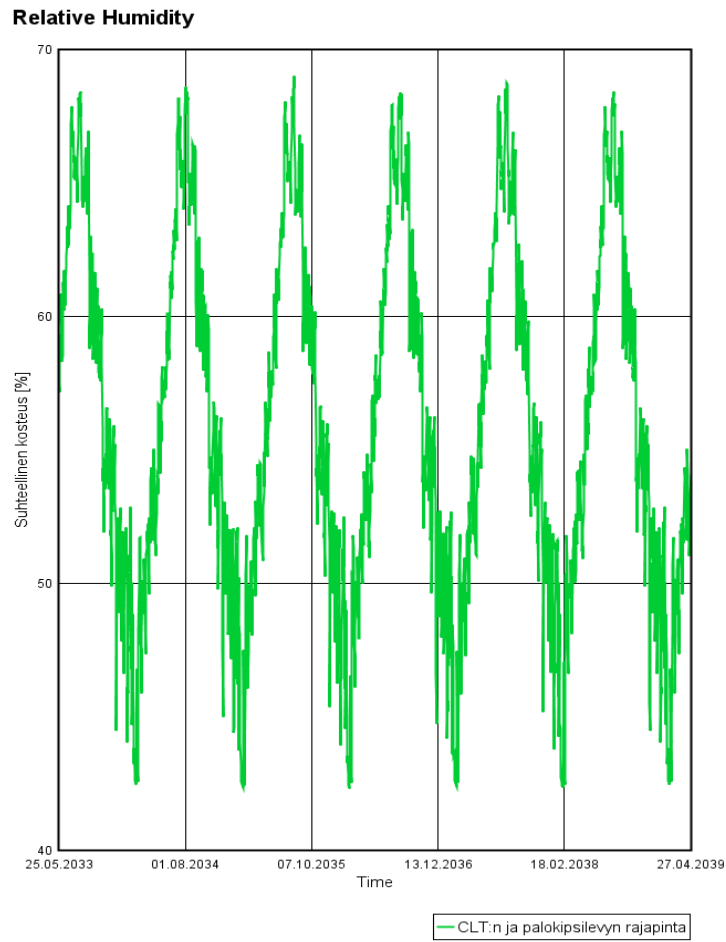
6.2.2 Tarkastelupiste 2



Kuva 18 Suhteellinen kosteus

Myös CLT-puun pinnalla tilanne on turvallinen.

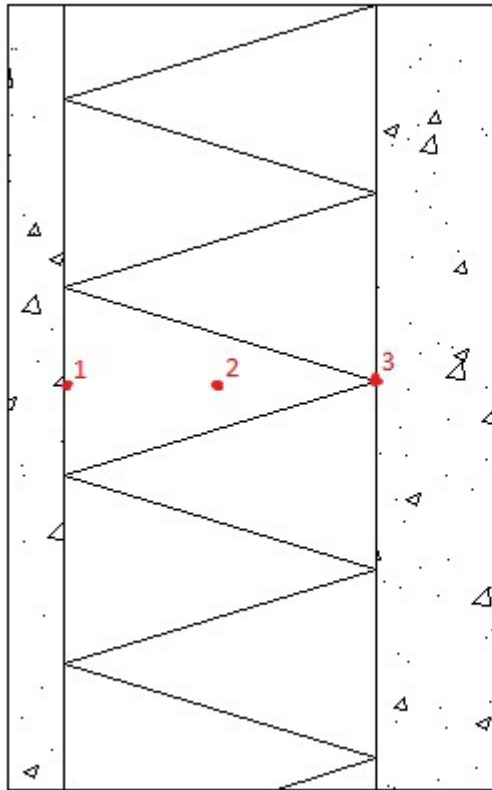
6.2.3 Tarkastelupiste 3



Kuva 19 Suhteellinen kosteus

Tilanne tässäkin turvallinen, ei mitään vikaa.

6.3 Sandwich-elementti, EPS



1 - Ulkokuoren ja eristeen rajapinta

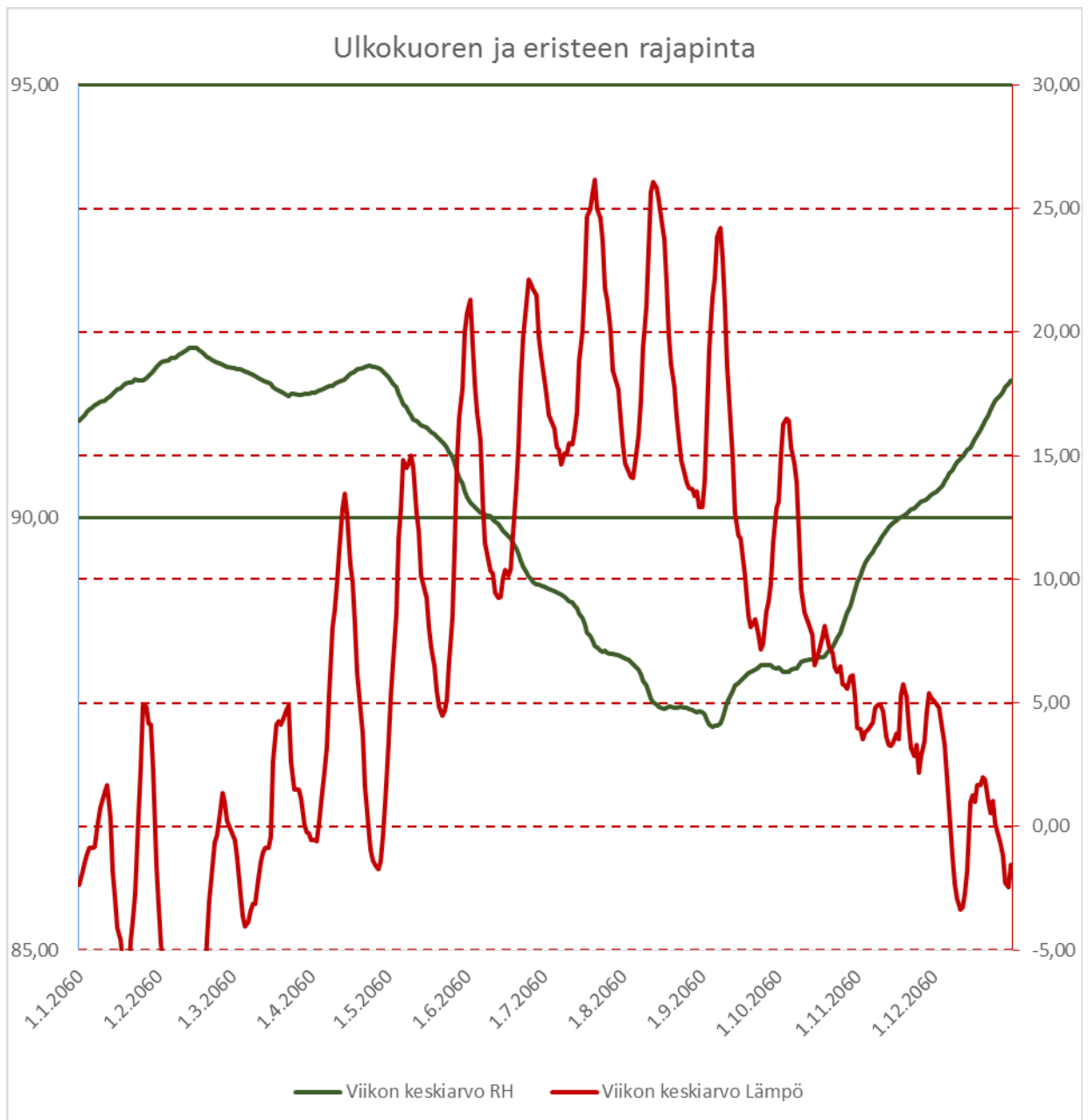
2 - Eristeen keskellä

3 - Sisäkuoren ja eristeen rajapinta

Sandwich-elementit ovat yleisesti märkiä ja tämä kerta ei ollut poikkeus.

Kahden rajapinnan lisäksi tutkintaa otettiin kosteustilanne keskellä elementtiä.

6.3.1 Tarkastelupiste 1



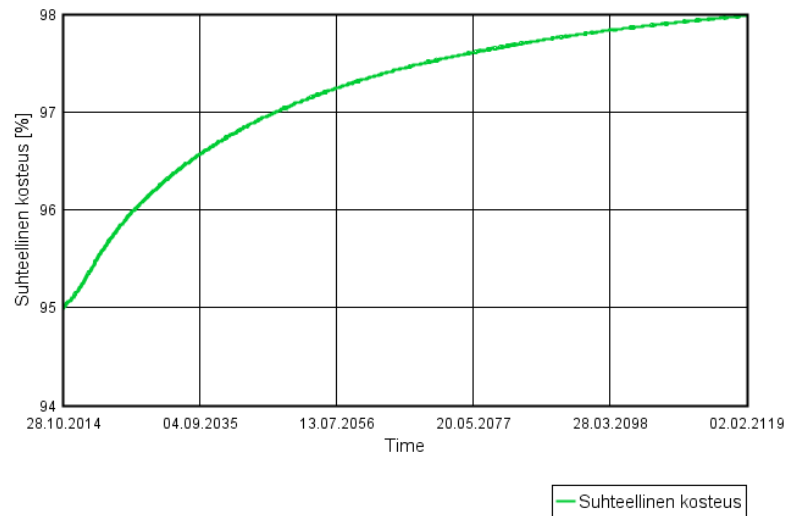
Kuva 20 Kosteus - ja lämpökehitys ulkokuoren sisäpinnassa

Ulkokuoren sisäpinta suhteellinen kosteus vaihtelee tasaisesti 88 %:n RH ja 92 %:n RH välillä vuodesta toiseen. Etenkin loppukeväästä ja alkukesästä pinnoilla on erittäin suotuisat olosuhteet homekasvulle, mutta toisin kuin puu tai kipsi, betoni on huono kasvualusta homeelle. Betonille ominainen emäksisyys estää homeen kehittymistä.

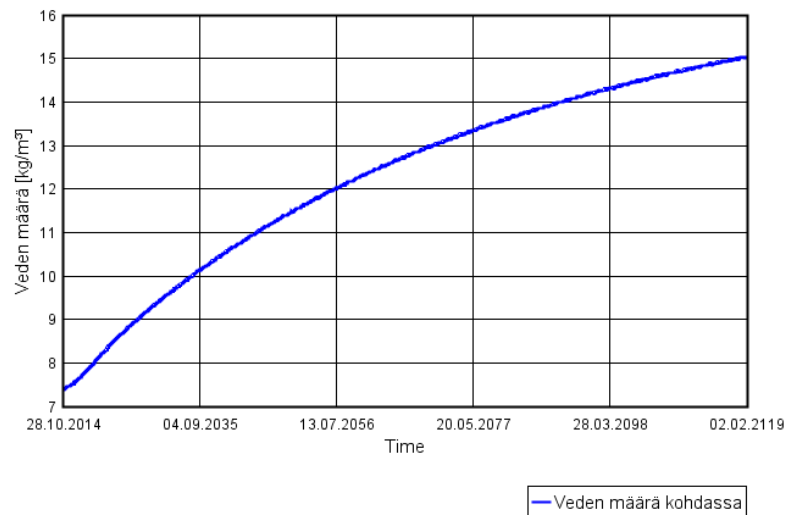
Ratkaiseva tekijä tässä tilanteessa on pintojen puhtaus. Jos elementtien ydinkerrokset pysyvät puhtaina, homeenkasvu on hyvin hidasta ja rajoittunutta kestävien pintojen ja hometta vastustavien materiaalien ansiosta. Homeen riskin voidaan sanoa olevan pieni olosuhteista riippumatta.

6.3.2 Tarkastelupiste 2

Keskellä EPS-eristettä



Keskellä EPS-eristettä



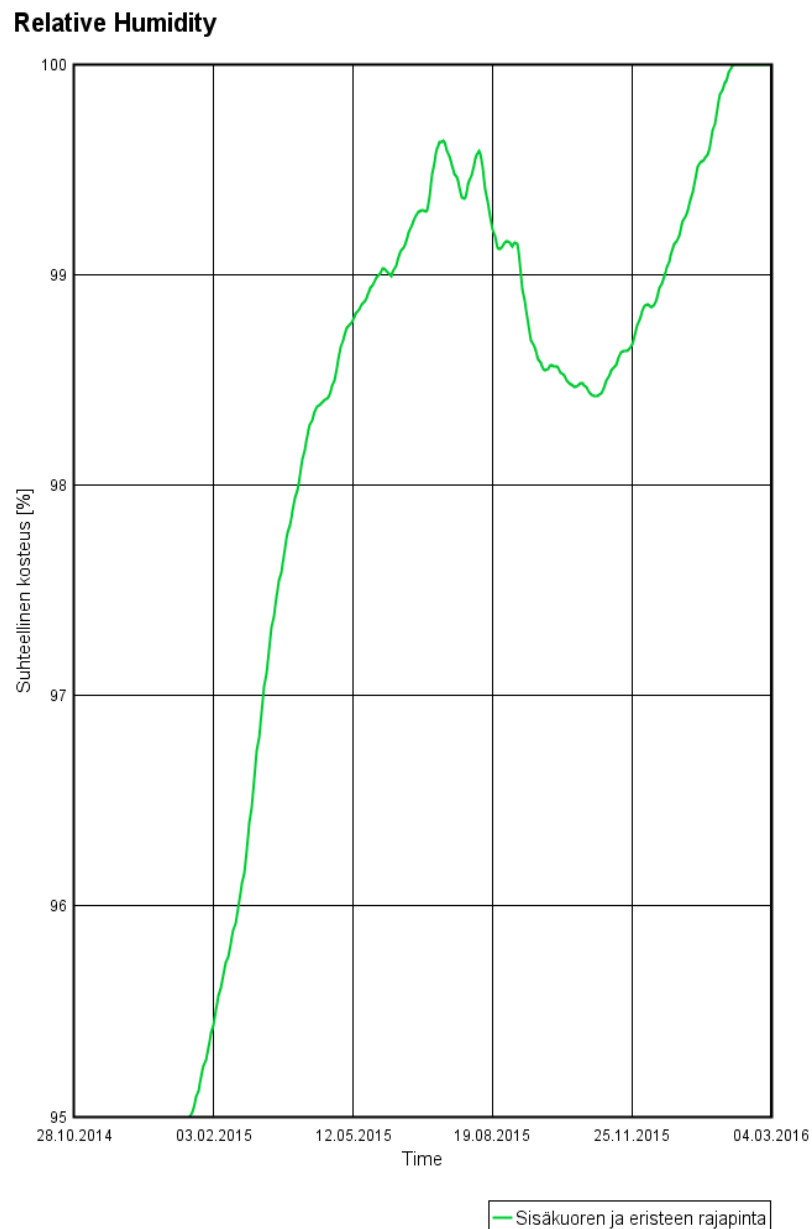
Kuva 21 Suhteellinen kosteus ja veden määrä

Kuvaajassa tulee heti selväksi, että kosteuden määrä koko ajan lisääntyy eristeen sisällä, mutta kosteus ei tiivisty vedeksi. Homeriski on elementtituotannon ja rakentamisvaiheen varastoinnista kiinni. Mikäli eriste

pysyy puhtaana tehtaalta asennukseen asti, voidaan todeta, että homeen riski on alhainen. Jos ravinteina toimiva lika, kuten rakennus- tai siitepöly, pääsee EPS-eristeen sisälle, homeen riski on suuri.

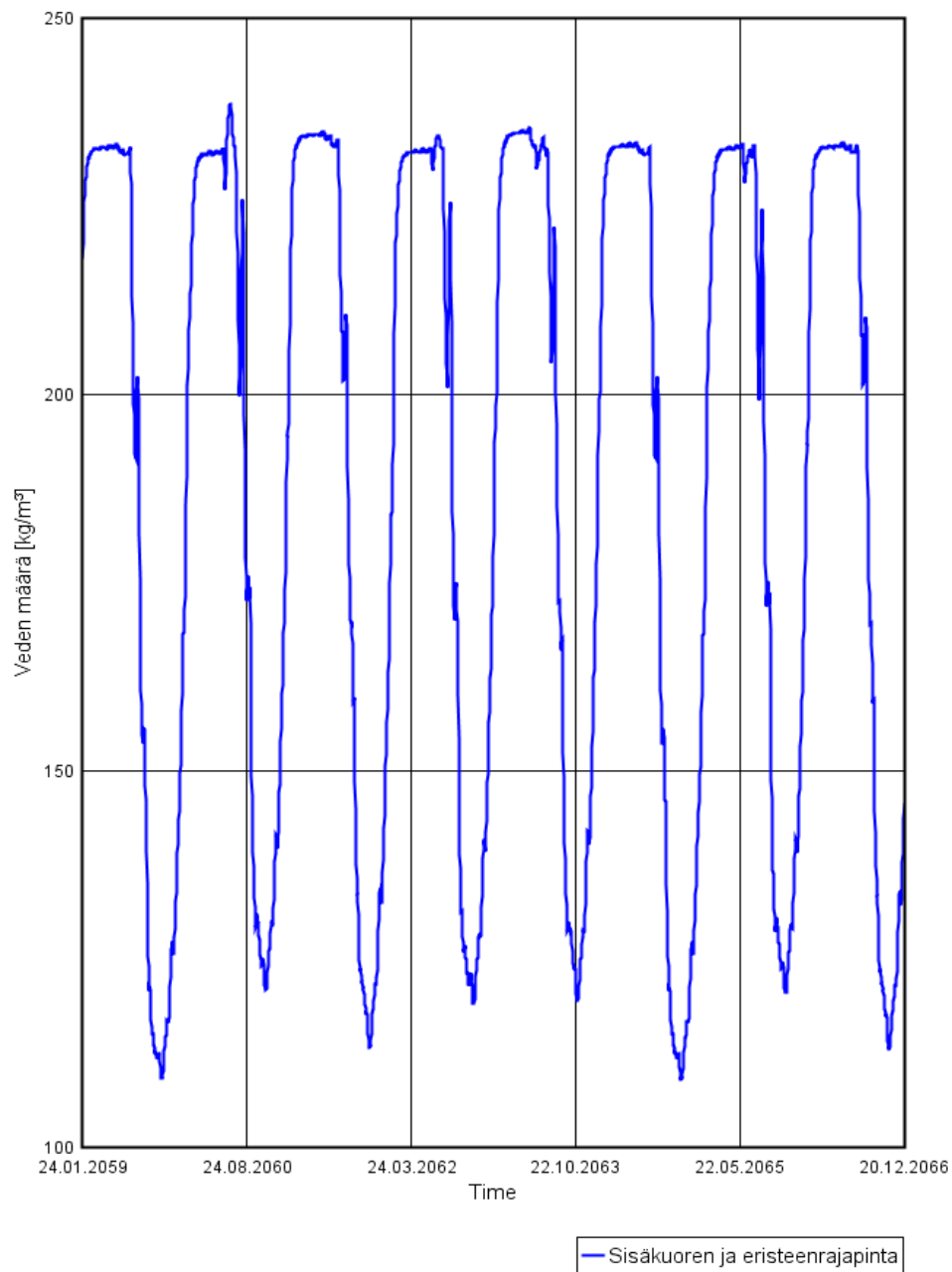
6.3.3 Tarkastelupiste 3

Kuva 22 Suhteellinen kosteus



Kuten kuvaajasta näkee, kyseessä on selvä kosteusvaurio. Suhteellinen kosteus nousee 100 %:n ja pysyy koko simulaation ajan siellä.

Water Content

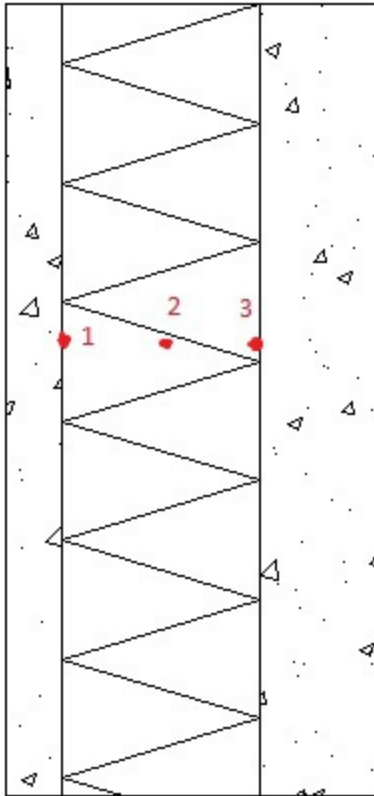


Kuva 23 Veden määrä

Riippumatta vuodenaikasta, seinässä on selvästi vettä. Syksyllä ja talvella pisteessä on noin 100 kg/m³ vähemmän vettä, mutta tämä ei ole suuri lohdutus. Tarkastuspiste ui tiivistyneestä vedestä. Joko simulaatiossa tapahtui virhe tai tämä toteutus on koko kelvoton.

6.4 Sandwich-elementti, PUR

Kuva 24 Tarkastelupisteet



1 - Ulkokuoren ja eristeen rajapinta

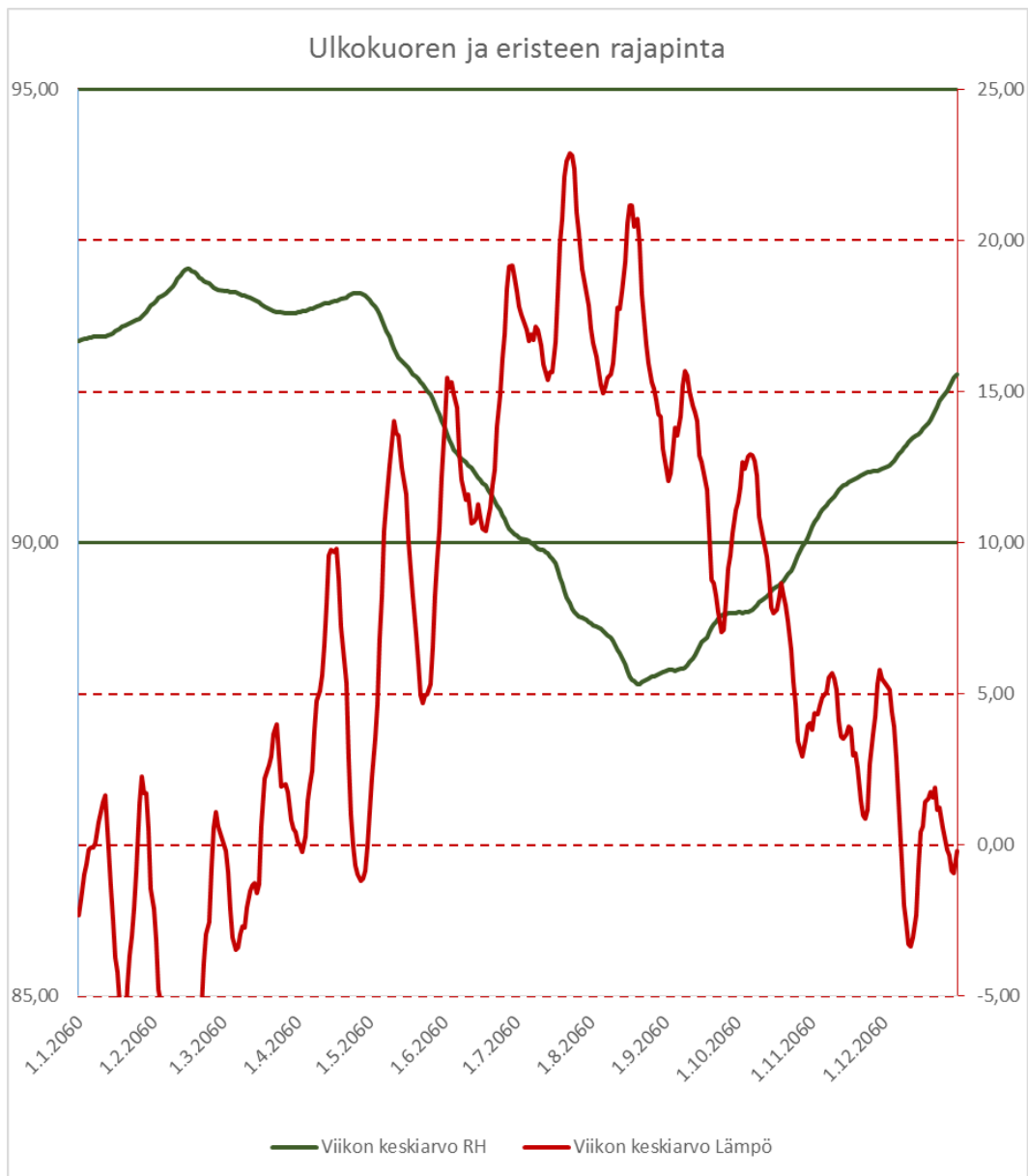
2 - Eristeen keskellä

3 - Sisäkuoren ja eristeen rajapinta

Toistaen edellistä sandwich-seinää, 70 mm paksun ulkokuoren takana on 250 mm suomalaista polyuretaanieristettä ja sisäkuoren paksuus on 150 mm.

Verrattuna EPS-eristeseinään, huomiota tulee herättämään kuinka suuren eron eristeen pienempi paksuus ja eriävä tiheys luovat kosteuskehityksessä.

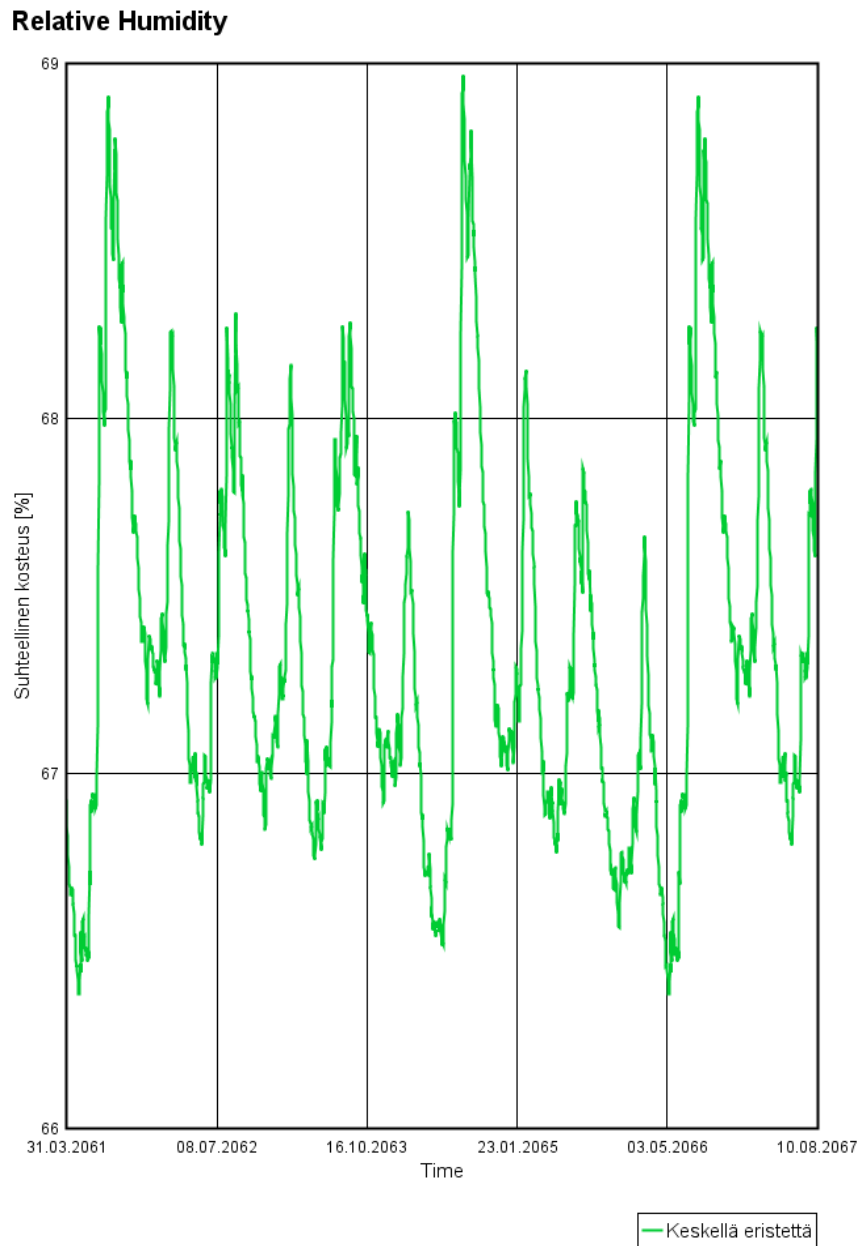
6.4.1 Tarkastelupiste 1



Kuva 25 Lämpö- ja kosteuskehitys

Tulokset ovat hyvin samanlaiset kuin ensimmäisessä sandwich-elementti seinässä. Pieniä eroja löytyy esimerkiksi kesän lämpötila-arvoissa, jotka eivät ole yhtä korkeita. Sekä kosteusarvot ovat suuremmat loppupalvesta ja keväällä. Näihin tuloksiin pätee edellisen testiseinän johtopäätökset betonin ominaisuudesta huonona kasvualustana kasvustoille, joten homeen kasvuriski puhtaalla materiaalilla on heikko.

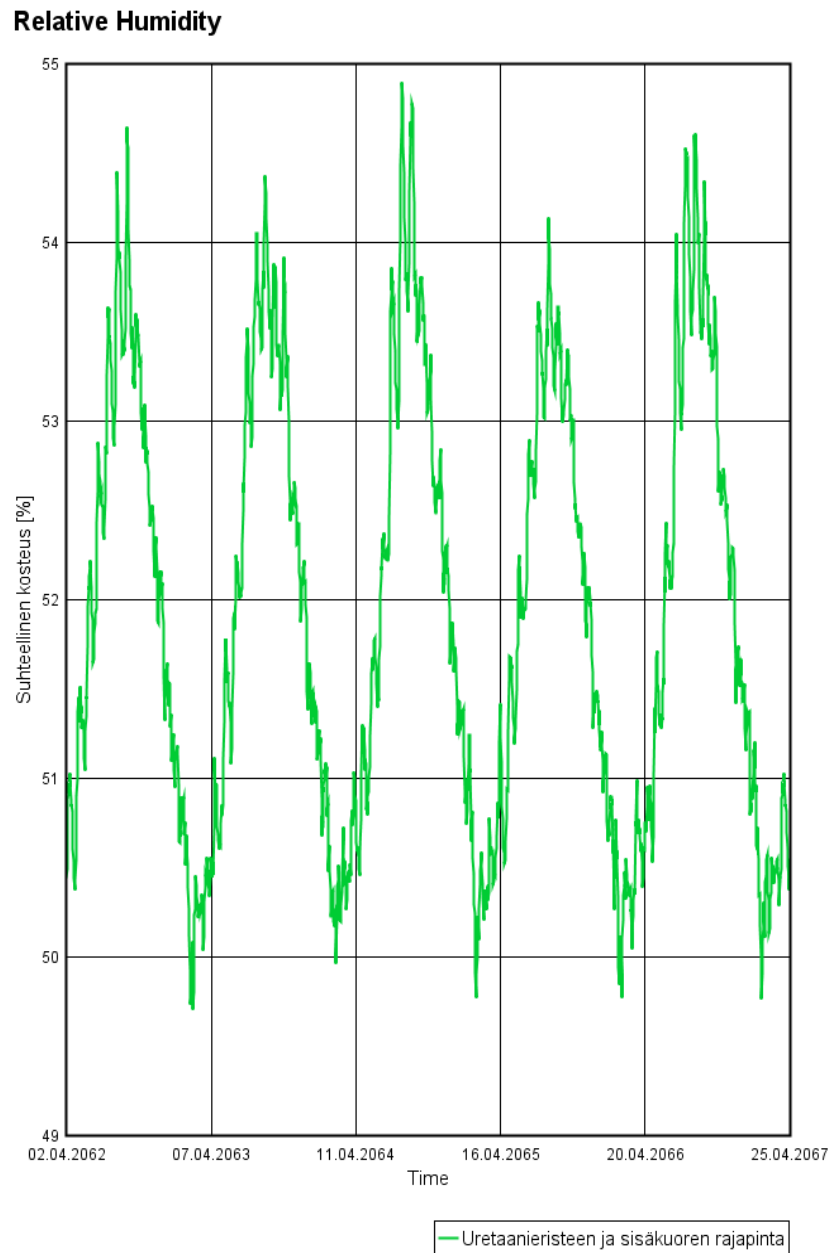
6.4.2 Tarkastelupiste 2



Kuva 26 Suhteellinen kosteus tarkastelupisteessä

Toisin kuin EPS-eristeen kanssa, PUR-eriste näyttää hyvää jälkeä keskellä eristettä. Toisin kuin EPS-eristeen kohdalla, jossa RH % nousi tasaisesti ennustaan veden tiivistymistä, tällä kertaa RH pysyy erittäin kurissa eikä nouse lähellekään kriittisiä raja-arvoja.

6.4.3 Tarkastelupiste 3



Kuva 27

PUR-eristeen ja sisäkuoren ulkopinta on erittäin kuiva. Tämä todistaa rakennetyypin toimivuuden ja PUR-eristeen tehokkuuden. Kosteusvaihtule on tasaista.

7 LOPPUPÄÄTELMIÄ

WUFI tuottaa paljon laskelmia, mutta itse laskelmien arvo on kyseenalaista. Se sisältää erittäin laajan tietopankin eri materiaaleista, monet eri muuttujat jotka kaikki vaikuttavat rakenteen kosteuskehittymiseen ja valtava määrä eri yksityiskohtia, joita voi muunnella ja hienosäätää mielensä mukaan. Käyttäjystävällisyys on puutteellista, mutta se tuntuu olevan sääntö insinööritietokoneohjelmilla, että käyttöliittymään panostetaan vasta kun on pakko. Minulle jäi myös käsitys, että WUFI ei osaa ottaa virtauksia ollenkaan huomioon laskelmissaan vaan simuloi pelkästään diffuusion kautta liikkuvaa kosteutta.

Mutta kuitenkin WUFI:n käyttö paljastaa simulaatioiden ongelman. Simulointi yrittää esittää todellisuutta, mutta ei osaa muuta kuin näyttellä sitä. Mitä enemmän itse perehdyin ohjelman sekä rakennusfysiikkaan samalla tätä tutkimusta tehdessäni, sitä enemmän vähemmän oikeasti tiesin. Jokainen yksityiskohta ja sen ratkaiseminen paljastaa pinnan alta 10 lisäongelmaa. Mitä tarkemmaksi yrittää omaa työtä tehdä, sitä epätarkempi siitä tulee koska se paljastaa lisää epäkohtia simulaatiossa.

Loppujen lopuksi kyse on siitä, kuinka paljon voimme ottaa asioita itsestään selvinä ilman että simulaation uskottavuus kärsii valtavasti ongelmista. WUFI osaa ottaa kaikki asiat huomioon paitsi mitä se ei tiedä. Kaikki tämä muu on käyttäjän vastuulla, laskien mukaan kaiken sen mitä käyttäjä ei voi mitenkään tietää itse. Otetaan esimerkiksi erittäin yleinen ja normaali asia ulkoseinissä: tuuletusväli. Tuuletusväli oletetaan toimivan yleisesti hyväksytyyn yksinkertaistuksen mukaan, mikä ei taa tarkkoja laskentatuloksia.

Mutta mikä on tarkka virtauksen määrä, joka tapahtuu tuuletusvälissä? Kuinka kosteata se ilma on, joka kulkee tuuletusvälin sisällä? Onko se koko matkan seinän alapäästä yläpäähän yhtä kosteaa, viekö se kosteutta pois vai tuoko se sitä? Entä auringonpaiste, kuinka paljon ulkoverhousta lämmittävä säteily lämmittää tuuletusvälissä olevaa ilmaa ja pääseekö tästä lämmöstä yhtään lämmitysenergiaa läpi eristerakenteille? Joku on varmasti jossain tutkinut tuuletusvälien kaikki vaikutukset, mutta yksittäisen ihmisen on hankala tuntea jokainen tutkimus ja sen tulokset.

Äskeiset kysymykset olivat vielä kevyitä. Tärkeämpi asia on esimerkiksi kysyä, että miten paljon EPS-eristeiden tuuletusurat helpottaa kyseisten eristeiden kuivaamisessa? WUFI 2D on kaksiulotteinen simulaatio-ohjelma, syvyyskäsittely on mahdotonta. Kuutiometrin otos elementtiseinästä ja olettaen että siinä on k150 jaolla 20 mm x 20 mm kokoisia uria ylhäältä alas, kuinka paljon se ilmavirta, joka kulkee näiden läpi, kuljettaa kosteutta konvektion kautta? Jos eristevalmistaja vakuuttaisi, että ne toimivat juuri kun hän sanoo, onko mitään keinoa edes todistaa hänen sanansa joko oikeaksi tai vääräksi? Ensin tämä erittäin monimutkainen tieto tuuletusurien toimivuudesta pitäisi tiivistää kolmiulotteisesta toiminnasta kaksiulotteiseksi, ja se pitäisi silloinkin ainoastaan niiden testien tulosten olosuhteissa.

WUFI 3D olisi toivottu askel eteenpäin, antaen mahdollisuuden mallintaa rakennetyyppiin kaikki kylmäsillat, elementtien kiinnitysansaat ja tuuletusraot, jotta päästäisiin lähemmäs todellisuutta. 3D-ohjelma on työtä ohjaavan Lehtori Jani Pitkäsen mukaan jo olemassa, vaikka siitä ei löydy tietoa itse ohjelman kotisivuilta. Ohjelma on hänen mukaansa myös erittäin hankala käyttää.

7.1 Pitkän aikavälin simulointi

Vaikka tietokone osaa simuloida vaikka kuinka monta tuntia, vuotta tai vuosituhatta sille antaa, sen ulos antama tieto on vain niin arvokasta kuin sen lähtötiedot. Ohjelman tietokanta ei pysty kertomaan, kuinka uutta tietoa VTT:n Espoon säätiedot ovat esimerkiksi. Säätietoihin sisältyy sateiden, ilmankosteuden, auringonsäteilyn ja ilman lämpötilojen tietoja joltain luvulta.

Seinän pommitus tilastolukujen pohjalta luotujen tekosäteiden ja auringonsäteiden avulla kertoo meille ainoastaan, mitä tapahtuisi, jos yksi vuosi toistuisi loputtomasti toinen toisensa jälkeen. Emme me edes, tiedä onko Suomessa 20 vuoden kuluttua sama ilmasto, tuleeko taivaalta lunta marraskuussa tai onko täällä lämmin kesällä. Simulaatio ei osaa miettiä pintojen kulumista, vahinkoja, putkiremonttia tai sisäilmankosteuden muutosta. Ohjelma osaa laskea kyllä, että betonielementin kuoreen tiivistyy vettä, mutta ei osaa vastata kysymykseen, että muuttuvatko tilanteet tulevaisuudessa. Ei ole mitään eroa simuloida tulevaisuutta 20 vuoden päähän kuin 100 vuoden päähän, vastaus on usein sama.

7.2 Rankaseinä

Kahdesta puuseinästä, rankaseinällä on suuremmat riskit kuin CLT-seinällä. Rakennetyyppi on kaikin puolin toimiva ja terve, mutta toteutuksessa on suurempi vaara luoda riskitekijöitä etenkin paikallarakentamisen takia.

Tämä rakennetyyppi tarvitsee palonkestävyysvaatimusten takia tuulensuojalevyn tuuletusraon ja eristeen väliin, joka on epäsuotuisa kosteuskäyttämisen kannalta seinälle. Palonkestävä levyn tiheys on suurempi kuin sen jälkeisellä villalla, luoden seinän johon höyry mahdollisesti tiivistyy. Kuitenkin pystyn ainoastaan näiden testien avulla sanomaan, että kyseessä ei ole ongelmarakenne. Vaikka kipsilevyn sisäpintaan muodostui testien loppukesän ja alkusyksyn aikana olosuhteita homeen kasvulle, puhutaan niin lyhyistä ajanjaksoista, että oikeaa homeongelmaa ei pääse syntymään.

Paikallarakentaminen on riski sinänsä, sillä kuin elementtirakentaminen tai CLT-seinä, rankaseinän voi pilata rakennusvirheillä. Höyryn- ja ilmansulkumuovin puhkeaminen, huonosti asennettu villa ja muut asennusvirheet heti kostautuisivat suunnitellun diffuusiokerhityksen estymisenä ja kylmäsiltojen luokse syntyisi vesitiivistymiä. Näitä virheitä on kuitenkin mahdoton simuloida itse ohjelman kanssa, koska ohjelma ei osaa laskea konvektion vaikutuksia.

Seinän puuprofiilien korkeus elää samassa suhteessa eristepaksuuden kanssa. On otettava huomioon, että eristepaksuuden kasvaessa rungon puidenkin on oltava korkeampia, mikä nostaa puun menekkiä. Passiivitalojen seinien paksuudet tulevat olemaan ongelma, koska se pakottaa valitsemaan sisäneliöiden määrän ja kalliiden seinämateriaalien väliltä.

7.3 CLT-seinä

CLT-seinä on kaikista turvallisista ja erittäin hankala pilata kosteusteknisesti. Kaikki perustuu rakennetyypin yksinkertaisuuteen: Materiaalit harventuvat tiheimmästä harvempaan tasaisesti sisältä ulos, ja kylmäsiltojen määrä on nolla. CLT-seinän luonteen määrittää enemmän sen tiukemmat vaatimukset materiaaleille.

Siinä missä betonielementtien palonsuojaus tapahtuu itse kiven voimalla ja rankarungossa on kipsilevyt, CLT-seinässä eristeen itsessään on oltava palamatonta, mikä rajoittaa vahvasti eristevaihtoehtojen määrää. Villoissa tämä tarkoittaa kivivillan käyttöä.

7.4 Sandwich-elementit

Sandwich-elementeissä oli odotettavia tuloksia. Toisin kuin puu-ulkoseinillä, betonielementtien laskelmissa oli auringon säteily ja sateen vaikutus mukana vaikuttamassa rasitteina ja avustajina. Kuten oli odotettavissa, ulkokuoren sisäpinta on märkä molemmissa seinissä. Kuitenkaan tämä ei ole vaarallista, sillä tämä piste oli myös testeissä kylmä ja materiaaliltaan erittäin epäsuotuisa mikrobeille.

Suurin kysymys näissä elementtiulkoseinissä on valmistus ja varastointi. Home tarvitsee kasvaakseen ravinteita. Se selviää niukalla ruokavaliolla, mutta paisuakseen ongelmaksi se tarvitsee kunnolla ravinteita missä muhina. Kun tehdas saa elementin kokoon, voidaan sanoa että se on ”puhdas” sisältä. Mikäli se pysyy puhtaana, kaikki on turvassa.

Mikäli taas epäpuhtauksia annetaan vapaasti virrata jokaiseen pieneen soluun eristeen sisällä ja betonin pinnoille, homeen riski kasvaa huomattavasti. Jos elementti seisoo tehtaan pihalla odottaen kuljetusta, se voi kastua vesisateessa. Vesisade lävistää koko eristeen ylhäältä alas, kuljettaa ravinteita. Vesi voi kuivata pois, ravinteet jäävät. Renkaat nostattavat maasta pölypilviä, pöly saastuttaa eristeen. Tuuli ravistaa tontin viereistä puuta keväällä, siitepöly laskeutuu eristeen soluihin. Rakennusmaalla elementti odottaa asennusta, rakennuspöly pääsee livahtamaan eristeen sisään. Esimerkkejä elementin saastumisesta on lukemattomasti, mutta ne kaikki ovat riskitekijöitä.

EPS-eristeellä varustettu koeseinä osoittautui kelvottomaksi. Simulaation tulos näyttää, että vettä tiivistyy sisäkuoren pintaan satoja litroja kuutiota kohden. Ajoin simulaation monia kertoja, joten kyseessä ei ole laskentaohjelman suorittama virhe. Koeseinässä käytetyn EPS-seinäeristeen höyrynläpäisykyky ei ollut tyydyttävällä tasolla ja kosteus pääsi tiivistymään suurissa määrin. EPS-eristeiden käyttö passiivienergialuokan tasoissa ulkoseinissä vaatii laajempia

tarkasteluja monien eri EPS-eristetuotteiden ja eri elementtikuoren paksuuksien kanssa.

PUR-eriste selviytyi tarkastelusta täysin pistein. Tarkastelupisteissä todettiin testin kuivimpia suhteellisen kosteuden arvoja keskellä eristettä sekä eristeen ja kuoren rajapinnassa. Eristeen kallis hinta kuitenkin estää eristetyypin yleistä käyttöä rakentamisessa.

Tärkeä huomioonotettava yksityiskohta koko sandwich-elementtilaskennoissa on tuuletusurien toiminta. Koska 2D-mallinnuksella on mahdoton simuloida kuinka nämä tuuletusurat vaikuttavat eristeiden kosteuskehitykseen, niiden vaikutus on poissa koko tutkinnasta. Tarkat tiedot urien toiminnasta itsessään ovat erittäin huonot. Kuinka suuri ilmavirta kulkee urassa? Paljon konvektio kuivattaa eristettä? Kuinka syvältä? Minkä lämpöistä ilmavirta on? Nämä kaikki on esimerkkejä alustavista kysymyksistä, joihin pitäisi olla vastaus jos yritettäisiin mallintaa tuuletusuraa rakenteen sisällä.

LÄHTEET

- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja Kosteus Rakennysfysiikka. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy
- E3M-Labs. 2013. EU Energy, Transport and GHG emissions trends to 2050. Luxemburg: Euroopan unionin julkaisutoimisto.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/NOT/?uri=CELEX:32010L0031> [Viitattu 5.6.2014]
- Fraunhofer IBP. WUFI Pro Saatavuus: <http://www.wufi-pro.com/>
- Kurnitski, J. 2014. Development of nearly zero energy buildings in Europe and related European standards. 2014 FINVAC seminaari 2.10.2014.
- Nieminen, J. 2008. Passiivitalo. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5oJ5FjIGF/5yGG9DeZW/Passiivitalo_RTS.pdf [viitattu: 5.10.2014].
- Passiivitalosertifikaatti. 2012. VTT Expert Services Oy Saatavissa: http://www.vttexpertservices.fi/news/201210_passiivitalosertifikaatti.jsp [viitattu: 4.9.2014].
- Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. Hämeenlinna: Karisto Oy
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka Perusteet ja sovelluksia. Tampere: Tammerprint Oy
- Sisäilmayhdistys Ry. Mikrobikasvun edellytykset. Saatavuus: <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/mikrobit/mikrobikasvun-edellytykset/>
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009. RIL-249-2009. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL-250-2011. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy
- Tamayo Vera, J. Puhelinhaastattelu 24.9.2014 Espoo

Tilasto: Asumisen energiankulutus [verkkajulkaisu]. 2011. Helsinki:

Tilastokeskus Saatavuus:

http://www.tilastokeskus.fi/til/asen/2011/asen_2011_2012-11-16_tie_001_fi.html [viitattu: 17.9.2014].

Truefoam Limited. XPS & EPS Differentiators Saatavuus:


<http://www.truefoam.com/en/home/abouteps/expanded-extruded.aspx> [viitattu: 9.10.2014].

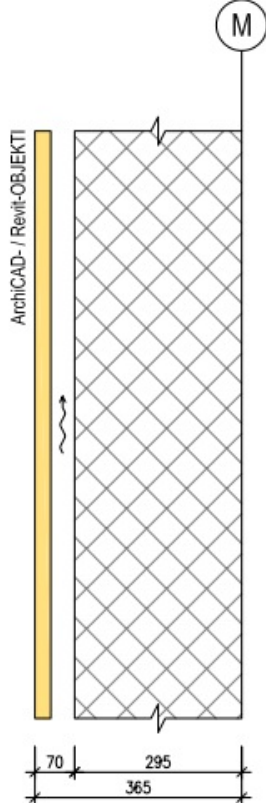
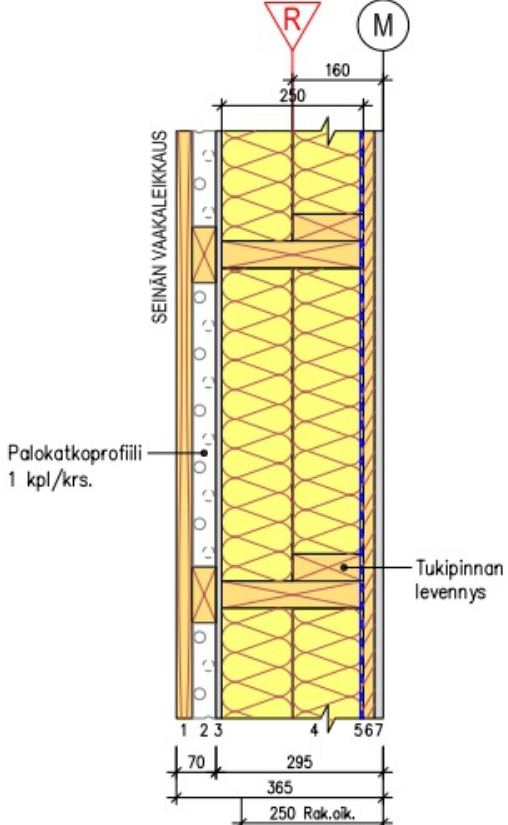
Viitanen, H. 2007. Rakennusfysiikka 2007 Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Toimittajat Vinha, J ja Korpi, M. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto

Vikström, S. 2014. Arkkitehti: Terveimmät talot rakennettiin ennen sotia, nykytaloista tehdään termospulloja. Etelä-Suomen Sanomat:

<http://www.ess.fi/uutiset/kotimaa/2014/04/23/arkkitehti-terveimmat-talot-rakennettiin-ennen-sotia-nykytaloista-tehdään-termospulloja> [Viitattu 29.5.2014]


LIITE 1 RANKASEINÄN RAKENNEKUVA

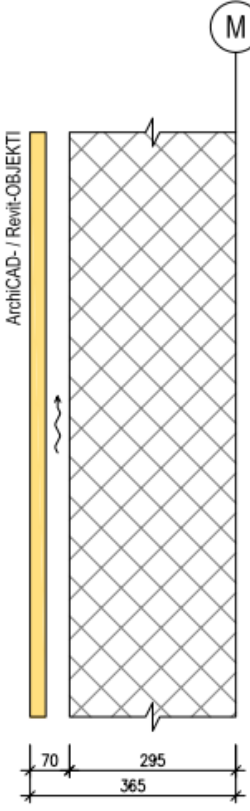
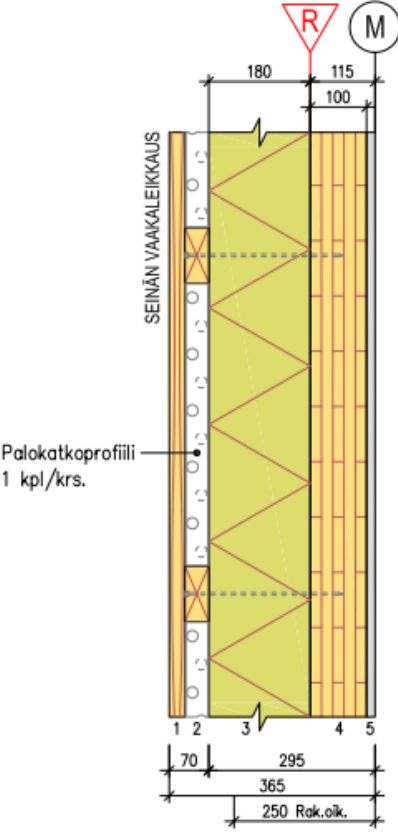
 Finnish Wood Research	PROJEKTI RunkoPES 2.0	TUNNUS US401KR
	SISÄLTÖ Kantava ulkoseinä / P2-paloluokan asuinrakennus Paloteknisesti 3...4 krs. / max 4 puukerrosta	PROJEKTIIN No. PVM. 31.12.2013

Mittaamalla saavutettavat ominaisuudet REI 60 K₁₀ / EI 15 U _s 0,17		SUOJAVEHOUKSEN TOTEUTUS SUOJAVEHOUKSLUOKKA K₁₀ / EI 15 K₃₀ / EI 30 RAKENNEKERROS (nro) 3, 7	
			
NRO	TARKOITUS	TUOTE	MITTA [mm]
1	Ulkoverhous (D-s2, d2)	Ulkoverhouspaneeli ARK mukaan	28
2	Ulkoverhouksen kiinnitys (D-s2, d2)/Tuuletus	Puurangat k600	42
3	Palosuojaus (A2-s1, d0)/Tuulensuoja	Tuulensuojakipsilevy	10
4	Kantava rankarunko Lämmöneristys* (A2-s1, d0)	C/GL/Kerto RAK mukaan Mineraalivilla RAK mukaan	250 125+125
5	Ilman- ja höyrynsulku	Muovi (SFS 4225 E-luokka)	0,2
6	Palosuojaus/Jäykistävä levytys	Vaneri/OSB-levy RAK mukaan	20
7	Palosuojaus (A2-s1, d0)/Sisäverhous	Palokipsilevy	15

*) Kivillä ≥ 30 kg/m³ tapauksessa, jossa rakenne hillitymämäärätetään

LIITE 2 CLT-SEINÄN RAKENNEKUVA

 Finnish Wood Research	PROJEKTI RunkoPES 2.0	TUNNUS US401KM
	SISÄLTÖ Kantava ulkoseinä / P2-paloluokan asuinrakennus Paloteknisesti 3...4 krs. / max 4 puukerrosta	PROJEKTIN No. PVM 31.12.2013

Mitoitettavalla saavutettavat ominaisuudet REI 60 K _s 10 / EI 15 U ≤ 0,17	SUOJAVEHOUKSEN TOTEUTUS <table border="1"> <tr> <td>SUOJAVEHOUKSLUOKKA</td> <td>K_s10 / EI 15</td> <td>K_s30 / EI 30</td> </tr> <tr> <td>RAKENNEKERROS (nro)</td> <td>3, 5</td> <td></td> </tr> </table>	SUOJAVEHOUKSLUOKKA	K _s 10 / EI 15	K _s 30 / EI 30	RAKENNEKERROS (nro)	3, 5																			
SUOJAVEHOUKSLUOKKA	K _s 10 / EI 15	K _s 30 / EI 30																							
RAKENNEKERROS (nro)	3, 5																								
 <p>ArchCAD- / Revit-OBJEKTI</p>	 <p>SEINÄN VAAKALEIKKAUS</p> <p>Palokatko profilli 1 kpl/krs.</p>																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NRO</th> <th>TARKOITUS</th> <th>TUOTE</th> <th>MITTA [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Ulkoverhous (D-s2, d2)</td> <td>Ulkoverhouspaneeli ARK mukaan</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ulkoverhouksen kiinnitys (D-s2, d2)/Tuuletus</td> <td>Puurangat k600</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Palosuojaus (A2-s1, d0)/Lämmöneristys</td> <td>Jäykkä kivivilla (sis. tuulensuoja)</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kantava rakenne Ilman- ja höyrnsulku</td> <td>CLT-levy RAK mukaan</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Palosuojaus (A2-s1, d0)/Sisäverhous</td> <td>Palokipsilevy</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	NRO	TARKOITUS	TUOTE	MITTA [mm]	1	Ulkoverhous (D-s2, d2)	Ulkoverhouspaneeli ARK mukaan	28	2	Ulkoverhouksen kiinnitys (D-s2, d2)/Tuuletus	Puurangat k600	42	3	Palosuojaus (A2-s1, d0)/Lämmöneristys	Jäykkä kivivilla (sis. tuulensuoja)	180	4	Kantava rakenne Ilman- ja höyrnsulku	CLT-levy RAK mukaan	100	5	Palosuojaus (A2-s1, d0)/Sisäverhous	Palokipsilevy	15	
NRO	TARKOITUS	TUOTE	MITTA [mm]																						
1	Ulkoverhous (D-s2, d2)	Ulkoverhouspaneeli ARK mukaan	28																						
2	Ulkoverhouksen kiinnitys (D-s2, d2)/Tuuletus	Puurangat k600	42																						
3	Palosuojaus (A2-s1, d0)/Lämmöneristys	Jäykkä kivivilla (sis. tuulensuoja)	180																						
4	Kantava rakenne Ilman- ja höyrnsulku	CLT-levy RAK mukaan	100																						
5	Palosuojaus (A2-s1, d0)/Sisäverhous	Palokipsilevy	15																						

LIITE 3 KIPSIN JA ERISTEEN VÄLISEN PINNAN KOSTEUSKEHITYS

