

PILARI-PALKKIRUNKOISEN PUUTALON
ERISTYSRATKAISUT TEHOKKAILLA
LÄMMÖNERISTEILLÄ

Ylitolonen Lasse

Opinnäytetyö
Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Lasse Ylitolonen	Vuosi	2016
Ohjaaja	Risto Airaksinen		
Toimeksiantaja	Artichouse		
Työn nimi	Pilari-palkkirunkoisen puutalon eristysratkaisut tehokkailla lämmöneristeillä		
Sivu- ja liitesivumäärä	45 + 9		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tehokkaimpien lämpöeristeiden soveltuvuutta puolitoistakerroksisen pilari-palkkirunkoisen puutalon lämmöneristämiseen pohjoisissa olosuhteissa. Vertailtaviin lämmöneristeisiin valikoituivat tyhjiöeristeet, fenolieristeet sekä polyuretaanieristeet. Työn tarkoituksena oli muodostaa Artichousen esimerkki rakennuksen runkoon soveltuvien tehokkaiden lämmöneristevaihtoehtojen vertailu. Lämmöneristeen soveltuvuudessa tuli ottaa huomioon rakenteen tiiveys, lämmöneristeiden kiinnitysratkaisut, U-arvot, paloturvallisuus sekä kosteustekninen käyttäytyminen.

Tässä työssä lämmöneristysratkaisujen soveltuvuutta tutkittiin ensin keräämällä kattavasti tietoa valikoiduista lämmöneristeistä. Tämän jälkeen muodostettiin esimerkkirakenteet jokaisen lämmöneristeen osalta. Lopuksi lämmöneristeiden käytettävyyttä suunniteltiin käytännön kannalta tarkastellen eristeiden kiinnitystä rakenteeseen, pintamateriaalien kiinnitystä sekä läpivientien toetutusta. Jokaisen lämmöneristeen kohdalla tehtiin yhteenveto, josta käy ilmi merkittävimmät eroavaisuudet toisiin ratkaisuihin nähden. Esimerkkirakenteiden kosteusteknistä toimivuutta ja U-arvoja tarkasteltiin Dof-Lämpö ohjelmalla.

Tuloksissa ei ole keskitytty ollenkaan lämmöneristevaihtoehtojen taloudellisiin vaikutuksiin. Työstä käy ilmi, että kaikkia tutkittavia materiaaleja voidaan käyttää tarkasteltuun runkorakenteeseen, mutta jokaisen materiaalin kohdalla nousi esille erityisesti huomioitavia asioita. Tyhjiöeristeiden käyttöä rakenteessa saataisiin tehostettua huomattavasti, mikäli runkorakenteen suunnittelussa lähdetäisiin liikkeelle siitä lähtökohdasta, että eristämässä käytetään tyhjiöeristettä. Fenolieristeet ovat polyuretaanieristeiden kaltaisia eristemateriaaleja, mutta niiden käytön suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen. Tarkastelussa mikään eriste ei noussut ylivoimaisesti parhaaksi. Kaikilla eristeillä ovat omat vahvuudet ja heikkoudet. Jokaisessa tarkastellussa tapauksessa seinän U-arvo saatiin kuitenkin hyväksi.

Avainsanoja: tyhjiöeriste, fenolieriste, polyuretaani, lämmöneristys, seinät

Technology, Communication and
Transport
Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Lasse Ylitolonen	Year	2016
Supervisor	Risto Airaksinen		
Commissioned by	Artichouse		
Subject of thesis	Comparison of Insulation in Pillar-Beam Framed Wooden House Using Efficient Thermal Insulations		
Number of pages	45 + 9		

The aim of this thesis was to study the use of the most efficient thermal insulation in a pillar-and-beam framed wooden house in northern conditions. The vacuum insulation, phenol insulation and polyurethane rigid foam were compared. The aim was to compare the use of different insulation materials in the example building of Artichouse. The U-values, the attaching in the frame and the moisture technical functioning of the materials were examined in this thesis.

First extensive information was collected on heat insulation. This was followed by an example of the structures whose activities were investigated with the Dof-Therm program. Finally issues to be considered in the different insulation materials were discussed. A summary was made, showing the differences in relation to other solutions, each of the insulating material.

This thesis did not consider the costs of the different options. All the researched insulating materials can be used in the examined frame structure. For each item came out issues to be considered in particular. A use of vacuum insulation would need to start the design of a house frame with the idea that vacuum insulation will be used. The phenol insulation is similar to the polyurethane insulation. Designing the use of the phenol insulation special attention must be paid on to the functionality of the moisture technical structure. None of the insulation options was by far the best. Each material has its own pros and cons. However, a good U-value was obtained in each of the walls studied.

Key words: vacuum insulation, phenol insulation, polyurethane, insulation, walls

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LÄMMÖNERISTYS	7
2.1	Lämmöneristäminen	7
2.1.1	Lämmöneristämisestä	7
2.1.2	Lämmönjohtavuus	8
2.2	Lämmöneristeet	9
2.2.1	Yleistä lämmöneristeistä	9
2.2.2	ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeriste	10
2.2.3	Kingspan Kooltherm -fenolieristeet	12
2.2.4	Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeet	13
2.2.5	Valittujen lämmöneristeiden yhteenveto	15
3	TUTKITTAVA RUNKORAKENNE	16
4	ULKOSEINÄN LÄMMÖNERISTYS	19
4.1	Lämmöneristeinä ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeriste	19
4.1.1	Kantavien pilarien välinen aukko	19
4.1.2	Ulkoseinärakenteessa huomioitavat erityispiirteet	21
4.2	Lämmöneristeinä Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste	23
4.3	Lämmöneristeinä Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieriste	24
5	ESIMERKKISEINÄRAKENTEET	25
5.1	Yleistä seinärakenteista	25
5.2	Mineraalivillalla lämpöeristetty vertailuseinä	26
5.3	ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeellä eristetyt rakenteet	27
5.3.1	Kantavien pilarien välinen aukko	27
5.3.2	Kantavien pilarien kohta	29
5.4	Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeellä eristetyt rakenteet	31
5.4.1	Kantavien pilarien välinen aukko	31
5.4.2	Kantavien pilarien kohta	33
5.5	Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä eristetyt rakenteet	35
5.5.1	Kantavien pilarien välinen aukko	35
5.5.2	Kantavien pilarien kohta	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	39

7 POHDINTA.....	41
LÄHTEET.....	43
LIITTEET.....	45

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan uusimpien ja tehokkaimpien lämmöneristysmenetelmien soveltuvuutta pilari-palkkirunkoisen puutalon ulkovaipan eristämiseen. Tarkoituksena olisi päästä lähelle nollaenergiaratkaisua, joten tutkittavien lämmöneristysratkaisujen on tuotettava mahdollisimman pieniä U-arvoja. Lämmöneristemateriaaleista tutkimuksessa vertailtaviksi valikoituvat tyhjiöeristeet, fenolieristeet sekä polyuretaanieristeet.

Tutkimuksen kohteena olevan pilari-palkkirunko aiheuttaa omat rajoitteensa, jotka tulee ottaa huomioon. Tällaisia rajoittavia tekijöitä ovat muun muassa seinän kokonaispaksuus sekä lämmöneristeiden asentamismahdollisuudet.

Opinnäytetyö tehdään Artichousen toimeksiantona. Artichouse rakentaa hirsi- ja pilari-palkkirunkoisia puutaloja ympäri maailmaa ja nyt heitä kiinnostaa tuotteensa soveltuvuus pohjoisen arktisiin olosuhteisiin. Tavoitteena on tehdä mahdollisimman toimiva, laadukas ja energiatehokas pientalo pohjoisiin olosuhteisiin. Tässä työssä ei keskitytä tutkittavien lämmöneristysratkaisujen kustannuksiin vaan ainoastaan tehokkaiden eristemateriaalin toimivuuteen ja käytettävyyteen.

2 LÄMMÖNERISTYS

2.1 Lämmöneristäminen

2.1.1 Lämmöneristämisestä

Rakennuksen ulkovaipan lämmöneristämässä ulkokuoren rakenne suunnitellaan siten, että valittu rakenne koostuu riittävästä määrästä sellaisia materiaaleja, jotka eristävät lämpöenergian siirtymistä rakenteen läpi. Tässä työssä tarkastellaan ulkoseinän lämmöneristämistä. Lämmöneristämisen lisäksi rakenteessa huomioidaan kosteuden siirtyminen. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota talviajan kylmiin olosuhteisiin, jolloin riski kosteuden tiivistymiselle rakenteeseen on suuri johtuen rakennuksen ulko- ja sisäpuolen suuresta lämpötilaerosta.

Lämmöneristyskyvyn vähimmäisarvot on määriteltä rakentamismääräyskokoelmissa. Eri materiaalien ominaisuuksista johtuen vaadittava rakenteen paksuus voi vaihdella suuresti käytettävästä lämmöneristeestä riippuen. Annetut määräykset eivät kohdistu lämmöneristykseen vaan koko rakenteeseen. Lämmöneristyskyky perustuu lämmöneristuksen lisäksi myös sitä suojaaviin ilmansulkuun ja tuulensuojaan. (Talonrakentajan käsikirja 1: Puutalon runkotyöt. 2011, 100.)

Tutkittavasta rakenteesta johtuen tässä työssä on päädytty tietyn tyylliseen lämmöneristysratkaisuun ja tutkittu eri materiaalien vaikutusta valitussa rakenteessa. Rakenne koostuu kantavan rungon väliin asennetusta lämmöneristeestä sekä rungon sisäpintaan asennettavasta kylmäsiillattomasta eristekerroksesta ja tämän kerroksen sisäpuolelle asennettavan sisäpuolisen koolauksen väliin asennetusta lämmöneristeestä. Kylmäsiillaton lämmöneristekerros parantaa rakenteen lämmöneristävyttä merkittävästi. Lisäksi tämän kerroksen tekeminen on seurausta tutkittavan tyhjiöeristeen asentamiseen liittyvistä seikoista. Kylmäsiillattoman eristekerroksen sisäpuolelle on lisäksi päätetty lisätä sisäpuoleinen koolaus. Tämän kerroksen valinta on seurausta kahdesta tekijästä: sillä saadaan suojakerros tyhjiöeristeen pinnalle ja se helpottaa sisäpuolen pintamateriaalien kiinnitystä sekä helpottaa esimerkiksi sähköasennusten tekemistä.

2.1.2 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuus, λ , kuvaa, miten hyvin jokin materiaali johtaa lämpöä. *Se ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen* (Siikanen 2014, 41). Lämmönjohtavuuden yksikkö on watti/(kelvin*metri) kohti eli $W/(K*m)$. Mitä pienempi λ arvo, sitä paremmin materiaali eristää lämpöä.

Tässä työssä materiaalien lämmönjohtavuudelle käytetään valmistajien ilmoittamia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja λ_d , λ design. Tämä arvo on hyväksytty rakennesuunnittelussa käytettäväksi lämmönjohtavuuden arvoksi ja se voi olla hieman heikempi kuin materiaalin teoreettinen lämmönjohtavuuden arvo λ .

Perinteiset eristeet pohjautuvat ilman mahdollisimman tehokkaaseen sitomiseen eristeen sisään. Eristyskyvyn käytännöllisenä rajana on tällöin johtumisen osalta väistämättä kuivan ja paikallaan pysyvän ilman lämmönjohtavuus, $0,025 W/(K*m)$. (Vicover 2016a.)

Taulukko 1. Eri materiaalien lämmönjohtavuusarvoja (Vicover 2016a)

Materiaali	Lämmönjohtavuus [$W/(K*m)$]
Selluvilla	0,035–0,500
Lasi- ja mineraalivilla	0,032–0,042
Polystyreeni	0,028–0,040
Polyuretaani	0,023–0,030
Tyhjiöeristeet	0,0025–0,008

Mitä pienempi solukoko materiaalilla on, sitä paremmin lämmön kulkeutuminen estyy ja tässä suhteessa eriste paranee. Suunnittelun tekee kuitenkin haasta-

vaksi se, että mitä pienisoluisempi materiaali on kyseessä, sitä enemmän materiaalia on soluseinämissä. Tällöin soluseinämien materiaali johtaa lämpöä. (Vicover 2016a.)

Parhaat perinteiset eristemateriaalit saavuttavat hyvän tasapainon osin ristiriitaisen vaatimusten välillä (pieni solukoko ja mahdollisimman vähän materiaalia) ja pääsevät hyvin lähelle seisovan ilman lämmönjohtavuutta. Kun eristeiden joukkoon lisätään säteilykomponentin vaikutusta vähentäviä partikkeleita, yleensä grafiittia, päästään jopa aavistuksen ilman lämmönjohtavuuden alapuolelle. Joidenkin eristeiden pintaan on lisäksi lisätty lämpösäteilyä heijastava pinnoite, jonka avulla eristeet pääsevät hyvin lähelle tai jopa aavistuksen ilman lämmönjohtavuuden alapuolelle lämmöneristystehon suhteen. (Vicover 2016a.)

Tyhjiöeristeiden eristyskyky on noin 4–10-kertainen verrattuna perinteisiin, ilman sitomiseen pohjautuviin, eristeisiin. Eristämisen teknologia pohjautuu nanomittaluokan ilmiöihin ja poikkeaa monessa kohdin ilman sitomiseen pohjautuvasta eristämisestä. Tyhjiöeristeiden kehittäminen edellyttää syvällistä osaamista nanoteknologiasta, fysiikasta, orgaanisesta ja epäorgaanisesta kemiasta sekä nanoteknologisesta valmistustekniikasta sekä korkeiden lämpötilojen hallinnasta. (Vicover 2016a.)

2.2 Lämmöneristeet

2.2.1 Yleistä lämmöneristeistä

Lämmöneristeiden pääasiallinen tehtävä on pitää lämpöenergian siirtyminen rakenteen läpi mahdollisimman pienenä. Rakentamisessa hyvin yleisesti käytettävillä perinteisillä mineraalivilloilla lämmönjohtavuuden arvot ovat suuruusluokaltaan 0,033–0,036 W/(K*m). Tässä työssä tarkastellaan eristeitä, joiden lämmönjohtavuus on pienempi kuin perinteisillä mineraalivilloilla. (Isover 2016a; Paroc 2016.)

Rakenteen suunnittelussa lämmöneristeiden kosteus- ja palotekniset ominaisuudet on otettava huomioon. Lämmöneristemateriaalin valintaa voivat rajoittaa

muun muassa rakenteelta vaadittava paloluokka. Lisäksi rakenne tulee suunnitella siten, että se toimii kosteusteknisesti oikein, eikä rakenteeseen pääse muodostumaan haitallista kosteuden tiivistymistä eri vuodenaikoina.

Tässä työssä keskitytään uusien ja tehokkaiden lämmöneristeiden käytettävyyden ja toimivuuden vertailuun pilari-palkkirunkoisessa puupientalossa. Vertailtaviksi lämmöneristeiksi valikoituivat Isoverin tyhjiöeristeet, Kingspanin fenoli- ja polyuretaanieristeet. Näiden eristeiden lämmönjohtavuudet ovat tyhjiöeristeiden $0,007 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ ja polyuretaanieristeiden $0,023 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ välillä. Nämä arvot ovat huomattavasti parempia kuin perinteisten mineraalivillojen lämmönjohtavuuden arvot.

Tyhjiöeristeiden tiiviys perustuu erilliseen kuorirakenteeseen. Samalla saavutetaan erinomainen ilmatiiviys, jonka suhteen tyhjiöeristeet ovat erinomaisia eristeitä. Eristeen kuori on pitkälle kehitetty monikerrosrakenne, joka hitsataan kiinni tyhjiössä. (Vicover 2016b.)

Valituista lämmöneristeistä tyhjiöeristeet eroavat merkittävästi muista niiden rakenteen vuoksi. Tyhjiöeristeet eivät ole työmaalla työstettäviä, joten niiden käytön suunnitteluun on käytettävä erityistä huolellisuutta. Fenolieristeet ovat polyuretaanieristeiden kaltaisia työmaalla työstettäviä materiaaleja mutta suurimpana erona ovat materiaalien kosteustekniset ominaisuudet. Fenolieristeitä on saatavana diffuusioavoimena, jolloin se pystyy rajoitetusti siirtämään diffuusiokosteutta rakenteen läpi. Polyuretaani eristeet ovat puolestaan diffuusiotiiviitä. Lisäksi fenolieristeillä on hieman parempi lämmönjohtavuuden arvo ja paloluokka kuin polyuretaanieristeillä.

2.2.2 ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeriste

Tässä työssä tarkastellaan ISOVER VacuPad 007 -tyhjiöeristeitä. Tyhjiöeristeitä voidaan kutsua uuden sukupolven supereristeiksi sillä niiden lämmönjohtavuus on huomattavasti pienempi kuin perinteisemmillä lämmöneristeillä. Lämmönjohtavuus ISOVER Vacupad Integra 007 -tyhjiöeristeillä on $0,07 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$. Tyhjiöeristeet on suunniteltu erityisesti kohteisiin, joissa eristyksen vaatima tila on rajallinen, mutta lämmöneristys on silti tarpeellista toteuttaa mahdollisimman tehok-

kaalla tavalla. Tyhjiöeristeillä voidaan kuitenkin toteuttaa koko rakennuksen lämmöneristäminen, mutta uskoisin että tyhjiöeristeiden hinta ja kokemusten vähäisyys on vielä rajoittanut tyhjiöeristeiden laajempaa leviämistä pientalojen lämmöneristys ratkaisuna.

ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeessä on alumiinikalvolla kapseloitu eristävä tyhjiöydin. Ytimen molemmin puolin on suojakerros asentamisen helpottamiseksi. Ytimen ympärillä on elastinen tiivistekerros, joka varmistaa hyvän tiiviyyden sekä kylmäsillattoman rakenteen. Parhaan mahdollisen laadun takaamiseksi, tulee tyhjiöeristeiden varastoinnissa, kuljetuksessa ja asennuksessa oltaava mahdollisimman huolellinen. Tästä syystä asennustyö tulee suorittaa vain koulutettujen asentajien toimesta. ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeiden ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1. (Isover 2016b.)

Taulukko 2. ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeiden ominaisuudet (Isover 2016c)

Palo-ominaisuus	E - Europaloluokka (B2 - DIN 4102)
Lämmönjohtavuus	0,007 W/(K*m), (ydinosan lämmönjohtavuus vanhennuksen jälkeen)
Diffuusiovastuskerroin (μ)	>1000000 (EN 12086)
Vesihöyryn läpäisevyys	$2,0 \cdot 10^{-16}$ kg/(m*s*Pa)

Taulukossa 2 ilmoitettu diffuusiovastuskerroin on valmistajan ilmoittama arvo. Vesihöyryn läpäisevyys on laskettu tästä arvosta eristeiden keskinäisen vertailtavuuden selkeyttämiseksi.

ISOVER VacuPad 007 Integra -tuotteessa on alumiinikalvolla sinetöity monikerroksinen eristetty kvartsiydin. Levy on päällystetty molemmin puolin kovalla 3 mm paksulla MDF -levyllä. Ulomman MDF -levyn leveys on 494 mm ja sisemmän 450 mm, jotta tuote saadaan sovitettua 450 mm leveään asennustilaan. ISOVER VacuPad 007 Integra -levyjä saa pituudeltaan kahtena eri vakiomittana: 500 mm sekä 1000 mm. Eristelevyn kokonaispaksuus on 31 mm. ISOVER VacuPad Integra -levyt asennetaan rakenteeseen rimoituksen varaan. (Isover 2016c.)

Ennen asennustyön aloittamista on tehtävä huolellinen asennussuunnitelma, sillä tyhjiöeristeitä ei voi leikata eikä muutenkaan työstää mekaanisesti. Tyhjiöeristelevyjä ei saa kiinnittää ruuvaamalla eikä niitä voida leikata tai sahata. Suositeltavin tapa on asentaa tyhjiöeristeet suojaavan rakennekerroksen sisään. Seinä ja kattoasennuksissa levyjen päälle suositellaan asennettavan 50 mm asennuskerros, jossa voidaan tehdä mm. sähköasennukset. Asennuskerros auttaa myös levyjä pysymään ehjinä käytön aikana kun seinään asennetaan esim. tauluja varten kiinnikkeitä. (Isover 2016c.)

ISOVER VacuPad Integra 007 levyt asennetaan koolauksen väliin. Koolauksen koko on 28*45 mm, k500 jaolla. Tarvittaessa eristejako tasataan täytepaloilla, jossa eristeenä käytetään 30 mm paksua ISOVER RKL-31 -levyä. (Isover 2016c.)

2.2.3 Kingspan Kooltherm -fenolieristeet

Suomessa vielä harvinainen, mutta Euroopassa käytetty, hyvin paljon polyuretaanieristeen kaltainen fenoli on uuden sukupolven yleiseriste. Fenolieristeen suurimmat erot polyuretaanituotteisiin verrattuna on parempi eristävyys. Eristettä on saatavilla myös diffuusioavoimena, eli vesihöyryä läpäisevänä. (Wikipedia 2016).

Fenolieristeet ovat muovipohjaisia tuotteita, jotka koostuvat umpisoluisesta vaahdosta. Solut sisältävät ilmaa heikommin lämpöä johtavaa täytekaasua. Umpinaisten solujen välitila on osittain avoin. Eristeen molemmin puolin ovat laminaatit, joista tyypillisesti molemmat tai vähintään toinen on aina diffuusioavoin. Fenolieristeiden lämmönjohtavuudet ovat alueella 0,018–0,023 W/(K*m). (Viitanen 2016.)

Fenolieristeet ovat hyvin samankaltaisia kuin polyuretaanituotteet. Polyuretaani eristeisiin verrattuna Kingspan Kooltherm -eristeissä on hieman parempi lämmönjohtavuuden arvo, parempi vaahdon paloluokka sekä ne sallivat rajoitetusti kosteuden kuivumisen eristeen läpi. Molempia tuotteita käytetään hyvin samaan tapaan. (Viitanen 2016.)

Tässä työssä tarkastellaan Kingspan Kooltherm K10 alakattoeristettä. Kingspan Kooltherm -tuoteperheessä on useita eri tuotteita, jotka on suunniteltu eri käyttökohteisiin. Tämän työn kannalta keskeisimmät ominaisuudet eivät kuitenkaan merkittävästi eroa eri tuotteiden välillä. Kingspan Kooltherm K10 alakattoeriste valikoitui tutkittavaksi siitä syystä, että sen ominaisuuksista löytyy tietoa suomeksi, joka vähentää väärinymmärrysten syntymisen riskiä. Lisäksi kyseinen tuote vastaa parhaiten puurunkoisen rakenteen eristämistä tuoteperheen suomenkielisiltä sivuilta löytyvistä tuotteista.

Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristelevyt ovat kooltaan 1200*2400 mm ja niiden lämmönjohtavuus on 0,020 W/(K*m). Kingspan Kooltherm -tuotteet ovat käytön ja asentamisen suhteen samantyyppisiä kuin polyuretaanieristeet. Niitä voidaan muokata puuntyöstötyökaluilla, esimerkiksi käsisahalla, sirkkelillä tai poralla.

Taulukko 3. Kingspan Kooltherm K10 ominaisuudet (Kingspan Insulation Oy 2016)

Diffuusiovastuskerroin (μ)	35
Lämmönjohtavuus (paksuus 45–120 mm)	0,020 W/(K*m)
Lämmönjohtavuus (paksuus 121–159 mm)	0,021 W/(K*m)
Palo-ominaisuudet	C-s1, d0
Vesihöyryn läpäisevyys	$5,714 \cdot 10^{-12}$ kg/(m*s*Pa)

Taulukossa 3 ilmoitettu diffuusiovastuskerroin on valmistajan ilmoittama arvo. Vesihöyryn läpäisevyys on laskettu tästä arvosta eristeiden keskinäisen vertailtavuuden selkeyttämiseksi.

2.2.4 Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeet

Termi kova polyuretaani (PUR/PIR) viittaa tuoteperheeseen, joka sisältää polyuretaanista (PUR) valmistettujen tuotteiden lisäksi polyisosyanuraatista (PIR) valmistetut tuotteet (Pu-Nordic 2016).

Kingspan Insulation Oy:n polyuretaanista valmistetut Therma-tuotesarjan lämmöneristeet eivät vety, kutistu, lahoa tai homehdu. Kingspan Therma -eristeiset rakenneratkaisut ovat valmistajan mukaan paloturvallisia, sillä palotilanteessa Kingspan Therma -eristeet hiiltävät hitaasti, jolloin eriste hidastaa osaltaan palon leviämistä rakenteisiin ja rakenteen palonkestävyysaika pitenee. (Kingspan Insulation Oy 2016.)

Eri käyttökohteet asettavat tuotteille erilaisia vaatimuksia. Kingspan Therma TW55 on yleiseristelevy kaikkeen rakentamiseen. Se soveltuu seinä-, katto- ja lattiarakenteiden lisäksi myös moniin erityiskohteisiin. Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeiden lämmönjohtavuus λ_d on 0,023 W/(K*m) eristepaksuuden ollessa 30–40 mm ja 0,022 W/(K*m) eristepaksuudella 50–200 mm. Polyuretaanin parempi lämmöneristyskyky verrattuna muihin solumuovieristeisiin perustuu solujen sisälle vaahdotusprosessissa jäävään kaasuun, jonka lämmönjohtavuus on vain noin puolet ilman lämmönjohtavuudesta. Seinissä ja yläpohjissa Kingspan Therma TW55 -eristeitä pystytään käyttämään höyrynsulkuna. Kun levyjen väliset saumat teipataan alumiini- tai muovihöyrynsulkuteipeillä, saadaan rakenteista täysin tiiviitä. (Kingspan Insulation Oy 2016.)

Puurunkoon kiinnitettäessä Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieriste vaahdotetaan. Esikiinnityksessä voidaan käyttää naulaa ja priikkaa tai asentaa väliaikaiset asennuspalikat, jolloin eriste pysyy paikoillaan vaahdotuksen kovettumisen ajan. Myös eristeiden väliset saumat vaahdotetaan toisiinsa. Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeen ominaisuuksia on esitelty taulukossa 4. (Kingspan Insulation Oy 2016.)

Taulukko 4. Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeen ominaisuuksia (Kingspan Insulation Oy 2016; Spu 2016)

Lämmönjohtavuus	0,023 W/(K*m) (paksuus 30–40 mm) 0,022 W/(K*m) (paksuus 50–200 mm)
Europaloluokka	E
vesihöyrynvastus	$5,47 \cdot 10^{11}$ m ² *s*Pa/kg

2.2.5 Valittujen lämmöneristeiden yhteenveto

Tässä osiossa on koostettu valittujen eristeiden ominaisuuksista tämän työn kannalta oleellisimpien ominaisuuksien yhteenveto. Tässä työssä suurin mielenkiinto keskittyy eristeiden lämmönjohtavuuteen ja vesihöyrynläpäisevyyteen.

Eristeiden paloluokka on tärkeä kun tutkitaan rakenteen paloluokkaa. Eristeen paloluokka ei yksistään kerro rakenteen palonkestävyyttä. Paloluokituksessa seinää on tutkittava yhtenäisenä rakenteena. Tällöin seinän paloluokkaan voidaan vaikuttaa helposti esimerkiksi kipsilevyjen avulla.

Taulukko 5. Valittujen eristeiden ominaisuuksien yhteenveto (Liite 1)

Ominaisuus	ISOVER VacuPad 007 -tyhjiöeriste	Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste	Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieriste	Isover KL 32 -lasivilla (kuvaa nykytilannetta)
Lämmönjohtavuus λ_d [W/(K*m)]	0,007	0,020	0,023	0,032
Vesihöyrynläpäisevyys [kg/(m*s*Pa)]	$2,0 \cdot 10^{-16}$	$5,714 \cdot 10^{-12}$	$5,484 \cdot 10^{-14}$	$1,05 \cdot 10^{-10}$
Diffuusiovastuskerroin μ (suhde ilman vastusarvoon)	1000000	35	3647	1,905
Palo-ominaisuudet	E	C-s1, d0	E	A1

3 TUTKITTAVA RUNKORAKENNE

Tässä työssä tutkitaan eristysratkaisujen sopivuutta pilari-palkkirunkoisen puutalon lämmöneristämiseen. Pilarit ovat pääosin kolmen metrin etäisyydellä toisistaan ja niiden päällä kulkee kantava palkki. Pilarit ja ovat 190 x 190 mm vahvuista hirttä. Tämänhetkinen seinärakenne on esitelty kuviossa 1.



Kuvio 1. Olemassa oleva seinärakenne (mukaillen Artichouse Oy 2016)

Kuvion 1 mukainen seinärakenne on ulkoa sisälle seuraava:

- Puuverhous	20 mm
- Koolaus ja ilmarako	22 mm
- Tuulensuojalevy	12 mm
- Runko	148 mm + pehmeä eriste 150 mm
- Kova eriste	50 mm
- Kipsilevy	13 mm

Kuvion 1 mukaisen seinärakenteen vaihtoehtoisia eristysratkaisuja pohditaan tutkittaviksi valittujen lämmöneristemateriaalien avulla. Tavoitteena olisi, ettei seinän paksuus kasvaisi olemassa olevasta arvosta mutta lämmöneristävyydeltään saavutettaisiin erinomainen rakenne. Seinän runkorakenne pyritään pitämään muuttumattomana ja osa eristeestä on mahdollisuuksien mukaan pehmeää lämmöneristettä, kuten mineraalivillaa, sillä tällaiset eristeet vaikuttavat rakenteen akustisiin ominaisuuksiin vähentämällä tehokkaasti ulkoa kantautuvia ääniä.

Lämmöneristykseen soveltuvuus ja asennettavuus pilarien välisiin aukkoihin on yksi työn tavoitteista. Lisäksi tulee pohtia lämmöneristeen asennettavuutta kun pilariaukkoon lisätään ikkuna- ja/tai oviaukkoja. Kolmas tutkittava asia on seinä-

rakenteen sisäpuolinen toimivuus asumisen kannalta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että sisäseiniin tulisi olla mahdollista kiinnittää ja ripustaa esimerkiksi keittiön kalusteita ja taulukoukkuja. Lisäksi ulkoseinärakenteen mahdollisten läpivientien, esimerkiksi ilmalämpöpumpun asentamisen, toteuttaminen tulee ottaa huomioon.

Yleisesti ottaen seinärakenteessa materiaalien tulisi harventua sisältä ulospäin mentäessä, jotta rakenteessa oleva kosteus pääsisi kulkeutumaan ulkoilmaa kohti. Tästä syystä yhtenä vaihtoehtoisena rakenteena, tuulensuojalevyn jälkeen asennetaan pehmeä eriste, joksi tässä työssä on valittu Isover KL-32 eristevilla-levy. Tämä pehmeä villaeriste oletetaan kuvaavan perinteistä pehmeää villaeristettä. Isover KL-32 eriste villan ominaisuuksia on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Isover KL-32 -ominaisuuksia (Isover 2016a)

Palo-ominaisuus	A1 – Europaloluokka
Lämmönjohtavuus	0,032 W/(m*K)
Vesihöyryn läpäisevyys	$1,05 \cdot 10^{-10}$

Pehmeää villaeristettä käytetään tuulensuojalevyn takana joko 100 mm tai 150 mm. 100mm villakerros tarkoittaa etäisyyttä tuulensuoja levystä kantavien pilarien sisäpintaan. 150 mm villakerros vastaa etäisyyttä tuulensuojalevystä runkotolppien sisäpintaan. Akustisten ominaisuuksien lisäksi pehmeä villaeriste valikoitui tuulensuojalevyn taakse sen asentamisen nopeuden ja helppouden vuoksi. Kantavien pilarien sekä runkotolppien linjassa (ensimmäinen 100 mm tuulensuojalevyn takana) eristettävien välien leveys vaihtelee suuresti. Pehmeän villan asentaminen tällaisiin väleihin on hyvin helppoa.

Rungon kylmäsillat vaikuttavat rakenteen U-arvoon merkittävästi. Tästä syystä pyritään ulkoseinän sisäpintaan saamaan yhtenäinen eristekerros. Tämän eristekerroksen sisäpuolelle tulee vielä 50 mm:n koolaus, joka kiinnitetään yhtenäisen eristekerroksen läpi runkotolppiin. Sisäpuolinen koolaus ja sen väliin asennettava lämmöneriste toimivat asennustilana esimerkiksi sähköasennuksille sekä

suojaetäisyytenä varmistamassa eristeiden ja höyrynsulun ehjänä pysymistä. Sisäpuolisen koolauksen väliin olisi järkevintä asentaa pehmeä villaeriste, tällöin esimerkiksi sähköasennuksia sisältävien koolausvälien eristäminen on kohtalaisen helppoa.

Koska rakennuksen kantava pilarilinja on rakennuksen ulkovuorauksen ulkopuolella osin esteettisistä syistä, ei kylmäsiltaa eristekerrosta voida toteuttaa rungon ulkopuolelle. Ulkoseinien U-arvoa saadaan kuitenkin parannettua merkittävästi, mikäli perinteisen tuulensuojalevyn tilalta käytetään tuulensuojaeristettä. Tällöin ulkoseinän tolppalinjan ulkopuolelle saadaan tehokkaampi yhtenäinen lämmöneriste, jonka kylmäsiltaan ovat ainoastaan kantavat pilarit. Esimerkkirakenteissa on käytetty tuulensuojalevyn sijaan tuulensuojaeristettä, jonka paksuus on 30 mm. Valitun tuulensuojaeristeen ominaisuudet on esitetty liitteessä 1. Valinnan seurauksena tolppalinjan ulkopuolinen rakenne kasvaa 18 mm. Tehdyllä valinnalla on kuitenkin suuri merkitys seinän U-arvoon.

4 ULKOSEINÄN LÄMMÖNERISTYS

4.1 Lämmöneristeenä ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeriste

4.1.1 Kantavien pilarien välinen aukko

Tarkastellaan ulkoseinää osalta, jossa kantavat pilarit sijaitsevat kolmen metrin etäisyydellä toisistaan. Koska pilarien leveys on 190 mm, jää hyötyleveydeksi aukolle 2810 mm. Aukossa on lisäksi runkotolppia sekä mahdollisesti ovi- ja ikkuna-aukkoja. Pilarien välisissä aukoissa runkotolpat ovat eristeiden mittojen suhteen niin vaihtelevia, ettei tyhjiöeristeiden asentaminen näihin aukkoihin vaikuta mielekkäältä. Mikäli tyhjiöeristeet haluttaisiin asentaa kantavien pilarien väliin, olisi järkevintä muuttaa seinän runkotolppajakoa. Tämä ei ole vaihtoehto tämän opinnäytetyön yhteydessä.

Ulkoseinän runkotolpat yltävät vielä kantavan pilarilinjan sisäpuolelle. Koska runkotolppien väliset etäisyydet vaihtelevat ja ne on pyritty asettelemaan k600 jaolle, on tyhjiöeristeiden järkevin asennuspaikka runkotolppien sisäpuolella.

ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeet asennetaan 500 mm jaolla olevaan koolaukseen ja eriste-elementtien pituudet on 500 mm:n monikertoja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että asennettaessa tyhjiöeriste runkotolppien väliin, tulee aukon loppuosa eristää muilla tuotteilla tai muuttaa pilarien jakoa. Runkojaon tasaaminen muilla eristeillä ei ole mielekäästä, koska tällöin menetetään suuri osa tyhjiöeristeellä eristettävästä pinta-alasta ja samalla pienenee tyhjiöeristämisestä saatava hyöty.

Ainoaksi vaihtoehdoksi jää asentaa tyhjiöeristeet runkotolppalinjan sisäpuolelle. Tämä vaihtoehto on asennuksen kannalta helpoin toteuttaa ja materiaalien kannalta helpoin suunnitella.

Tyhjiöeristeen lisäksi seinärakenteessa käytetään myös muita eristeitä. Käytännössä tyhjiöeristeet asennetaan muiden eristeiden väliin, jolloin tyhjiöeristeiden suojaaminen rikkoontumiselta onnistuu luonnollisimmin.

Asennettaessa tyhjiöeristeet pilarilinjan sisäpuolelle, voidaan eristeiden asennusta varten tehtävä koolaus kiinnittää ulkoseinän runkotolppiin. Luonnollisin vaihtoehto on tehdä vaakakoolaus, jolloin koolausväli voidaan valita sopivaksi.

Tyhjiöeristeiden taakse jää runkotolppien paksuinen tila, joka eritetään muilla materiaaleilla. Valitaan tilaan pehmeä villaeriste, polyuretaanieriste tai näiden yhdistelmä. Pehmeän villaeristeen ja polyuretaanieristeen yhdistelmä tarkoittaisi sitä, että rakenteeseen tulisi tuulensuojaeristeen lisäksi kolmea eri eristemateriaalia. Yleisen ajattelun mukaan eristys olisi järkevintä toteuttaa mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman vähillä materiaali vaihteluilla. Tämä vähentää väärin asentamisen riskiä ja selkeyttää töitä työmaalla.

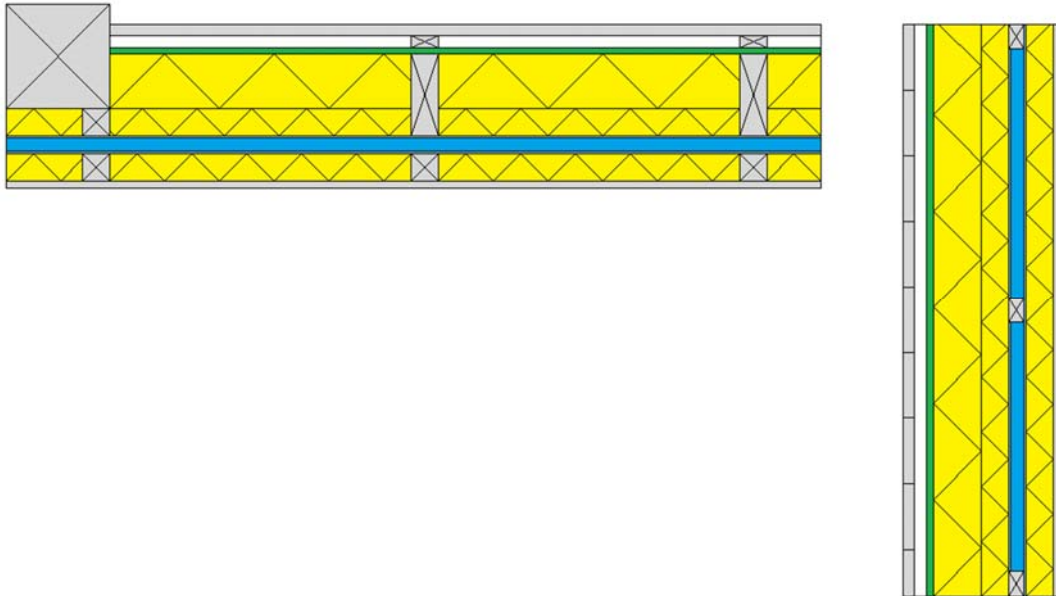
Tyhjiöeristeen sisäpuolelle suositellaan asennettavaksi lisäkoolaus, jolloin saadaan tilaa esimerkiksi sähköasennuksille. Lisäksi seinärakenne saadaan sisäpuolelta toimivammaksi kun tyhjiöeristeelle jää koolauksen verran suojaetäisyyttä. Valitaan koolauksen paksuudeksi 50 mm, jolloin jää tilaa sähköasennuksille mutta seinän kokonaispaksuus ei kasva liikaa. Koolausvälit eristetään pehmeällä villaeristeellä tai polyuretaani eristeellä. Polyuretaanieristettä käytettäessä tyhjiöeristeelle saadaan kestävämpi suojakerros mutta tästä seuraa jo aiemmin kuvailtuja lisähankaluuksia.

Tyhjiöeristeiden asentamista varten asennettu vaakakoolaus on helposti nähtävissä sisäpuolista koolausta asennettaessa. Koska tyhjiöeristeiden asennuskoolaus on kooltaan 28*45 mm k500 jaolla, on sisäpuolinen koolaus järkevintä asentaa pystyyn ja lisäksi kiinnittää tyhjiöeristeiden koolauksen läpi runkotolppiin. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että sisäpuolinen koolaus tulee runkotolppien kohdalle. Sisäpuolinen koolaus olisi syytä saada mahdollisuuksien mukaan k600 jaolle. Tämä ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista koska runkotolpat määräävät koolauksen paikat. Mikäli runkotolppia on 600 mm välillä useampia, voidaan sisäpuolen koolaus jättää näiden liian tiheiden tolppien kohdalta pois. Tyhjiöeristeellä eristetyn seinärakenteen periaatteelliset vaaka- ja pystyleikkaus kuvat on esitetty kuviossa 2.

Sisäpuoliseen koolaukseen kiinnitetään sisäverhous. Käytettäessä sisäverhouksessa kipsilevyä, on syytä harkita mahdollisuutta asentaa kipsilevyt vaakatasoon.

Pystyyn asennettaessa tulisi koolaus saada osumaan kipsilevyjen saumojen kohdalle. Tämä saattaa aiheuttaa paljon ylimääräisiä kipsilevyjen kaventamisia.

Koska koolauksen paksuudeksi on valittu 50 mm, tulee sisäverhouksen kiinnityksessä huomioida, ettei missään nimessä käytetä tätä pidempiä kiinnittimiä tyhjiöeristeiden rikkoontumisen välttämiseksi. Seinän sisäpuolisen toimivuuden kannalta on myös ehdottoman tärkeää huomioida, ettei seinään kiinnitettäessä käytetä koolausta pidempiä kiinnittimiä.



Kuvio 2. ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeellä eristetyn ulkoseinärakenteen vaaka- ja pystyleikkaus

4.1.2 Ulkoseinärakenteessa huomioitavat erityispiirteet

Koska ulkoseinille tulee monesti kiinnitettäväksi tavaraa, tulee tämä huomioida ulkoseinän rakenteen toimivuuden kannalta. Mahdollisia ulkoseinälle kiinnitettäviä asioita voivat olla esimerkiksi keittiön kaapistot, taulutelevisiot, hyllyt ja taulukoukut.

Koska tyhjiöeriste ei kestä reikiintymistä, tulee seinän rakennetta suunnitellessa huomioida eristeen suojeleminen rikkoutumiselta. Tyhjiöeristettä voidaan suojata

esimerkiksi riittävällä suojaetäisyydellä sisäseinästä, kovalla materiaalilla jota esimerkiksi naulat eivät vahingossa läpäise tai suunnittelemalla rakenne siten, että ulkoseinille kiinnitettävillä asioilla on valmiiksi tehty kiinnitysvaraukset.

Käytännössä ulkoseinän sisäpuoli saadaan toimivaksi kun tyhjiöeristeen sisäpuolelle asennetaan 50 mm paksu lisäkoolaus. Tällöin tulee huomioida, ettei sisäpuolen kiinnityksissä käytetä koolausta pidempiä kiinnittimiä.

Ovi- ja ikkuna-aukot vaativat oman rungon. Tämä runko saadaan ulkoseinän runkotolppien avulla helposti halutun kaltaiseksi. Asennettaessa tyhjiöeristeet pilariin sisäpuolelle, ei ovi- ja ikkuna-aukkojen rakenteesta tarvitse huolehtia muuta kuin niiden sijainnit.

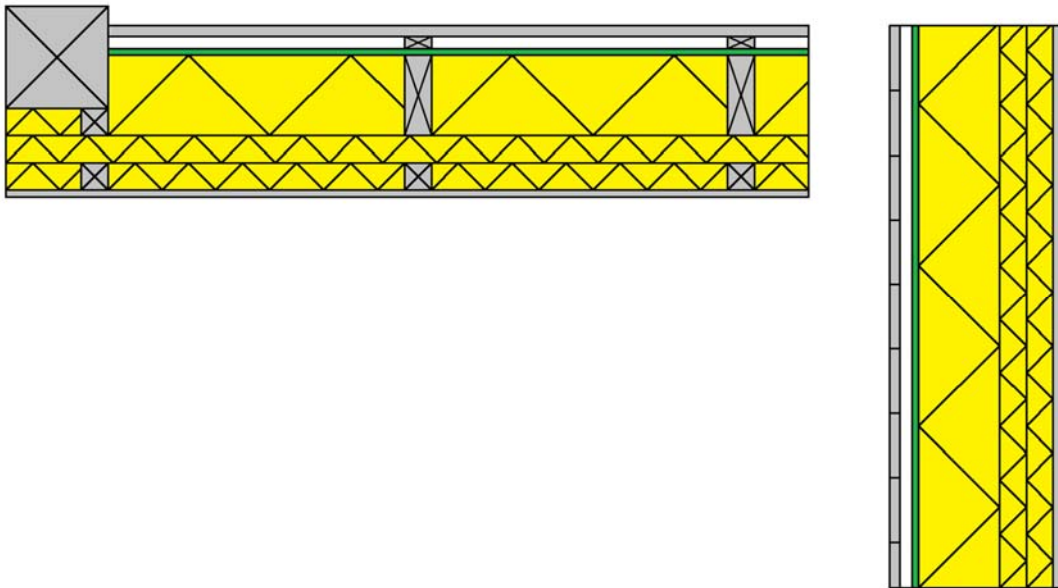
ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeriste-elementtien vakiokokojen vuoksi tulisi ovi- ja ikkuna-aukkojen koon oltava mahdollisuuksien mukaan puolen metrin monikertoja. Lisäksi aukkojen sijainti tulisi suunnitella siten, että etäisyys aukkojen reunoista viereisiin aukkoihin, seiniin, kattoon ja lattiaan olisi puolen metrin monikertoja. Tällöin tyhjiöeristeiden avulla pystytään kattamaan mahdollisimman tehokkaasti ulkoseinän eristettävä pinta-ala. Mikäli näihin vaatimuksiin ei päästä, tulee jäljelle jäävät osiot eristää muilla tuotteilla. Tällaisiin eristejaon tasauksiin ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeelle on tarjolla täytepaloiksi Isover RKL-31 30 mm paksua levyä. Täytepaloilla on selkeästi ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristettä huonompi lämmönjohtavuuden arvo. Tästä syystä tyhjiöeristäminen menettää sitä enemmän hyötyään mitä enemmän täytepaloja joudutaan käyttämään. (Isover 2016c.)

Ulkoseinään voi olla tarvetta tehdä läpivientejä esimerkiksi ilmalämpöpumpun tai puhaltimien asentamisen vuoksi. Mahdollisesti tarvittavien läpivientien toteutus riippuu lämmöneristeratkaisusta. Koska tyhjiöeristettä ei voi työstää, tulee mahdolliset läpiviennit tai niiden varaukset ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Tämä tarkoittaa sitä, että ennalta suunniteltujen mahdollisesti tulevien läpivientien kohdalle ei asenneta tyhjiöeristettä. Tilalle asennetaan muuta eristettä. ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeiden tapauksessa läpivientivarusten kohdalle valmistaja suosittelee Isover RKL-31 -levyä. Suunnitellut läpivientien paikat on syytä merkitä tarkasti rakennuksen piirustuksiin.

4.2 Lämmöneristeenä Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste

Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste on työmaalla muokattavaa ja sitä saadaan 1200*600 mm kokoisena levynä. Fenolieristeet asennetaan niitä varten tehdyn koolauksen väliin. Koolauksen mitoitus voi olla satunnainen, sillä fenolieristeet ovat polyuretaani eristeiden tapaan täysin työstettävissä työmaalla. Koska fenolieristeet ovat työstettäviä, ei tästä syystä läpivientien tekeminen ja esineiden riipustaminen ole ongelma jälkikäteen.

Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeet asennetaan kuten perinteiset kovat lämmöneristeet. Tästä syystä kahden pilarin väliseen aukkoon voidaan helposti asentaa fenolieristeet runkotolppien väliin. Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeellä eristetyn ulkoseinärakenteen periaatteelliset vaaka- ja pystyleikkaukset on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3. Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeellä eristetyn seinärakenteen vaaka- ja pystyleikkaus

Koska Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste on työmaalla muokattavaa, sitä voidaan leikata haluttuun kokoon, joten ovi- ja ikkuna-aukkojen suunnittelu ei tuota ongelmia. Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste kestää lisäksi reikiintymistä, joten läpivientien teko ja esineiden kiinnittäminen ulkoseinälle on lämpöeristykseen

kannalta turvallista jälkikäteen, eikä erillisiä suojauksia tai varauksia tarvitse suunnitella lämpöeristeen rikkoontumisen kannalta

4.3 Lämmöneristeenä Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieriste

Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeet ovat täysin muokattavia ja sitä saadaan 600*2400 mm kokoisena 50, 100 sekä 150 mm paksuisena. Muokattavuuden vuoksi läpivientien tekeminen ja esineiden ripustaminen on mahdollista ja turvallista myös jälkikäteen.

Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeet voidaan asentaa seinään joko runkotolppien väliin, niiden päälle tai molempien yhdistelmänä. Tästä syystä kantavien pilarien välisen aukon runkotolppien väli voidaan täyttää polyuretaanieristeellä ja näiden lisäksi ulkoseinän pilarilinjan sisäpuolelle voidaan asentaa yhtenäinen polyuretaanieriste kerros. Kingspan Therma TW55 -polyuretaani levyjen väliset saumat tiivistetään polyuretaanivaahdolla. Kun levyjen väliset saumat teipataan alumiini- tai muovihöyrynsulkuteipillä, saadaan rakenteesta täysin tiivis.

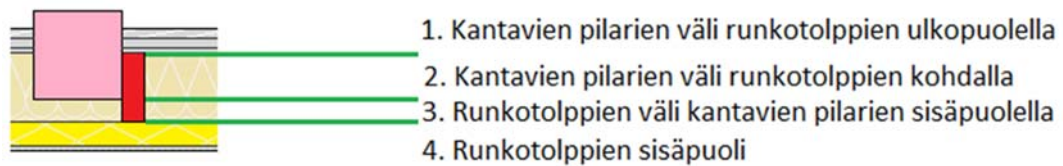
Koska polyuretaanieristeet ovat työmaalla muokattavia, sitä voidaan leikata haluttuun kokoon, eikä ovi- ja ikkuna-aukkojen suunnittelu tuota ongelmia. Erillisiä suojauksia tai varauksia ei tarvitse suunnitella lämpöeristeen rikkoontumisen kannalta.

Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä eristetyn seinärakenteen periaatteelliset vaaka- ja pystyleikkaukset ovat Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeiden tapaan kuvion 3 mukaiset. Rakenne on samanlainen, ainoastaan eristämateriaalit vaihtuvat.

5 ESIMERKKISEINÄRAKENTEET

5.1 Yleistä seinärakenteista

Seinärakennetta suunniteltaessa on käytetty pohjana kuviossa 1 esitettyä seinärakennetta. Tutkittavassa rakenteessa on oletettu kantavien pilarien välisen etäisyyden olevan 3000 mm ja pilarien välisissä aukoissa runkotolppien jaon olevan 600 mm. Seinärakenne on jaettu ulkoa sisäänpäin tultaessa neljään eri osaan kylmäsiltojen prosentuaalisen vaihtelun vuoksi.



Kuvio 4. Ulkoseinärakenteen jako osioihin

Kuvion 4 mukaisessa jaossa ulkoseinän uloimmassa osassa, osiossa 1, runkotolppien ulkopuolella, sijaitsevat ainoastaan tuulensuojalevy, ulkopuolen koolaus sekä ulkoverhous. Kylmäsiltoina toimivat ainoastaan kantavat pilarit, joiden osuus on 6,33 %.

Toisessa osiossa kylmäsiltojen muodostavat pilarien lisäksi runkotolpat. Oletettaessa runkotolppia olevan jokaisessa pilarivälissä 6 kappaletta, saadaan kylmäsiltojen osuudeksi 15,93 %.

Kolmannessa osiossa kylmäsiltoina toimivat ainoastaan runkotolpat. K600 mm jaolla kylmäsiltojen osuudeksi saadaan 8 %.

Neljännessä osiossa kylmäsiltojen muodostavat ainoastaan rakenteeseen suunnitellut koolaukset. Näiden osuus vaihtelee tutkittavan eristemateriaalin mukaan. Osiossa neljä voi lisäksi esiintyä useampia kerroksia, joiden kylmäsiltojen prosentuaalinen osuus voi vaihdella. Näissä tapauksissa on kylmäsiltojen osuus laskettava tapauskohtaisesti.

Koska kylmäsiltojen heikentävät rakenteen U-arvoa merkittävästi, on neljänteen osioon järkevää suunnitella kylmäsiltojen eristyskerros mahdollisuuksien mukaan.

Lisäksi seinärakennetta on tutkittu eri eristysvaihtoehdoilla erikseen kantavien pilarien kohdalla. Kantavien pilarien kohdalla seinärakenne on oleellisesti erilainen kuin muualla rakenteessa. Tästä syystä on tarkasteltava seinärakenteen toimivuutta erikseen näissä pisteissä mahdollisen kosteuden tiivistymisen johdosta. Kantavien pilarien kohdalla sisäpuolisessa eristyksessä ei oleteta olevan kylmäsiltoja, pois lukien mahdolliset vaakakoolaukset.

Suunnitelluissa ulkoseinärakenteissa käytetään muitakin materiaaleja kuin tutkitavaksi valittuja eristeitä. Näitä muita materiaaleja ovat tuulensuojaeriste, runkomateriaali, kipsilevy sekä mahdollisesti pehmeää villaa, polyuretaanieristettä ja höyrynsulkumuovia. Kaikkien käytettävien materiaalien ominaisuudet on koottu taulukkoon (Liite 1).

5.2 Mineraalivillalla lämpöeristetty vertailuseinä

Tutkittavien seinärakenteiden vertailtavuuden vuoksi tarkastellaan ensin seinärakennetta, joka on eristetty pelkästään lasivillalla.

Taulukko 7. Lasivillalla eristetty vertailuseinä (Liite 2 2(2))

	Lasivillaseinä
Osio 1	Tuulensuojaeriste 30mm
Osio 2	Lasivilla 100 mm
Osio 3	Lasivilla 50 mm
Osio 4	Lasivilla 50 mm
	Lasivilla 50 mm
	Kipsilevy 13 mm
U-arvo	0,138 W/(m ² *K)

Tässä vertailuseinässä on ulkoseinän runkotalppien sisäpuolelle asennettu 50 mm + 50 mm ristikoolaus k600 mm jaolla. Koolauksen välit eristetään lasivillalla. Rakenteen kokonaispaksuus ilman ulkopuolen koolausta ja ulkoverhoususta on 293 mm. Rakenteeseen on lisätty höyrynsulkumuovi ristikoolauksen väliin, jotta

rakenteeseen ei pääsisi muodostumaan kosteuden tiivistymisen riskiä. (Liite 2 2(2).)

Mikäli runkotalppien sisäpuolella on ainoastaan yksinkertainen koolaus, tulee rakenteen U-arvoksi 0,168 W/(m²*K). Tällöin rakenteen paksuus pienenee 50 mm paksuuteen 243 mm. (Liite 2 1(2).)

Esimerkki rakenteessa on kuitenkin syytä olla ristikoolaus, sillä tällöin se vastaa paremmin muilla eristysratkaisuilla toteutettuja esimerkkiseiniä.

5.3 ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeellä eristetyt rakenteet

5.3.1 Kantavien pilarien välinen aukko

ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeiden käytännöllisin asennuskohta on ulkoseinän pilarilinjan sisäpuolella. Tyhjiöeristelevyjä voidaan asentaa useampi päällekkäin mutta tämä ei ole tutkittavassa rakenteessa mielekäästä. Esimerkkirakenteessa on tyhjiöeristeeseen lisäksi käytetty lisäeristeinä Kingspan Therma TW55 -polyuretanieristettä sekä Isover KL 32 -mineraalivillaa. Nämä on valittu olettaen niiden edustavan perinteisiä lämmöneristeitä.

Tyhjiöeristeiden yhteydessä seinärakenteen eristepaksuudesta on suurin osa muita eristeitä. Tässä työssä tutkittiin viittä eri vaihtoehtoa. Tyhjiöeristeeseen lisäksi on rakenteessa käytetty lasivillaa, lasivillaa ja polyuretaania sekä polyuretaania. Koska lasivillalla ja polyuretaanilla on erilaiset ominaisuudet, on rakennetta tarkasteltu sekä U-arvon että kosteus käyttäytymisen suhteen. Koska tyhjiöeriste vastustaa vesihöyryn liikettä erittäin tehokkaasti, ei rakenteessa tarvita erillistä höyrynsulkua. Tyhjiöeriste muodostaa lisäksi asennettaessa erittäin tiiviin kerroksen, jonka avulla rakennuksen ilmantiiveys saadaan erinomaiselle tasolle.

Taulukko 8. ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeellä eristetyt seinät (Liite 3)

	<i>Tyhjiöseinä 1</i>	<i>Tyhjiöseinä 2</i>	<i>Tyhjiöseinä 3</i>	<i>Tyhjiöseinä 4</i>	<i>Tyhjiöseinä 5</i>
Osio 1	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm
Osio 2	Lasivilla 100 mm	Lasivilla 100 mm	Lasivilla 100 mm	Polyuretaani 100 mm	Polyuretaani 100 mm
Osio 3	Lasivilla 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm
Osio 4	Tyhjiöeriste 31 mm	Tyhjiöeriste 31 mm	Tyhjiöeriste 31 mm	Tyhjiöeriste 31 mm	Tyhjiöeriste 31 mm
	Lasivilla 50 mm	Lasivilla 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Lasivilla 50 mm	Polyuretaani 50 mm
	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm
U-arvo	0,126 W/(m ² *K)	0,120 W/(m ² *K)	0,115 W/(m ² *K)	0,112 W/(m ² *K)	0,108 W/(m ² *K)

Kaikkien esimerkkiseinien kokonaispaksuus on 274 mm, tästä paksuudesta puuttuu vielä ulkoverhouksen koolaus sekä ulkoverhous. 22 mm:n koolauksella sekä 20 mm:n ulkoverhouksella tulee seinän kokonaispaksuudeksi 316 mm.

Tyhjiöseinä 1:ssä on käytetty tyhjiöeristeen lisäksi pelkkää lasivillaa. Tämä on mahdollisesti asennukseltaan helpoin vaihtoehto mutta U-arvoltaan heikoin tutkituista rakenteista.

Tyhjiöseinä 2:ssa on pyritty parantamaan rakenteen U-arvoa polyuretaanieristeen avulla. Lisäksi tyhjiöeristeelle saadaan ulkopuolelle vahvempi suojakerros rikkoontumisen välttämiseksi. Tyhjiöeristeen sisäpuolelle on kuitenkin lisäkoolauksen väliin asennettu lasivilla, jolloin esimerkiksi eristäminen koolausväliin sijoiteltujen sähköasennusten ympärille on helpompaa.

Tyhjiöseinä 3:ssa tyhjiöeriste on suojattu molemmilta puolilta polyuretaanieristeellä. Tämä parantaa seinän U-arvoa sekä tyhjiöelementin suojausta. Koolausvälissä olevien sähköasennusten määrästä riippuen tyhjiöeristeen sisäpuolisen polyuretaanieristeen asennus voi olla työlästä.

Tyhjiöseinä 4:ssä on tyhjiöeristeen ulkopuoli eristetty polyuretaanieristeellä ja sisäpuoli lasivillalla. Tässä eristysratkaisussa polyuretaani muodostaa seinärakenteesta suurelta osin kovan ja kiinteän, joka voi vaikuttaa rakenteen akustisiin ominaisuuksiin parantamalla ulkoa kantautuvien äänien kantautumista rakenteen läpi.

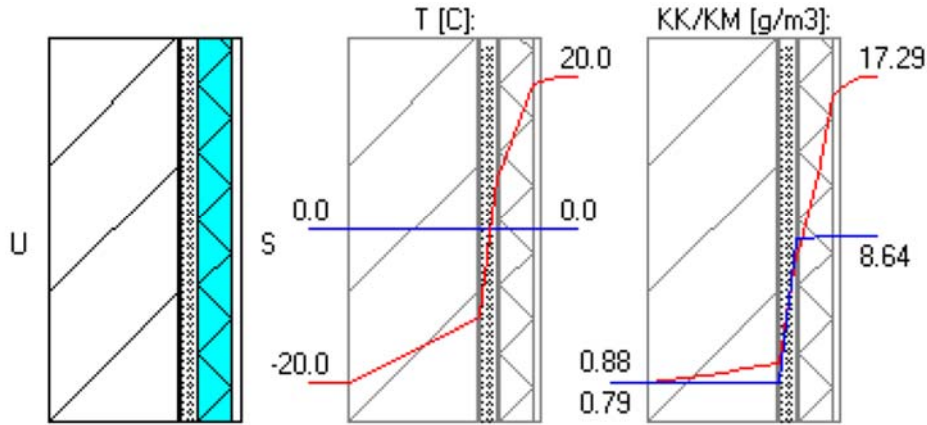
Tyhjiöseinä 5:ssä ei ole käytetty ollenkaan lasivillaa vaan tyhjiöeristeen lisäksi seinärakenteessa on ainoastaan polyuretaani eristettä. Tämä vaihtoehto antaa seinärakenteelle parhaan U-arvon mutta asentaminen voi olla kaikkein työläintä.

Missään esimerkkiseinässä ei esiinny kosteuden tiivistymisen riskiä. Kaikki tulokset ovat esitetty Liitteessä 3.

5.3.2 Kantavien pilarien kohta

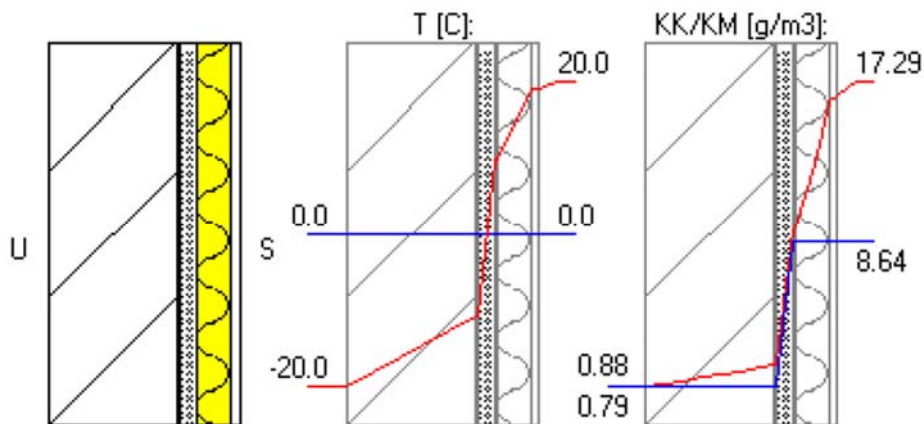
Kantavien pilarien kohdalla seinärakenteen kuvion 4 mukaiset osiot 1 ja 2 korvataan 190 mm paksulla puupilarilla. Pilarin sisäpuolella osiot 3 ja 4 pysyvät ennallaan. Seinärakenteen toimivuus pilarien kohdalla on tärkeä tarkastella, jottei kosteus pääsisi tiivistymään eristeen ja pilarin väliin. Käytännössä pilarien kohdalla on enää kaksi erilaista rakennetta. Toisessa tyhjiöeristeen sisäpuolella on lasivilla eriste ja toisessa polyuretaanieriste.

Polyuretaanieristeen yhteydessä tyhjiöeristeen ja polyuretaanieristeen välissä voi esiintyä kosteuden tiivistymistä. Suhteellinen kosteus nousee tässä liitoksessa 100 %:iin.



Kuvio 5. ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeen ja polyuretaanieristeen kosteustekninen toimivuus kantavan pilarin kohdalla (Liite 4 1(2))

Lasivillan yhteydessä vastaavaa tiivistymistä ei näyttäisi tapahtuvan.



Kuvio 6. ISOVER VacuPad Integra 007 -tyhjiöeristeen ja lasivillaeristeen kosteustekninen toimivuus kantavan pilarin kohdalla (Liite 4 2(2))

Tyhjiöeristeen ja polyuretaanin yhteistoimivuus kantavan pilarin kohdalla antaa vahvan viitteen siitä, että tyhjiöeristeen sisäpuolisen koolauksen välit kannattaisi eristää käyttämällä lasivillaa. Tällöin vaihtoehtoisiksi rakenteiksi jäisivät tyhjiöseinä 1, tyhjiöseinä 2 ja tyhjiöseinä 4.

Yksi mahdollinen vaihtoehto olisi korvata tyhjiöeristeen sisäpuolinen eriste fenolieristeellä. Tämä parantaisi rakenteen U-arvoa ja voisi poistaa kantavan pilarin kohdalle muodostuvan mahdollisen kosteuden tiivistymisen riskin. Tässä työssä en kuitenkaan lähde sekoittamaan eri eristeitä tämän enempää.

Mikäli ulkoseinän U-arvoa haluttaisiin vielä parantaa paksuntamatta rakennetta, voisi yhtenä vaihtoehtona pohtia toisen tyhjiöeriste kerroksen lisäämistä. Tämä kerros tulisi asentaa esimerkissä olevan tyhjiöeristeen taakse. Tällöin toinen tyhjiöeriste sijoittuisi ulkoseinän runkotolppien väliin, jolloin runkotolppa jakoa olisi syytä muuttaa tyhjiöeristeiden mahdollisimman tehokkaan käytön saavuttamiseksi.

5.4 Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeellä eristetyt rakenteet

5.4.1 Kantavien pilarien välinen aukko

Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeitä voidaan käyttää rakenteessa yksistään tai muiden eristeiden kanssa. Tässä työssä on tarkasteltu Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristettä sekä yksistään että lasivillan kanssa. Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste on kuitenkin jokaisessa mallissa sijoitettu ulkoseinän runkotolppalinjan sisäpuolelle. Tällöin saadaan tehtyä yksi kylmäsiilatton eristekerros mielenkiinnon kohteena olevalla eristeellä. Lisäksi rakenne vastaa paremmin tyhjiöeristeiden esimerkkiseiniä, jolloin seinärakenteiden keskinäinen vertailu on helpompaa. Samasta syystä yhtenäisen eristekerroksen sisäpuolelle asennetaan lisäksi koolaus, joka lisäksi helpottaa sisäpuolisen verhouksen kiinnittämistä.

Koska Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeet ovat diffuusioavoimia, eroaa seinärakenteen rakennusfysikaalinen toiminta polyuretaanilla eristetyistä seinästä merkittävästi. Rakenteeseen on lisättävä höyrynsulku kerros, sillä Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeet sallivat vesihöyryn liikkumisen rakenteen sisällä. Vaikka Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeitä on saatavissa valmiiksi toiselta puoleltaan diffuusiotiiviillä materiaalilla pinnoitettuna, on esimerkkirakenteissa käytetty höyrynsulkuna polyeteeni muovikalvoa.

Tässä työssä Kingspan Kooltherm K10 -fenolieriste asennetaan aina ulkoseinän runkotolppalinjan sisäpuolelle kylmäsiilatottomaksi kerrokseksi. Koska ei ole mielekästä tarkastella liian ohutta fenolieriste kerrosta, on esimerkki seinissä neljä eri variaatiota taulukon 9 mukaisesti.

Taulukko 9. Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeellä eristetyt seinät (Liite 5)

	<i>Fenoliseinä 1</i>	<i>Fenoliseinä 2</i>	<i>Fenoliseinä 3</i>	<i>Fenoliseinä 4</i>
Osio 1	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm
Osio 2	Lasivilla 100 mm	Lasivilla 100 mm	Fenolieriste 100 mm	Fenolieriste 100 mm
Osio 3	Fenolieriste 50 mm	Fenolieriste 50 mm	Fenolieriste 50 mm	Fenolieriste 50 mm
Osio 4	Fenolieriste 50 mm	Fenolieriste 50 mm	Fenolieriste 50 mm	Fenolieriste 50 mm
	Lasivilla 50 mm	Fenolieriste 50 mm	Lasivilla 50 mm	Fenolieriste 50 mm
	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm
U-arvo	0,108 W/(m ² *K)	0,102 W/(m ² *K)	0,099 W/(m ² *K)	0,093 W/(m ² *K)

Kaikkien esimerkkiseinien kokonaispaksuus on 293 mm, tästä paksuudesta puuttuu vielä ulkoverhouksen koolaus sekä ulkoverhous. 22 mm:n koolauksella sekä 20 mm:n ulkoverhouksella tulee seinän kokonaispaksuudeksi 335 mm.

Fenoliseinä 1:ssä on Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristettä yhteensä 100 mm. Puolet tästä muodostaa yhtenäisen kylmäsillattoman eristekerroksen ja toinen puolikas asennetaan runkotolppien väliin. Tässä rakenteessa ei esiinny riskiä kosteuden tiivistymiselle vaikka erillistä höyrynsulkukerrosta ei asennettaisikaan. (Liite 5 1(4).)

Fenoliseinä 2:ssa Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristettä on lisäksi yhtenäisen eristekerroksen sisäpuolisen koolauksen koolausväleissä. Tämä hankaloittaa koolausväleissä olevien asennusten eristämistä mutta fenolieristeen kokonaispaksuus kasvaa 150 mm:iin. Kantavien pilarien väli on puolestaan eristetty lasivillalla. Tässä rakenteessa ei esiinny riskiä kosteuden tiivistymiselle vaikka erillistä höyrynsulkukerrosta ei asennettaisikaan. (Liite 5 2(4).)

Fenoliseinä 3:ssa yhtenäisen eristekerroksen taustapuoli on kokonaan eristetty Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeellä mutta sisäpuolisen koolauksen väli on eristetty lasivillalla. Tässä rakenteessa esiintyy riski kosteuden tiivistymiselle rakenteisiin, joten erillinen höyrynsulku on pakollinen. (Liite 5 3(4).)

Fenoliseinä 4:ssä koko rakenne on eristetty Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeellä. Tässä tapauksessa U-arvo saadaan erinomaiseksi ja olisi mahdollista harkita jopa yhtenäisen eristekerroksen paksuuden pienentämistä. Tällöin seinärakenteen kokonaispaksuutta saataisiin ohennettua. Tässä rakenteessa esiintyy riski kosteuden tiivistymiselle rakenteisiin, joten erillinen höyrynsulku on pakollinen. (Liite 5 4(4).)

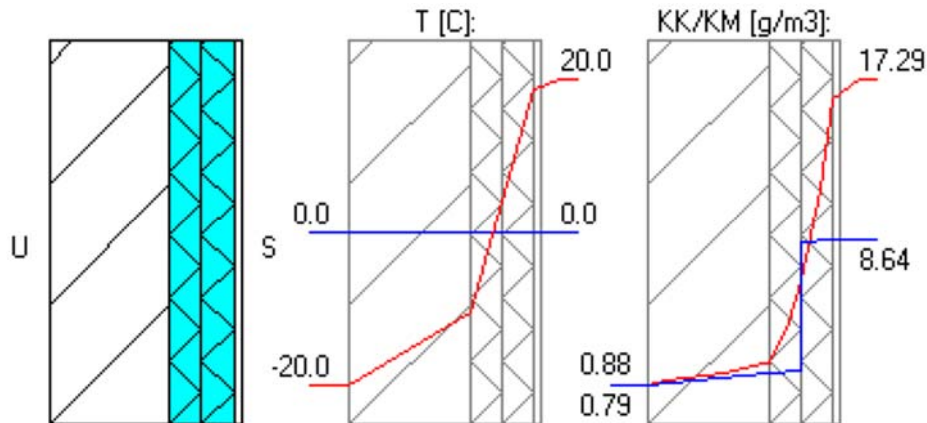
Vaikka mallirakenteessa ei esiintyisi riskiä kosteuden tiivistymiselle, on rakenteeseen silti suositeltavaa lisätä höyrynsulku, sillä se vähentää kosteuden liikkumista rakenteen lävitse. Rakenteen sisältämä kosteus voi jäätymä tietyissä osissa rakennetta ja tämä tuskin parantaa eristeiden toimivuutta tai elinkaarta. Jokaisessa esimerkissä rakenteessa höyrynsulku muovi on asennettava sisäpuolisen koolauksen jommallekummalle puolelle. Sisäpuolen koolauksen ja kipsilevyn väliin asennettaessa höyrynsulkumuovi on alttiimpi reikiintymiselle mutta kosteusteknisesti se olisi paras paikka. Suositeltavampaa olisi kuitenkin asentaa höyrynsulkumuovi ehjän eristekerroksen ja sisäpuolisen koolauksen väliin. (Liite 6)

5.4.2 Kantavien pilarien kohta

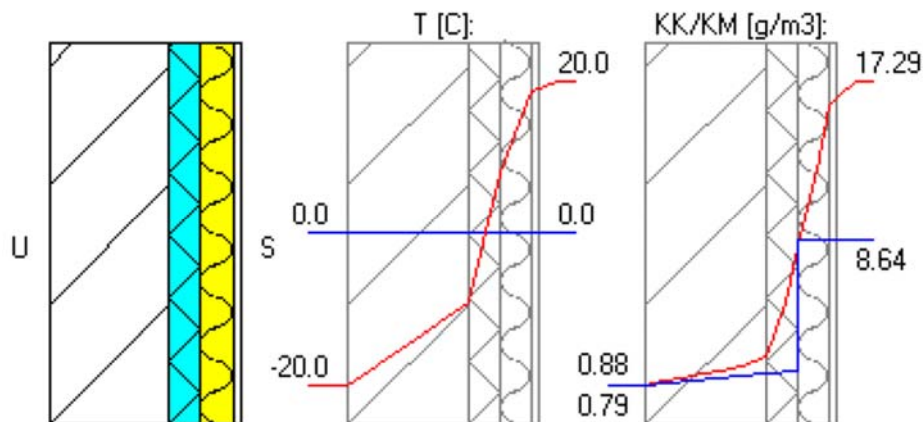
Kantavien pilarien kohdalla kuvion 4 mukaiset seinärakenteen osiot 1 ja 2 korvataan 190 mm paksulla puupilarilla. Pilarin sisäpuolella osiot 3 ja 4 pysyvät ennallaan. Seinärakenteen toimivuus pilarien kohdalla on tärkeä tarkastella, jottei kosteus pääsisi tiivistymään eristeen ja pilarin väliin. Käytännössä pilarien kohdalla on enää kaksi erilaista rakennetta. Toisessa yhtenäisen fenolieristeen sisäpuolella on lasivillaeriste ja toisessa pilarin sisäpuoli on eristetty kokonaan fenolieristeellä.

Molemmissa tapauksissa pilarin kohdalla on rakenteeseen laitettava höyrynsulku. Höyrynsulkuna käytetään näissä laskelmissa polyeteeni höyrynsulkumuovia. Höyrynsulkumuovi olisi hyvä olla sisäpuolisen koolauksen ulkopuolella.

Tällöin riski höyrinsulkumuovin reikiintymiselle esimerkiksi taulukoukkuja asentaessa pienenesi huomattavasti. Esimerkki laskelmissa kuitenkin osoittautui, että tällöin molemmissa tapauksissa höyrinsulkumuovin pintaan syntyy mahdollinen kosteuden tiivistymisen riski.



Kuvio 7. Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeen kosteustekninen toimivuus kantavan pilarin kohdalla (Liite 7 1(2))



Kuvio 8. Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeen ja lasivillan kosteustekninen toimivuus kantavan pilarin kohdalla (Liite 7 2(2))

Kosteuden tiivistymisriskin minimoimiseksi tulisi höyrinsulkumuovi asentaa sisäpuolisen koolauksen ja kipsilevyn väliin. Tällöin höyrinsulkumuovi kuitenkin sijaitsee sellaisessa kohdassa rakennetta, jossa se pääsee helpoiten rikkoutumaan.

Mikäli höyrynsulku halutaan asentaa rakenteeseen sisäpuolisen koolauksen ulkopuolelle, pitäisi se kuitenkin kantavien pilarien kohdalla saada tuotua koolauksen ja kipsilevyn väliin. Tähän voisi miettiä olisiko mahdollista asentaa höyrynsulkumuovi ehyenä sisäpuolisen koolauksen taakse ja pilarien kohdalla vaihtaa sisäpuolinen eriste esimerkiksi polyuretaani eristeeksi, joka itsessään jo toimisi höyrynsulkuna. Tällaisen kahden peräkkäisen höyrynsulun liitos olisi kuitenkin saatava toteutettua erittäin tiiviisti, jotta se voisi toimia.

5.5 Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä eristetyt rakenteet

5.5.1 Kantavien pilarien välinen aukko

Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä eristetyn seinän rakenne on käytännössä samanlainen kuin Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeiden tapauksessa. Eristemateriaalin ominaisuuksien vuoksi sen toiminta kuitenkin poikkeaa fenolieristeellä eristetystä rakenteesta. Suurimmat eroavaisuudet ovat vesihöyryn läpäisevyydessä sekä paloluokassa. Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieriste on itsessään niin tiivis, että se toimii ilman- ja höyrynsulkuna rakenteessa.

Samoin kun Kingspan Kooltherm K10 -fenolieristeiden kohdalla on ulkoseinän rakenteesta muodostettu neljä erilaista esimerkki rakennetta. Jokaisessa rakenteessa polyuretaanieriste asennetaan ehyenä ulkoseinän runkotolppalinjan sisäpuolelle.

Taulukko 10. Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä eristetyt seinät (Liite 8)

	<i>PUseinä 1</i>	<i>PUseinä 2</i>	<i>PUseinä 3</i>	<i>PUseinä 4</i>
Osio 1	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm	Tuulensuojaeriste 30mm
Osio 2	Lasivilla 100 mm	Lasivilla 100 mm	Polyuretaani 100 mm	Polyuretaani 100 mm
Osio 3	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm
Osio 4	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Polyuretaani 50 mm
	Lasivilla 50 mm	Polyuretaani 50 mm	Lasivilla 50 mm	Polyuretaani 50 mm
	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm	Kipsilevy 13 mm
U-arvo	0,113 W/(m ² *K)	0,107 W/(m ² *K)	0,105 W/(m ² *K)	0,100 W/(m ² *K)

Kaikkien esimerkkiseinien kokonaispaksuus on 293 mm, tästä paksuudesta puuttuu vielä ulkoverhouksen koolaus sekä ulkoverhous. 22 mm:n koolauksella sekä 20 mm:n ulkoverhouksella tulee seinän kokonaispaksuudeksi 335 mm.

PUseinä 1:ssä on Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristettä yhteensä 100 mm. Puolet tästä muodostaa yhtenäisen kylmäsillattoman eristekerroksen ja toinen puolikas asennetaan runkotalppien väliin. Tässä rakenteessa ei esiinny riskiä kosteuden tiivistymiselle rakenteen sisällä. (Liite 8 1(4).)

PUseinä 2:ssa Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristettä on lisäksi yhtenäisen eristekerroksen sisäpuolisen koolauksen koolausväleissä. Tämä hankaloittaa koolausväleissä olevien asennusten eristämistä mutta polyuretaanieristeen kokonaispaksuus kasvaa 150 mm:iin. Kantavien pilarien väli on puolestaan eristetty lasivillalla. Tässä rakenteessa ei esiinny riskiä kosteuden tiivistymiselle. (Liite 8 2(4).)

PUseinä 3:ssa yhtenäisen eristekerroksen taustapuoli on kokonaan eristetty Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä mutta sisäpuoleisen koolauksen välit on eristetty lasivillalla. Tässä rakenteessa esiintyy riski kosteuden tiivistymiselle osioiden 2 ja 3 välisessä liitoksessa. Mikäli osioihin 2 ja 3 asennetut polyuretaanieristeet korvataan yhtenäisellä 150 mm paksulla polyuretaanieristeellä, sijoittuisi tiivistymisriski eristeen sisälle. Koska Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieriste ei käytännössä päästä vettä sisälleen, voi olla mahdollista, ettei eristeen sisällä oleva kosteuden tiivistymisen riski aiheuta rakenteeseen mitään ongelmia. (Liite 8 3(4).)

PUseinä 4:ssä koko rakenne on eristetty Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä. Tässä tapauksessa rakenteelle saadaan paras U-arvo mutta polyuretaanieristeiden asentamisen suunnitteluun kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. Tässä rakenteessa esiintyy riski kosteuden tiivistymiselle rakenteen osioiden 2 ja 3 yhtymäkohdassa. (Liite 8 4(4).)

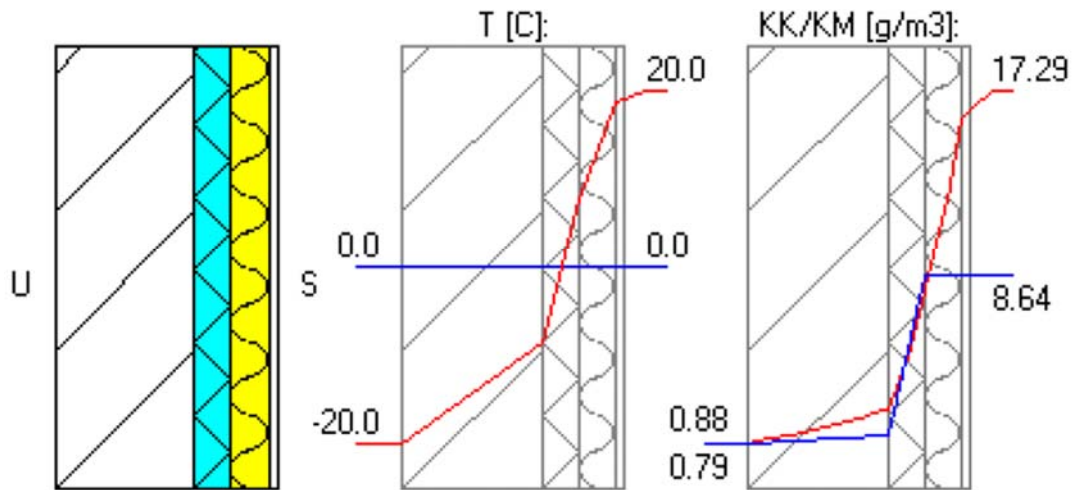
Mikäli seinän runkotolppien väli päätetään eristää kokonaan polyuretaani eristeellä, voisi harkita ruiskutettavan polyuretaanieristeen käyttöä. Tällöin polyuretaanikerroksesta saataisiin varmuudella yhtenäinen. Ruiskutettavalla polyuretaanilla ei kuitenkaan voida tehdä kylmäsilatonta eristekerrosta rakenteeseen. Ruiskutettavaa polyuretaanieristettä käytettäessä voisi olla järkevää tehdä runkotolppien sisäpuolelle ristikoolaus ja eristää koko seinä ruiskutettavalla polyuretaanieristeellä. Tämä eristystapa vaatii kuitenkin asennustavaltaan erilaista suunnittelua ja sen tarkasteleminen tämän työn yhteydessä ei ole mielekäästä.

5.5.2 Kantavien pilarien kohta

Kantavien pilarien kohdalla kuvion 4 mukaisen seinärakenteen osiot 1 ja 2 korvautuvat 190 mm paksulla puupilarilla. Pilarin sisäpuolella osiot 3 ja 4 pysyvät ennallaan. Seinärakenteen toimivuus pilarien kohdalla on tärkeä tarkastella, jottei kosteus pääsisi tiivistymään eristeen ja pilarin väliin. Käytännössä pilarien kohdalla on enää kaksi erilaista rakennetta. Toisessa yhtenäisen polyuretaanieristeen sisäpuolella on lasivillaeriste ja toisessa pilarin sisäpuoli on eristetty kokonaan polyuretaanieristeellä.

Kokonaan Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä eristetty pilarin sisäpuoli ei sisällä riskiä kosteuden tiivistymiselle. (Liite 9 1(2).)

Sisäpuolisten koolausvälien eristäminen lasivillalla sisältää kosteuden tiivistymisen riskin lasivillan ja polyuretaanieristeen liitoksessa. (Liite 9 2(2).)



Kuvio 9. Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeen ja lasivillan kosteustekninen toimivuus kantavan pilarin kohdalla (Liite 9 2(2))

Saatujen tulosten seurauksena olisi järkevintä eristää kantavien pilarien kohdat pelkästään Kingspan Therma TW55 -polyuretaanieristeellä. Kosteuskäyttäytymisen suhteen turvallisimmaksi vaihtoehdoksi jäisi näin ollen PUseinä 2.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä oli tarkoituksena tarkastella valittujen materiaalien sopivuutta tutkitavana olleeseen runkorakenteeseen. Työssä keskityttiin lähinnä rakenteen U-arvoon ja kosteustekniseen toimivuuteen. Näiden lisäksi otettiin kantaa eristemateriaalien käytettävyyteen ja asennettavuuteen rakenteen eri osissa. Työssä saatiin hyvin vastauksia eri eristemateriaalien käytettävyyteen tarkastellussa runkorakenteessa. Tässä työssä ei tarkasteltu ollenkaan eri vaihtoehtojen taloudellisuutta. Työstä saadaan kuitenkin käsitystä materiaalimenekille. Eri eristemateriaalien hintaselvityksen jälkeen voidaan tehdä päätöksiä siitä, mitkä voisivat olla järkevät eristysratkaisut ja tarkastella niitä syvällisemmin.

Tyhjiöeristeiden lämmönjohtavuus on huippuluokkaa mutta niiden käyttö valmiissa rakenteessa vaikuttaa aika hankalalta varsinkin seinillä joissa on paljon ovi- tai ikkuna-aukkoja. Tällaisissa tapauksissa rakennus kannattaisi alkaa jo alun perin suunnittelemaan siitä näkökulmasta, että eristyksessä käytetään tyhjiöeristeitä. Kattojen eristämiseen tyhjiöeristeiden käyttö vaikuttaisi kaikista helpoimmalta. Lisäksi tyhjiöeristeiden käytössä on suunniteltava muut rakenteet siten ettei tyhjiöeristeet pääse vahingoittumaan muiden työvaiheiden tai asumisen aikana.

Tyhjiöeristeillä on huomattavasti parempi lämmönjohtavuuden arvo kuin muilla tutkituilla eristemateriaaleilla. Tyhjiöeriste-elementit ovat kuitenkin verrattain ohuita muihin eristeisiin nähden. Tämä johtuu siitä, että tyhjiöeristeet on suunniteltu erityisesti ahtaisiin tiloihin joissa tyhjiöeristeiden avulla pyritään säästämään arvokkaita senttejä rakennuksen sisätiloissa. Elementtien pieni paksuus johtaa siihen, ettei erinomaisesta lämmönjohtavuudesta huolimatta, yksittäisellä elementillä saavuteta erinomaista U-arvoa. Joidenkin lähteiden mukaan tyhjiöeristeitä olisi saatavana jopa 50 mm paksuina elementteinä. Tarkastellun toimittajan valikoimasta tällaisia ei kuitenkaan löytynyt.

Tyhjiöelementin erinomaisesta lämmönjohtavuudesta huolimatta muilla tutkituilla eristemateriaaleilla päästiin samoihin ja jopa hieman parempiin U-arvoihin. Tässä pitää huomioida, että tyhjiöeristeiset esimerkkiseinät olivat kuitenkin 19 mm ohuempia kuin muut tutkitut seinärakenteet.

Mikäli uudisrakennuksessa päätettäisiin käyttää tyhjiöeristeitä, kannattaa tämä ottaa huomioon jo rakennuksen rungon sekä ovi- ja ikkuna-aukkojen suunnittelussa. Lisäksi kannattaa valita paksumpi tyhjiöeriste kerros. Tämä onnistuu joko löytämällä paksumpia tyhjiöeriste-elementtejä tai asentamalla useampi tyhjiöeriste kerros päällekkäin.

Fenolieristeet ja polyuretaanieristeet ovat materiaaleina hyvin samankaltaisia. Suurimpana erona näiden välillä on materiaalien vesihöyrynvastuksessa. Tästä seuraa, että rakenteen kosteustekniseen käyttäytymiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Fenolieristeitä on saatavilla toiselta puoleltaan diffuusiotiivinä. Tällöin fenolieriste voidaan suunnitella siten, että se toimii rakenteessa höyrynsulkuna. Tässä työssä fenolieristeitä tarkasteltiin ainoastaan diffuusioavoimina ja höyrynsulkuna käytettiin erillistä muovikalvoa. Tämän seurauksena seinien tarkastelu Dof-Lämpö ohjelmalla oli selkeämpää.

Fenolieristeillä päästiin esimerkkirakenteissa jopa alle $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ U-arvoihin. Tällä arvolla saavutetaan jo passiivitalon U-arvo vaatimukset. Kaikilla eristeillä saatiin aikaiseksi ulkoseinärakenteita joilla alitetaan matalaenergiatalojen U-arvo vaatimus $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. (Energiatehokas koti 2016.)

Työssä tutkittiin useaa eri vaihtoehtoa lämmöneristyksen toteuttamiselle. Näistä vaihtoehtoista kannattaa rajata pois suurin osa ja keskittyä muutamaan ratkaisuun joita tarkastella syvällisemmin. Syvällisemmän tarkastelun seurauksena voi löytyä hyvä vaihtoehto, jonka toteuttaminen käytännössä on mielekästä.

Tässä työssä tutkimus tapahtui ainoastaan teoreettisesta näkökulmasta. Käytännön rakentamisessa voi tulla ilmi sellaisia näkökulmia, joihin tässä työssä ei ole osattu varautua.

Koska saadut tulokset ovat täysin teoreettisia, ne eivät välttämättä käytännössä ole täysin luotettavia. Tulosten luotettavuutta mietittäessä kannattaa lisäksi kiinnittää huomiota siihen, että osa työssä tarkastelluista eristemateriaaleista olivat sellaisia, joista saatavilla olevat käyttökokemukset ovat vielä hyvin vähäisiä.

7 POHDINTA

Tässä työssä keskityttiin muutamiin levymäisiin lämmöneristeisiin ja tarkasteltiin niiden toimivuutta annetussa runkorakenteessa. Rungon rakenne on kuitenkin vaihteleva, joten lämmöneristeeksi voisi pohtia myös ruiskutettavia eristeitä. Tutkittavassa rakennuksessa oli paljon ovi- ja ikkuna-aukkoja sekä vaihtelevia rungon paksuuksia. Tällaisissa vaihtelevissa ja haastavissa kohteissa ruiskutettavat eristeet voisivat olla nopeita ja suhteellisen helppoja asentaa.

Tyhjiöeristeet ovat lämmönjohtavuudeltaan ylivoimaisia eristemateriaaleja mutta niiden käyttö rakentamisessa on vielä olematonta. Osasyyn tähän on varmasti tyhjiöeristeiden käytön suunnittelun hankaluus. Rakentamisessa käytetään yleisesti 600 mm runkojakoa. Tämä näkyy esimerkiksi pintamateriaalien kuten tuulensuoja- sekä kipsilevyjen vakio leveyksissä. Tutkitut tyhjiöeristeet olivat kuitenkin suunniteltu 500 mm jaolle. Kiinnitys tapahtuu k500 mm koolaukseen ja tyhjiöeriste-elementtien vakio pituudet ovat 500 mm ja 1000 mm. Näiden sovittaminen 600 mm jaolla olevien runkotolppien väliin ei ole järkevää, sillä eristämässä pitäisi käyttää paljon muuta materiaalia koolausjakojen tasaamisiin. Tällöin tyhjiöeristeillä eristettävä pinta-ala jää suhteellisen pieneksi koko rakenteen pinta-alaan nähden ja tyhjiöeristäminen menettää hyötyään samassa suhteessa.

Tyhjiöeristeiden tehokas käyttö vaatisi joko tyhjiöelementtien koon mukauttamista valmistajien toimesta tai rakenteiden suunnittelua alusta alkaen tyhjiöelementeille sopiviksi. Lisäksi tyhjiöelementtejä käytettäessä tulee kiinnittää erityistä huomiota suunniteltaessa talon ikkunoiden ja ovien kokoja ja sijainteja.

Tyhjiöeristeiden käytöstä rakentamisessa ei löytynyt juurikaan tietoa. Tämä työ voi kuitenkin toimia avauksena sille, että tyhjiöeristeiden käyttöä rakentamisessa aletaan testaamaan ja tietoa kokemuksista julkaistaisiin. Rakentamisessa käytökokemukset ovat ensiarvoisen tärkeä tiedonlähde uusien materiaalien ja menetelmien yleistymiseksi. Näkisin, että tyhjiöeristeet ovat vielä tulevaisuuden materiaaleja, mutta niiden käytön aloittaminen kokemusten ja tutkimustulosten saamiseksi voi alkaa yleistyä jo lähitulevaisuudessa.

Fenolieristeet vaikuttivat varsin lupaavilta vaihtoehdoilta perinteisten eristeratkaisujen rinnalle. Fenolieristeiden muokattavuus on suuri etu rakentamisessa. Lisäksi fenolieristeiden hivenen parempi lämmönjohtavuuden arvo verrattuna polyuretaanieristeisiin sekä parempi paloluokka tarjoavat mahdollisuuksia suunnitella ohuempia ja tehokkaampia rakenteita. Fenolieristeitä on saatavilla diffuusioavoimena ja osittain diffuusioavoimena. Nämä ominaisuudet on tarkkaan huomioitava rakenteita suunniteltaessa mutta uskoisin niillä olevan hyödyllisiä sovelluksia rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden toteutuksessa. Fenolieristeillä on mielestäni paljon potentiaalia rakennusten lämmöneristämässä.

Polyuretaanieristeet ovat nousseet nykyisin perinteisten pehmeiden villaeristeiden rinnalle yleisesti käytetyiksi lämmöneriste materiaaleiksi myös pientalorakentamisessa. Polyuretaanilla on pehmeisiin villaeristeisiin nähden parempi lämmöneristyskyky mutta se eroaa muilta ominaisuuksiltaan merkittävästi pehmeistä villaeristeistä. Polyuretaanilla on kuitenkin jo alalta runsaasti käyttökokemuksia ja sen käyttö varmasti yleistyy, mikäli rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia kiristetään entisestään. Samalla tämä luo mahdollisuuksia muille uusille lämmöneristemateriaaleille ja ratkaisuille.

Tässä työssä kävi ilmi, että polyuretaani on varsin kilpailukykyinen vaihtoehto uusien tehokkaiden lämmöneristeiden rinnalla. Sen käytössä on kuitenkin syytä kiinnittää huomiota asentamisen suorittamiseen, akustisiin ominaisuuksiin ja rakenteissa esiintyvien esimerkiksi sähkö-, putki- ja ilmastointivetojen ympäristöjen ja läpivientien eristämiseen.

Perinteisillä pehmeillä villaeristeillä on tutkittuihin eristeisiin nähden se erinomainen ominaisuus, että ne ovat joustavia ja niiden asennuksessa mittatarkkuudessa on enemmän pelivaraa. Tästä hyvä esimerkki on sähkövetojen kulkeminen eristeiden välissä.

LÄHTEET

Artichouse Oy 2016. Artichouse Oy:n sisäinen muistio. 1.11.2016. Ei julkinen.

Energiatehokas Koti 2016. Suuntaa-antavia ohjearvoja. Viitattu 2.12.2016. http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/suuntaa-antavia_ohjearvoja.

Isover 2016a. Isover kl 33. Viitattu 14.10.2016 <http://www.isover.fi/tuotteet/isover-kl-32>.

Isover 2016b. Tyhjiöeristeet. Viitattu 12.10.2016 <http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/tyhjoeristeet>.

Isover 2016c. VacuPad Integra 007. Viitattu 15.11.2016 http://www.isover.fi/sites/isover.fi/files/assets/documents/vacuppad_integra_esite_27078.pdf.

Kingspan Insulation Oy 2016. Kingspan Therma TP10/TF70/Tw50/TW55 (ent. SPU AL). Viitattu 4.11.2016 <http://www.spu.fi/tuotteet/tuote/kingspan-therma-tp10-tf70-tw50-tw55-ent-spu-al/>.

Paroc 2016. Rakennuksen vaippa. Viitattu 14.10.2016 <http://www.paroc.fi/know-how/energiatehokkuus/rakennusten-suunnittelu/rakennuksen-vaippa>

Pu-nordic 2016. Polyuretaanista valmistetut lämmöneristeet. Viitattu 14.10.2016 http://www.pu-nordic.fi/files/pu-nordic/pdf/81228_PU_Nordic_lammoneriste_esite_spread_LR.pdf.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Spu 2016. Tutkimukset ja raportit. Viitattu 1.11.2016 <http://www.spu.fi/suunnittelu/tutkimukset-ja-raportit/>.

Talonrakentajan käsikirja 1: Puutalon runkotyöt. 2011. Rakentajan tietokustannus Oy/Rakentajan Tietokirjat. 13. uudistettu painos.

Viitanen, A. 2016. www.spu.fi Ota yhteyttä. Sähköposti lasse.ylitolonen@edu.lapinamk.fi 21.9.2016. Tulostettu 15.11.2016.

Vicover 2016a. Kuumaa lämpöoppia huippuluokan eristyskykyyn. Viitattu 7.11.2016. <http://www.vicover.fi/teknologia/kuumaa-lampooppia-huippuluokan-eristyskykyyn>.

Vicover 2016b. Tyhjiöeriste. Viitattu 7.11.2016. <http://www.vicover.fi/tyhjiöeristeet-2>.

Wikipedia 2016. Rakennuseriste. Viitattu 12.10.2016 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuseriste#Fenolieristeet>.

LIITTEET

- Liite 1. Käytettyjen materiaalien ominaisuudet
- Liite 2. Villa seinät
- Liite 3. Tyhjiö seinät
- Liite 4. Tyhjiö pilarit
- Liite 5. Fenoli seinät
- Liite 6. Fenoli seinät (höyrynsulku)
- Liite 7. Fenoli pilarit
- Liite 8. PU seinät
- Liite 9. PU pilarit

Liite 1

Käytetyt materiaalit	selite	tarkasteltavat tuotteet	lämmönjohtavuus, W/m ² K	paksuus, mm	vesihöyryn läpäisevyys, kg/m ² s*Pa	vesihöyryn vastus, m ² *s*Pa/kg	diffuusiivastuskerronin, μ (suhte ilman arvoon)	palo-ominaisuudet
Isover VacuPad Integra 007	tyhjiö eriste	x	0,007	31 (ydin 25)	2,00*10 ⁻¹⁶	1,500*10 ¹⁴	1000000	E
Kingspan Kooltherm K10	fenoli eriste	x	0,020	45-120	5,714*10 ⁻¹²	5,250*10 ⁹	35	C-s1, d0
			0,021	121-159	8,417*10 ⁻¹¹	3,564*10 ⁸	2,376	A2-s1, d0
Isover RKL-31 facade	tuulensuojakeriste		0,031	30	1,05*10 ⁻¹⁰	4,762*10 ⁸	1,905	A1
Isover KL 32	pehneä villa		0,032	50 / 100	5,484*10 ⁻¹⁴	5,47*10 ¹¹	3647	
Kingspan Therma TW55	polyuretaani eriste	x	0,022	100	5,338*10 ⁻¹⁴	5,62*10 ¹¹	3747	E
Polyeteeni	höyrynsulkumuovi		0,33	0,25	5,00*10 ⁻¹⁶	5,000*10 ¹¹	400000	
Kipsilevy 700 kg/m ³			0,21	13	2,00*10 ⁻¹¹	1,500*10 ⁹	10	
Puu (mänty)	kylmäsiila		0,12		1,82*10 ⁻¹¹	5,500*10 ⁹	11	

paksuuden kehysten sisältämä arvo on materiaaltoimittajan tiedoista löydetty arvo

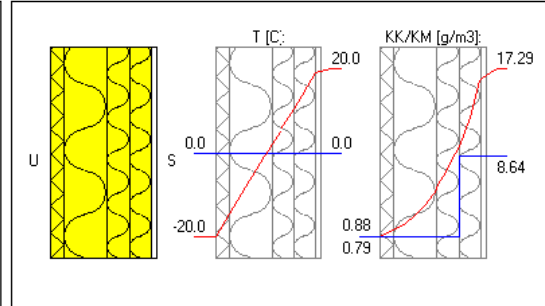
Liite 2 1(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.168 W/m²K
Paksuus: 243.250 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 20.95 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin: 7.158e-06 g/m²hPa
Lämmönvastus: 5.951 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [-]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
4 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
5 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.79	0.90	0.79	88.2	0.00
2	-14.59	1.44	0.80	55.6	0.00
3	2.19	5.63	0.81	14.4	0.00
4	10.58	9.75	0.82	8.4	0.00
5	10.58	9.75	8.63	88.5	0.00
6	18.97	16.27	8.63	53.1	0.00
7	19.30	16.59	8.64	52.1	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

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

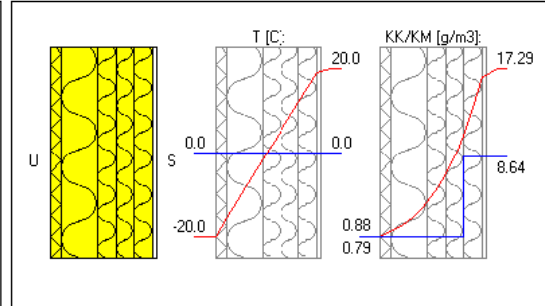
Liite 2 2(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.138 W/m²K
 Paksuus: 293.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 22.75 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 1.398e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisy kerroin: 7.152e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.242 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
4 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
5 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
6 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
7 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
4 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
6 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.82	0.89	0.79	88.5	0.00
2	-15.53	1.32	0.80	60.4	0.00
3	-1.66	4.25	0.81	19.1	0.00
4	5.28	6.92	0.82	11.8	0.00
5	12.21	10.80	0.83	7.7	0.00
6	12.21	10.80	8.63	79.8	0.00
7	19.15	16.44	8.63	52.5	0.00
8	19.42	16.71	8.64	51.7	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

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

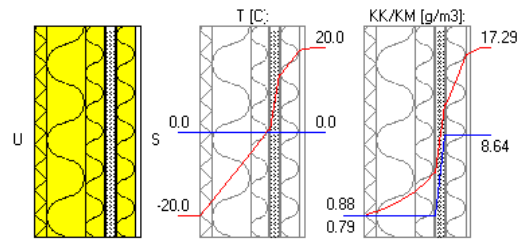
Liite 3 1(5)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.126 W/m²K
Paksuus: 274.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 24.15 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 3.472e+07 m²hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin: 2.880e-08 g/m²hPa
Lämmönvastus: 7.917 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mk]:	VHV [-]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
4 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
5 tyhjiöydin	25.00	0.0070	1.000000e+06	0.00	0.00
6 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
7 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
8 Kipsilevy 700 kg/m3	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mk]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
4 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.86	0.89	0.79	88.8	0.00
2	-16.36	1.23	0.79	64.6	0.00
3	-5.08	3.22	0.79	24.6	0.00
4	0.56	5.04	0.79	15.7	0.00
5	0.67	5.07	0.79	15.6	0.00
6	13.56	11.74	8.64	73.6	0.00
7	13.67	11.82	8.64	73.1	0.00
8	19.31	16.60	8.64	52.1	0.00
9	19.53	16.82	8.64	51.4	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

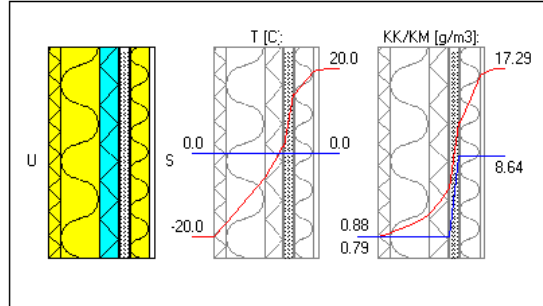
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 3 2(5)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.120 W/m ² K
Paksuus:	274.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	24.15 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.498e+07 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	2.859e-08 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.320 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
5 tyhjiödin	25.00	0.0070	1.000000e+06	0.00	0.00
6 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
7 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
8 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
4 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.86	0.89	0.79	88.9	0.00
2	-16.58	1.20	0.79	65.9	0.00
3	-5.98	2.99	0.79	26.5	0.00
4	1.73	5.46	0.85	15.6	0.00
5	1.83	5.50	0.85	15.5	0.00
6	13.95	12.03	8.64	71.9	0.00
7	14.05	12.10	8.64	71.4	0.00
8	19.35	16.64	8.64	51.9	0.00
9	19.56	16.85	8.64	51.3	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

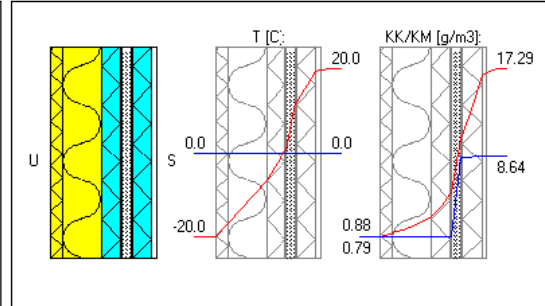
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 3 3(5)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.115 W/m ² K
Paksuus:	274.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	24.15 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.523e+07 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	2.839e-08 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.715 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kuitulevy , mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
5 tyhjiödin	25.00	0.0070	1.000000e+06	0.00	0.00
6 Kuitulevy , mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
7 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
8 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mk]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
4 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.87	0.89	0.79	88.9	0.00
2	-16.78	1.18	0.79	67.1	0.00
3	-6.78	2.80	0.79	28.3	0.00
4	0.49	5.01	0.85	16.9	0.00
5	0.59	5.05	0.85	16.8	0.00
6	12.02	10.67	8.59	80.5	0.00
7	12.11	10.74	8.59	80.0	0.00
8	19.39	16.68	8.64	51.8	0.00
9	19.58	16.87	8.64	51.2	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

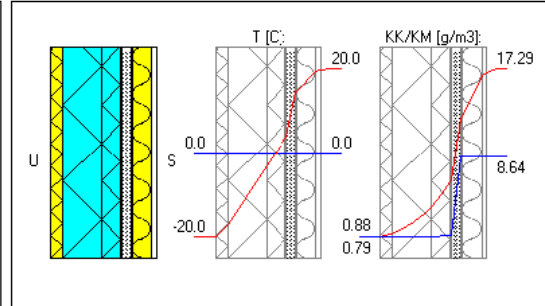
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 3 4(5)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.112 W/m ² K
Paksuus:	274.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	24.15 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.548e+07 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	2.818e-08 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.892 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FAÇADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Therma TW 55	100.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
5 tyhjiödin	25.00	0.0070	1.000000e+06	0.00	0.00
6 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
7 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
8 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
4 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.88	0.89	0.79	89.0	0.00
2	-16.95	1.16	0.79	68.1	0.00
3	-3.19	3.76	0.90	24.1	0.00
4	3.69	6.23	0.96	15.4	0.00
5	3.78	6.27	0.96	15.3	0.00
6	14.60	12.52	8.64	69.1	0.00
7	14.69	12.58	8.64	68.7	0.00
8	19.42	16.71	8.64	51.7	0.00
9	19.61	16.89	8.64	51.2	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

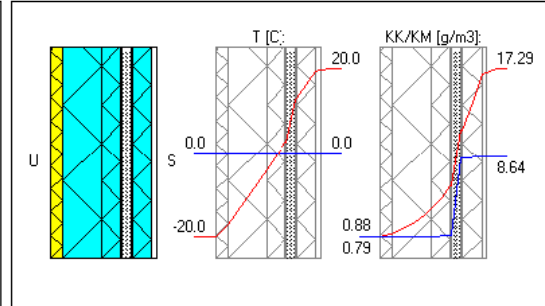
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusnäähä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 3 5(5)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo:	0.108 W/m ² K
Paksuus:	274.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	24.15 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.575e+07 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	2.797e-08 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	9.277 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FAÇADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Therma TW 55	100.00	0.0220	3.747000e+03	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
5 tyhjöydin	25.00	0.0070	1.000000e+06	0.00	0.00
6 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
7 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
8 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
4 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.89	0.89	0.79	89.0	0.00
2	-17.10	1.15	0.79	69.1	0.00
3	-4.04	3.51	0.91	25.8	0.00
4	2.49	5.74	0.96	16.7	0.00
5	2.57	5.78	0.96	16.7	0.00
6	12.83	11.23	8.59	76.5	0.00
7	12.92	11.29	8.59	76.1	0.00
8	19.45	16.74	8.64	51.6	0.00
9	19.63	16.91	8.64	51.1	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

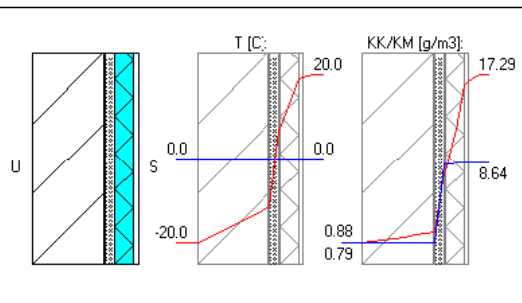
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 4 1(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.156 W/m ² K
Paksuus:	284.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	98.03 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.499e+07 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	2.858e-08 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.410 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu(mänty)	190.00	0.1200	5.000000e+01	0.00	450.00
2 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
3 tyhjiödin	25.00	0.0070	1.000000e+06	0.00	0.00
4 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
5 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet**3:n päivän kylmin (0.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.79	0.90	0.79	88.3	0.00
2	-11.59	1.87	0.80	42.6	0.00
3	-11.43	1.89	0.80	42.1	0.00
4	7.07	7.79	8.59	100.0	0.00
5	7.23	7.87	8.59	100.0	0.00
6	19.01	16.31	8.64	53.0	0.00
7	19.33	16.62	8.64	52.0	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

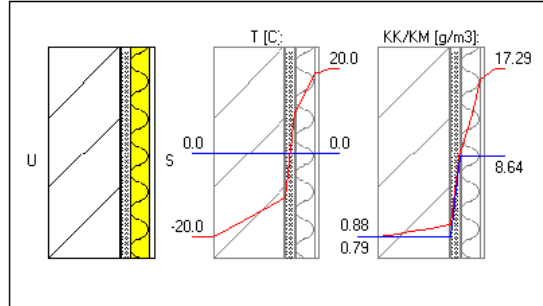
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 4 2(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.176 W/m ² K
Paksuus:	284.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	98.03 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	3.474e+07 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	2.879e-08 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.682 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu(mänty)	190.00	0.1200	5.000000e+01	0.00	450.00
2 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
3 tyhjiödin	25.00	0.0070	1.000000e+06	0.00	0.00
4 Kuitulevy, mukaan lu	3.00	0.1000	1.000000e+01	0.00	400.00
5 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	9.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.77	0.90	0.79	88.1	0.00
2	-10.74	2.01	0.80	39.6	0.00
3	-10.56	2.04	0.80	39.0	0.00
4	9.82	9.29	8.64	93.0	0.00
5	9.99	9.39	8.64	92.0	0.00
6	18.90	16.21	8.64	53.3	0.00
7	19.26	16.55	8.64	52.2	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

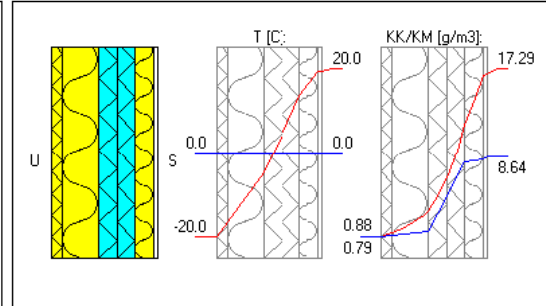
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 5 1(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.108 W/m ² K
Paksuus:	293.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.72 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	5.537e+03 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	1.806e-04 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	9.241 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mk]:	SPA [%]:	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.85	0.89	0.79	88.8	0.00
2	-16.30	1.23	0.93	75.6	0.00
3	-4.82	3.29	1.31	39.7	0.00
4	4.37	6.52	4.75	72.9	0.00
5	13.55	11.74	8.20	69.8	0.00
6	19.29	16.59	8.39	50.6	0.00
7	19.52	16.81	8.64	51.4	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

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

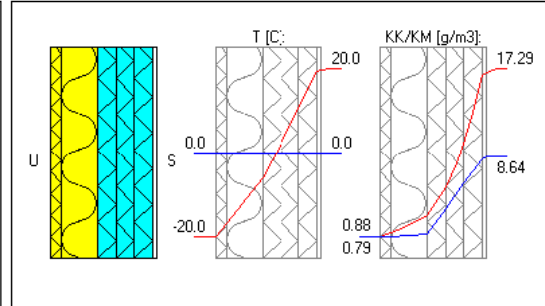
Liite 5 2(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.102 W/m²K
Paksuus: 293.000 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 20.72 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 7.836e+03 m²hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin: 1.276e-04 g/m²hPa
Lämmönvastus: 9.848 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [-]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.86	0.89	0.79	88.9	0.00
2	-16.59	1.20	0.89	74.2	0.00
3	-6.02	2.98	1.16	38.8	0.00
4	2.44	5.73	3.59	62.7	0.00
5	10.89	9.95	6.03	60.6	0.00
6	19.35	16.64	8.46	50.9	0.00
7	19.56	16.85	8.64	51.3	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

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

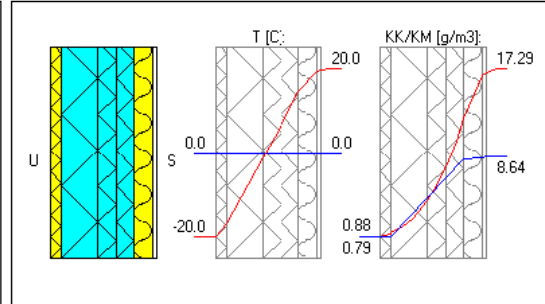
Liite 5 3(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.099 W/m²K
 Paksuus: 293.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 20.72 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 1.013e+04 m²hPa/g
 Vesih. läpäisy kerroin: 9.868e-05 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 10.145 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mk]:	VHV [-]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Kooltherm K	100.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mk]:	SPA [%]:	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.87	0.89	0.79	89.0	0.00
2	-16.84	1.17	0.87	74.0	0.00
3	-1.17	4.42	4.63	100.0	0.00
4	6.67	7.58	6.52	95.9	0.00
5	14.50	12.44	8.40	67.5	0.00
6	19.40	16.69	8.50	51.0	0.00
7	19.59	16.88	8.64	51.2	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

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

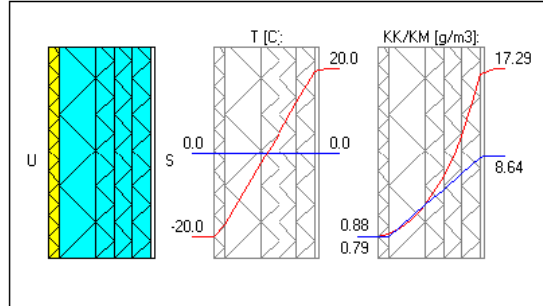
Liite 5 4(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.093 W/m²K
 Paksuus: 293.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 20.72 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 1.243e+04 m²hPa/g
 Vesih. läpäisy kerroin: 8.044e-05 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 10.739 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [-]	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Kooltherm K	100.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [€/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.88	0.89	0.79	89.0	0.00
2	-17.06	1.15	0.85	74.2	0.00
3	-2.46	3.99	3.92	98.4	0.00
4	4.84	6.73	5.46	81.2	0.00
5	12.14	10.75	6.99	65.0	0.00
6	19.44	16.73	8.53	51.0	0.00
7	19.62	16.91	8.64	51.1	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

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

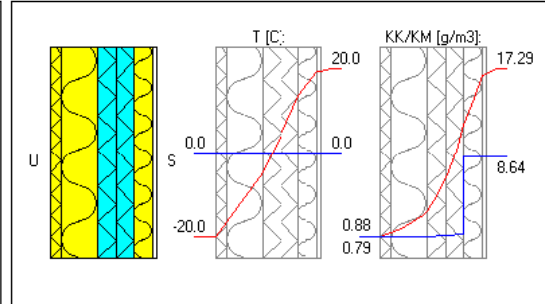
Liite 6 1(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.108 W/m²K
Paksuus: 293.250 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 20.95 kg
Hinta: 0.00 euro

V esihöyryn vastus: 1.444e+05 m²hPa/g
V esih. läpäisy kerroin: 6.924e-06 g/m²hPa
Lämmönvastus: 9.242 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
6 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
7 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
6 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHV = V esihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.85	0.89	0.79	88.8	0.00
2	-16.30	1.23	0.80	64.7	0.00
3	-4.82	3.29	0.81	24.7	0.00
4	4.37	6.52	0.94	14.5	0.00
5	13.55	11.74	1.08	9.2	0.00
6	13.55	11.74	8.63	73.5	0.00
7	19.29	16.59	8.63	52.1	0.00
8	19.52	16.81	8.64	51.4	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

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

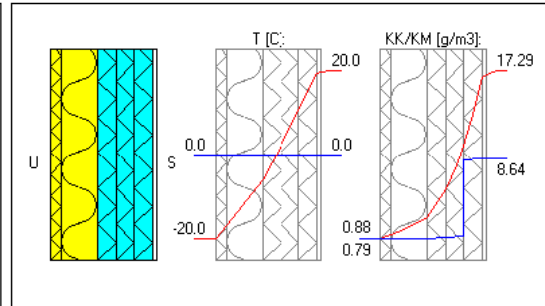
Liite 6 2(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.102 W/m²K
 Paksuus: 293.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 20.95 kg
 Hinta: 0.00 euro

 V esihöyryn vastus: 1.467e+05 m²hPa/g
 V esih. läpäisy kerroin: 6.815e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 9.849 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
6 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
7 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
6 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHV = V esihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.86	0.89	0.79	88.9	0.00
2	-16.59	1.20	0.80	66.4	0.00
3	-6.02	2.98	0.81	27.2	0.00
4	2.44	5.73	0.94	16.4	0.00
5	10.89	9.94	1.07	10.8	0.00
6	10.89	9.95	8.50	85.5	0.00
7	19.35	16.64	8.63	51.9	0.00
8	19.56	16.85	8.64	51.3	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

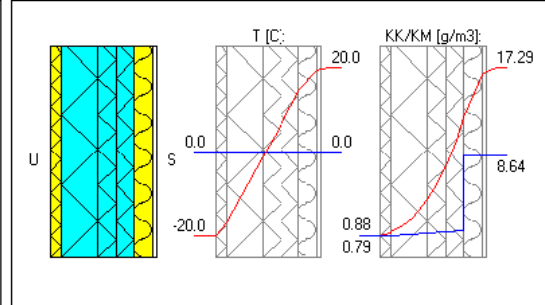
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 6 3(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.099 W/m ² K
Paksuus:	293.250 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.95 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.490e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	6.710e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	10.146 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Kooltherm K	100.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
6 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
7 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
6 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.87	0.89	0.79	89.0	0.00
2	-16.84	1.17	0.80	67.9	0.00
3	-1.17	4.42	1.05	23.8	0.00
4	6.66	7.58	1.18	15.6	0.00
5	14.50	12.44	1.31	10.5	0.00
6	14.50	12.44	8.63	69.3	0.00
7	19.40	16.69	8.63	51.7	0.00
8	19.59	16.88	8.64	51.2	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

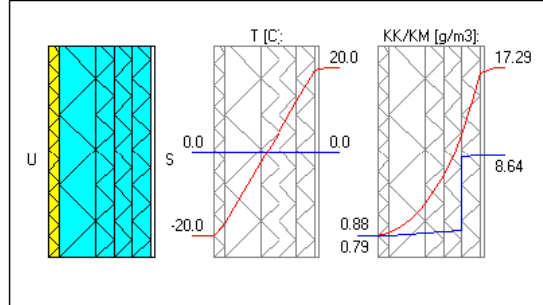
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 6 4(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.093 W/m ² K
Paksuus:	293.250 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.95 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.513e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	6.608e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	10.740 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Kooltherm K	100.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
3 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
6 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
7 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
6 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.88	0.89	0.79	89.0	0.00
2	-17.06	1.15	0.80	69.2	0.00
3	-2.46	3.99	1.05	26.3	0.00
4	4.84	6.73	1.18	17.5	0.00
5	12.14	10.75	1.30	12.1	0.00
6	12.14	10.75	8.51	79.1	0.00
7	19.44	16.73	8.63	51.6	0.00
8	19.62	16.91	8.64	51.1	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

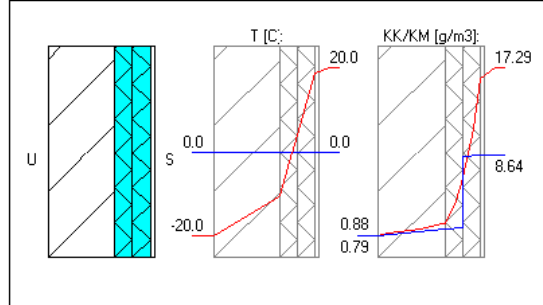
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 7 1(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.147 W/m ² K
Paksuus:	303.250 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	94.83 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.571e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	6.364e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.816 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu(mänty)	190.00	0.1200	5.000000e+01	0.00	450.00
2 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
3 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
4 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
5 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHV = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.77	0.90	0.79	88.1	0.00
2	-10.47	2.05	1.45	70.7	0.00
3	4.20	6.44	1.57	24.4	0.00
4	4.20	6.45	8.51	100.0	0.00
5	18.87	16.18	8.63	53.4	0.00
6	19.24	16.53	8.64	52.3	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

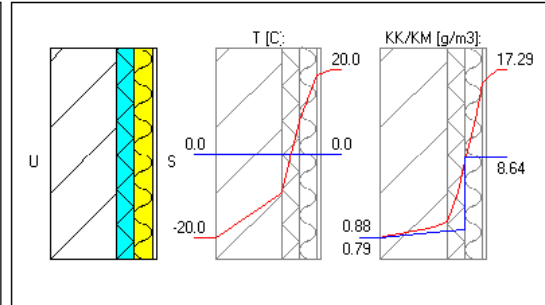
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 7 2(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.170 W/m ² K
Paksuus:	303.250 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	94.83 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.548e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	6.459e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.878 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu(mänty)	190.00	0.1200	5.000000e+01	0.00	450.00
2 Kingspan Kooltherm K	50.00	0.0200	3.500000e+01	0.00	0.00
3 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	4.000000e+05	0.00	920.00
4 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
5 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHV = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet**3:n päivän kylmin (0.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.73	0.90	0.79	87.8	0.00
2	-8.95	2.34	1.46	62.6	0.00
3	8.06	8.30	1.58	19.1	0.00
4	8.06	8.30	8.63	100.0	0.00
5	18.69	16.01	8.63	53.9	0.00
6	19.12	16.41	8.64	52.7	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

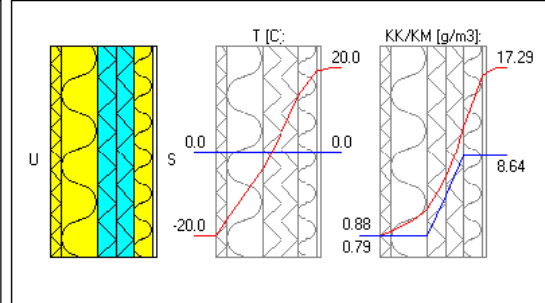
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 8 1(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.113 W/m ² K
Paksuus:	293.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.72 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	5.072e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	1.972e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	8.861 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
5 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLM ÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.85	0.89	0.79	88.7	0.00
2	-16.14	1.25	0.79	63.5	0.00
3	-4.15	3.48	0.80	22.9	0.00
4	4.56	6.60	4.72	71.5	0.00
5	13.27	11.54	8.64	74.9	0.00
6	19.26	16.56	8.64	52.2	0.00
7	19.50	16.79	8.64	51.5	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

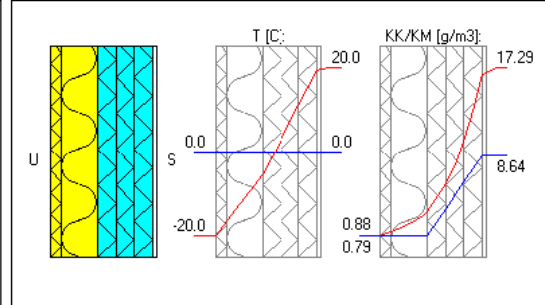
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 8 2(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.107 W/m ² K
Paksuus:	293.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.72 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	7.603e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	1.315e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	9.327 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 ISOVER KL 32	100.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
5 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLM ÄSILTA:	LJ [W/mk]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.86	0.89	0.79	88.8	0.00
2	-16.38	1.22	0.79	64.8	0.00
3	-5.16	3.20	0.80	24.9	0.00
4	2.99	5.95	3.41	57.4	0.00
5	11.15	10.11	6.03	59.6	0.00
6	19.31	16.60	8.64	52.1	0.00
7	19.53	16.82	8.64	51.4	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

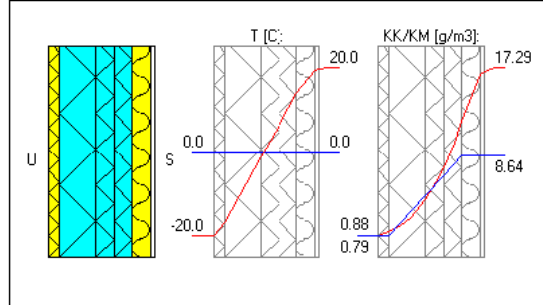
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 8 3(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.105 W/m ² K
Paksuus:	293.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.72 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.013e+06 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	9.867e-07 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	9.559 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Therma TW 55	100.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
5 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLM ÄSILTA:	LJ [W/mk]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.87	0.89	0.79	88.9	0.00
2	-16.60	1.20	0.79	66.1	0.00
3	-1.26	4.39	4.72	100.0	0.00
4	6.41	7.46	6.68	89.6	0.00
5	14.08	12.12	8.64	71.3	0.00
6	19.35	16.64	8.64	51.9	0.00
7	19.56	16.85	8.64	51.3	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistysvaara! (SK_max = 100.0 %)

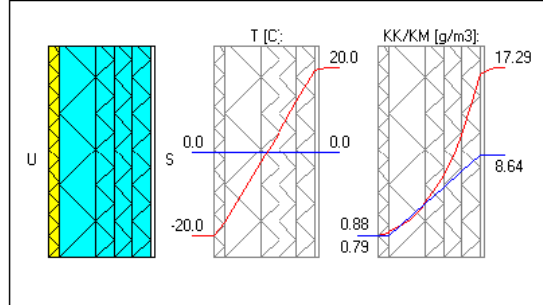
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 8 4(4)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.100 W/m ² K
Paksuus:	293.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.72 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.267e+06 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	7.895e-07 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	10.018 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV [-]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER RKL FACADE	30.00	0.0310	2.376142e+00	0.00	0.00
2 Kingspan Therma TW 55	100.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
5 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
6 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

KYLÄÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
1 Puu(mänty)	0.1200	6.3	0.00	450.00	---
2 Puu(mänty)	0.1200	15.9	0.00	450.00	---
3 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---
5 Puu(mänty)	0.1200	8.0	0.00	450.00	---

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

Lämpötilat ja kosteudet

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.87	0.89	0.79	88.9	0.00
2	-16.79	1.18	0.79	67.2	0.00
3	-2.32	4.03	3.93	97.6	0.00
4	4.92	6.76	5.50	81.4	0.00
5	12.15	10.76	7.07	65.7	0.00
6	19.39	16.68	8.64	51.8	0.00
7	19.59	16.87	8.64	51.2	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

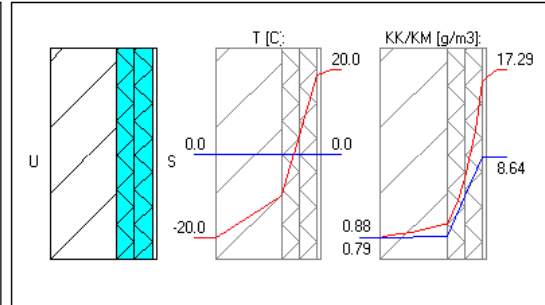
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 9 1(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.157 W/m ² K
Paksuus:	303.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	94.60 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	5.199e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	1.923e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.361 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puumänty)	190.00	0.1200	5.000000e+01	0.00	450.00
2 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
3 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
4 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHV = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet**3:n päivän kylmin (0.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.75	0.90	0.79	87.9	0.00
2	-9.79	2.18	0.99	45.6	0.00
3	4.50	6.58	4.82	73.2	0.00
4	18.79	16.10	8.64	53.7	0.00
5	19.18	16.48	8.64	52.5	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

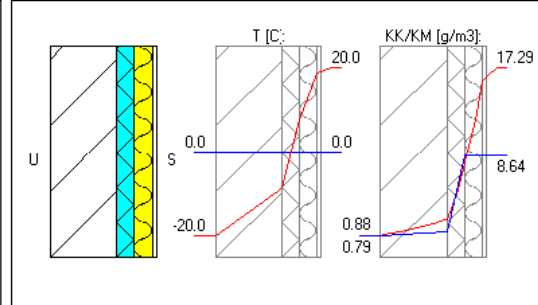
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Liite 9 2(2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 9.11.2016	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.177 W/m ² K
Paksuus:	303.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	94.60 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	2.668e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisy kerroin:	3.749e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.650 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 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]:	VHV []:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Puu(mänty)	190.00	0.1200	5.000000e+01	0.00	450.00
2 Kingspan Therma TW 55	50.00	0.0220	3.647000e+03	0.00	0.00
3 ISOVER KL 32	50.00	0.0320	1.904762e+00	0.00	0.00
4 Kipsilevy 700 kg/m ³	13.00	0.2100	1.000000e+01	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet**3:n päivän kylmin (0.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.72	0.90	0.79	87.7	0.00
2	-8.51	2.42	1.18	48.7	0.00
3	7.58	8.05	8.63	100.0	0.00
4	18.64	15.96	8.64	54.1	0.00
5	19.08	16.38	8.64	52.8	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistysvaara! (SK_max = 100.0 %)

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