

PIENTALON LISÄERISTÄMISEN VAIKUTUS RAKENTEEN
RAKENNUSFYSIKAALISEEN TOIMINTAAN JA
ENERGIANKULUTUKSEEN

Kalliainen Juho

Opinnäytetyö
Tekniikka ja Liikenne
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja Liikenne
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Juho Kalliainen	Vuosi	2016
Ohjaaja(t)	Matti Moilanen		
Työn nimi	Pientalon lisäeristämisen vaikutus rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan ja energiankulutukseen		
Sivu- ja liitesivumäärä	45 + 36		

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ulkoseinien sekä yläpohjan lisälämmöneristykseen vaikutusta rakenteen kosteustekniseen käyttäytymiseen ja energiakulutukseen. Tarkastelussa käytettiin apuna DOF-Lämpö-ohjelmaa. Työssä tutkittiin myös lisäeristykseen kustannusten takaisinmaksuaikaa.

Tutkimuksen kohteena oli 70-luvun alussa rakennettu 1-kerroksinen omakotitalo. Rakennus on puurunkoinen ja mineraalivillaeristetty. Julkisivuna on tiiliverhous, joka lähtee niin sanotun valesokkelin päältä.

Tarkastelu rajattiin ulkoseinän ja yläpohjan rakenteisiin. Alapohjaa rajattiin pois, koska osa latioista on peruskorjattu. Myös ikkunat ja ovet rajattiin pois tutkimuksesta. Suurin osa ikkunoista ja ovista on vaihdettu viime vuosina.

Tuloksena saatiin teoriassa teknisesti toimivat vaihtoehdot ulkoseinärakenteen sisäpuoliselle ja ulkopuoliselle lisäeristykselle. Lisäksi laskettiin kustannukset eristämiseksi ja kustannuksien takaisinmaksuaika energiatehokkuuden parantamisella.

Työssä ei otettu huomioon pintarakenteiden puruista ja uusimisista koituvia kustannuksia. Lisäeristykseen rakennusfysikaalista toimivuutta tarkasteltaessa todettiin, että lisäeristys olisi turvallisempi toteuttaa rakennuksen ulkopuolelle.

Avainsanat Lisäeristys, Lämmönjohtavuus, U-arvo

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Juho Kalliainen	Year	2016
Supervisor	Matti Moilanen		
Subject of thesis	Effect of Additional Insulation on the Humidity and Energy-Efficiency of a Structure in a Detached House		
Number of pages	45 + 36		

The purpose of this thesis was to examine the effects of the additional insulation of the external walls and the roof on the humidity and energy-efficiency. The Dof-Therm program was used in the study. Another aim was to examine payback period for the costs of the supplementary insulation.

The target building was one-storey house built in the early 1970's. The frame of the house was made of wood and it was isolated using mineral wool. The Façade was made of brick and it was built above a fake plinth structure. The study was limited to external wall and the roof. Floors, windows and doors were excluded because they had been renovated lately.

The result was that the external wall and the roof were correctly insulated. In addition, the insulation costs were calculated and the payback period was determined. The study did not include the costs of texture demolition and renewal. The result of this study show that it is safer to add the insulation outside the external wall.

Key words additional insulation, thermal conductivity, energy-efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KOSTEUS RAKENTAMISESSA.....	7
2.1	Yleistä.....	7
2.2	Kosteuteen liittyviä käsitteitä.....	7
2.3	Kosteuden siirtyminen.....	8
2.4	Diffuusio.....	8
2.5	Konvektio.....	9
2.5.1	Luonnollinen konvektio.....	9
2.5.2	Pakotettu konvektio.....	11
2.6	Kapillaarinen siirtyminen.....	12
2.7	Kosteuden siirtyminen painovoimaisesti ja tuulenpaineen vaikutuksesta 12	
3	LÄMPÖ RAKENTAMISESSA.....	14
3.1	Lämmön siirtymismuodot.....	14
3.2	Lämmönjohtavuus.....	15
3.3	Lämmönläpäisykerroin U.....	16
3.4	Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt.....	17
4	RAKENNUKSEN LISÄERISTÄMINEN.....	19
4.1	Yleistä.....	19
4.2	Ulkoseinä.....	19
4.3	Yläpohja.....	20
4.4	Alapohja ja ikkunat.....	20
4.5	Lisäeristykseen liittyvät vaatimukset ja määräykset.....	21
5	TUTKITTAVAT LISÄERISTYSVAIHTOEHDOT.....	23
5.1	DOF-Lämpö-ohjelman toiminta.....	23
5.2	Tutkimuksen lähtötiedot.....	23
5.3	Nykyinen ulkoseinärakenne.....	24
5.4	Ulkoseinän sisäpuolinen lisäeristys.....	27
5.4.1	Uudet ulkoseinärakenteet.....	27

5.4.2	Ulkoseinän sisäpuolisen lisäeristyksen rakennusfysikaalinen toiminta	29
5.5	Ulkoseinän ulkopuolinen lisäeristys	30
5.5.1	Uudet ulkoseinärakenteet	31
5.5.2	Ulkoseinän ulkopuolisen lisäeristyksen rakennusfysikaalinen toiminta	32
5.6	Nykyinen yläpohja	33
5.7	Yläpohjan lisäeristys	34
5.8	Uudet yläpohjarakenteet	34
5.9	Uusien yläpohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen	35
6	ENERGIASÄÄSTÖJEN VERTAILU	37
6.1	Lähtötiedot	37
6.2	Ulkoseinän lisäeristyksellä saavutetut energian säästöt vuositasolla	37
6.3	Yläpohjan lisäeristyksellä saavutetut energiansäästöt vuositasolla	37
7	LISÄERISTYKSEN KUSTANNUKSET JA KUSTANNUSTEN TAKAISINMAKSUAIKA	39
7.1	Kustannus rajaus	39
7.2	Takasinmaksuaika	39
8	POHDINTA	41
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	45

1 JOHDANTO

Etenkin vanhojen rakennusten ulkoseinissä ja yläpohjissa on usein suuri mahdollisuus säästää energian kulutuksessa, sillä niiden lämmöneristävyys on nykyajan rakennusten rakenteisiin verrattuna heikkoa. Aikaisemmin lämmöneristämismääräykset sallivat merkittävästi suuremmat lämpöhäviöt rakenteiden läpi kuin nykyään. Energian kulutusta pystytään myös pienentämään lämmitysjärjestelmän uusimisella sekä lämmöntalteenotolla varustetulla ilmanvaihtojärjestelmällä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää rakennusfysikaalisesti toimivia ratkaisuja ulkoseinän ulko- ja sisäpuolisella lisäeristyksellä ja vertailla näiden lisäeristysmenetelmien vaikutuksia ulkoseinien lämpö- ja kosteuskäyttäytymiseen. Lisäksi työssä tarkastellaan yläpohjan lisäeristysmahdollisuuksia. Työssä selvitetään myös lisäeristysten vaikutusta rakennuksen energia tehokkuuteen ja eri ratkaisujen kustannusten takaisinmaksuaikoja.

Rakennus on 1972 valmistunut 1-kerroksien puurunkoinen tiiliverhoiltu pientalo. Rakennus on valmistunut ennen vuonna 1973 puhjennutta energiakriisiä, joten rakentamisen aikana ei eristämiseen ole kiinnitetty vielä kovin paljoa huomiota. Ulkoseinän puurunko kuten myös yläpohja on eristetty mineraalivilla. Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö ja lämpö jaetaan patteriverkolla. Kosteisiin tiloihin on asennettu vesikiertoinen lattialämmitys. Yläpohjassa on palavilla eristys ja lisättynä puhallusvillaeristettä.

2 KOSTEUS RAKENTAMISESSA

2.1 Yleistä

Jää, vesi ja vesihöyry ovat kosteuden eri olomuotoja. Rakenteet, kaikki huokoiset materiaalit ja meitä ympäröivä ilma sisältävät normaalioloissa jonkin verran kosteutta, jonka määrä riippuu materiaalin ominaisuuksista ja ympäröivän ilman lämpötilasta sekä kosteudesta. Rakenteisiin kosteutta voi päästä myös rakentamisen ja käytön yhteydessä. (Siikanen 2014, 65; Rafnet 2004a, 5.)

Hallitsematon kosteus voi aiheuttaa vakavia vaurioita rakennusmateriaaleille, rakenteille sekä terveyshaittoja rakennuksen käyttäjille. Rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa sekä rakennuksen käyttöaikana on kosteuden hallintaan kiinnitettävä erityisesti huomiota. Pelkät teoreettiset laskelmat eivät välttämättä anna oikeaa kuvaa rakenteiden todellisesta kosteusteknisestä toiminnasta. Rakenteiden toimivuutta tulisi tarkastella muuttuvissa olosuhteissa riittävän kauan, yleensä vähintään vuoden ajan. (Siikanen 2014, 65; Rafnet 2004a, 5.)

2.2 Kosteuteen liittyviä käsitteitä

Kyllästyskosteus on tila, jossa ilma sisältää enimmäismäärän vesihöyryä eli sen suhteellinen kosteus on 100 %. Tietyn lämpöinen ilma pystyy sisältämään enimmillään tietyn määrän vesihöyryä. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se voi sisältää kosteutta. (Siikanen 2014, 70.)

Kastepiste on lämpötilaa, jossa ilmassa oleva vesihöyry muuttuu vedeksi eli kondensoituu. Tällöin ilman kosteus saavuttaa yllä mainitun kyllästyskosteuden. (Siikanen 2014, 70.)

Vesihöyrynläpäisevyys $\text{kg}/(\text{msPa})$ on aineen ominaisuus päästää lävitseen vesihöyryä. Ns. diffuusio laskelmissa oletetaan vesihöyrynläpäisevyys vakioksi. Tosiasiassa vesihöyrynläpäisevyys muuttuu aineen kosteuden muuttuessa. (Siikanen 2014, 72)

Vesihöyrynvastus (m^2sPa)/kg kuvaa aineen vesihöyryn virtausta vastustavaa ominaisuutta ja se on tavallaan käänteinen suure vesihöyryn läpäisevyydelle. Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa yleisimpien rakennuslevyjen vesihöyrynvastuksiin. Esimerkiksi rakennuspaperin höyrynvastus on 3 – 5 kertaa parempi kuivissa mittausoloissa kuin kosteissa mittausoloissa. (Siikanen 2014, 73)

Kondensoitumisella tarkoitetaan ilmiötä, jossa vesihöyry tiivistyy vedeksi. Tiivistymien voi tapahtua joko rakenteen pinnassa tai sen sisällä, kun ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Rakenteissa vesihöyry tiivistyy aina ympäröivä ilmaa kylmemmälle, kovalle pinnalle, jos vesihöyryn kyllästymiskosteus eli kastepiste ylittyy. Liian kylmä lämpimään huonetilaan rajautuva rakenteen sisäpinta, kylmäsilat, höyrynsulun puutteellisuus tai väärä sijainti, rakenteen höyrynsulussa olevat reiät, jotka mahdollistavat ilmavirtauksen sisältä ulos. (Siikanen 2014, 72)

2.3 Kosteuden siirtyminen

Kosteus voi siirtyä kiinteänä, nestemäisenä tai vesihöyrynä. Kiinteänä lumena kosteus siirtyy painovoimaisesti alaspäin tai ilmavirtausten mukana eri suunnissa. Nesteenä eli vetenä kosteus siirtyy kapillaarisesti, painovoimaisesti alaspäin ja tuulenpaineen vaikutuksesta eri suunnissa. Vesihöyrynä kosteus siirtyy diffuusion tai konvektiovirtausten avulla. Myös ilmanpaine-erot liikuttavat kosteutta. (Rafnet 2004a, 22.)

2.4 Diffuusio

Diffuusio on kaasun molekyylien liikettä kaasun suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen. Rakennustekniikassa tämä tarkoittaa yleensä kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi. Yleisimmin diffuusion suunta on lämpimästä tilasta kylmempään päin, mutta voi olla joskus myös kylmemmästä lämpimämpään päin. Tärkein diffuusion suuntaan vaikuttava tekijä on tilojen välillä vallitseva ilman kosteusero eli kosteus pyrkii diffusoitumaan erottavan rakenteen läpi tilaan, jonka ilman vesihöyryn osapaine ja yleensä myös absoluuttinen kosteus on pienempi. (Siikanen 2014, 71; Rafnet 2004a, 27.)

Määriteltäessä diffuusiokosteuden liikkumista ja mahdollista tiivistymistä rakenteissa täytyy tuntea rakenteen eri osien lämpötilat, eri ainekerrosten vesihöyryn vastukset, lämpötiloja vastaavat kyllästymispaineet ja suhteellinen kosteus seinämien molemmilla puolin. (Siikanen 2014, 73–74.)

Tyypillinen vesihöyryn diffuusiosiiirtyminen esiintyy Suomessa talviaikana, kun sisäilmassa on enemmän vesihöyryä kuin ulkoilmassa. Sisäilman vesihöyry pyrkii diffusoitumaan ulkoilmaan ulkovaipan rakenteiden läpi. Rakenne pyrkii estämään diffuusiovirtausta. (Rafnet 2004a, 27.)

2.5 Konvektio

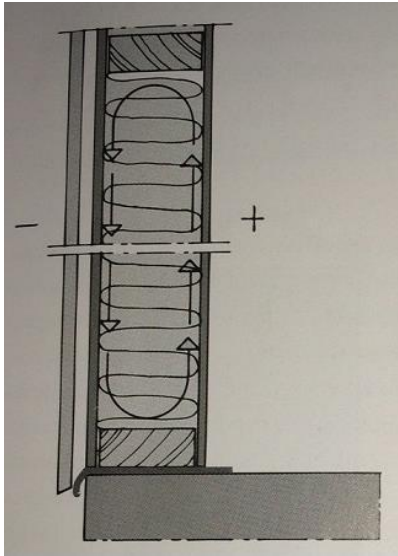
Vesihöyrykosteuden siirtyminen rakenteisiin tapahtuu joko edellä mainitun diffuusion johdosta tai rakenteen eri puolilla vallitsevan ilmanpaine-eron aiheuttamana ilmavirtauksen eli konvektion kuljettamana. Konvektio voi olla pakotettua tai luonnollista. (Siikanen 2014, 70.)

Diffuusiosta rakenteisiin aiheutuvat paine-erot ovat suuruudeltaan huomattavasti isommat kuin rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä vallitsevat ilmapaine-erot. Ilmanpaine eroista aiheutuva ilmavirtaus rakenteiden läpi muodostaa kuitenkin rakennuksille huomattavasti suuremman kosteusvaurioriskin kuin diffuusio. Pienistäkin rakennusvaipassa olevista rei'istä ja raoista pääsee huonetilassa vallitsevan ylipaineen vaikutuksesta virtaamaan suuria ilmamääriä sisältä ulospäin. Lämpimään sisäilmaan sitoutunutta kosteutta kulkeutuu rakenteisiin, missä se saattaa tiivistyä vedeksi. Vastaavasti tilassa vallitsevan alipaineen vaikutuksesta ulkoa sisälle virtaava kylmä ilma kuivattaa lämmitessään rakenteita. Sen sijaan esimerkiksi höyrynsulkumuovissa olevat pienet epätiiviydet eivät juuri vaikuta diffuusion kuljettaman kosteuden määrään. Seinämien hyvän kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi rakennukset tulisi aina suunnitella alipaineisiksi. (Siikanen 2014, 38–39.)

2.5.1 Luonnollinen konvektio

Kerroksellisissa pystyrakenteissa esiintyy ilman tiheyseroista johtuvaa pystysuoraa ilman virtausta eli ns. luonnollista konvektiota (Kuva 1). Myös ullakkotiloissa

saattaa esiintyä vastaavaa ilman virtausta. Virtaukset kuljettavat mukanaan kosteutta ja lämpöä. Pystyrakenteissa luonnollista konvektiota esiintyy mm. ikkunoiden ilmaraoissa ja ulkoseinien huokoisessa lämmöneristeessä. Ullakolla luonnollista konvektioita esiintyy jos ullakko on huonosti tuulettuva tai tuulettumaton. (Siikanen 2014, 34–35.)



Kuva 1. Luonnollinen konvektio pystyrakenteessa (Siikanen 2014, 35)

Lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan kannalta rakennuksessa ja rakenteissa vallitsevilla ilmanpainesuhteilla on merkitystä pääasiassa kylmänä vuodenaikana. Silloin ilman lämpötila- ja kosteuspiitoisuuserot ovat sisä- ja ulkoilman välillä suuret. (Siikanen 2014, 34–35.)

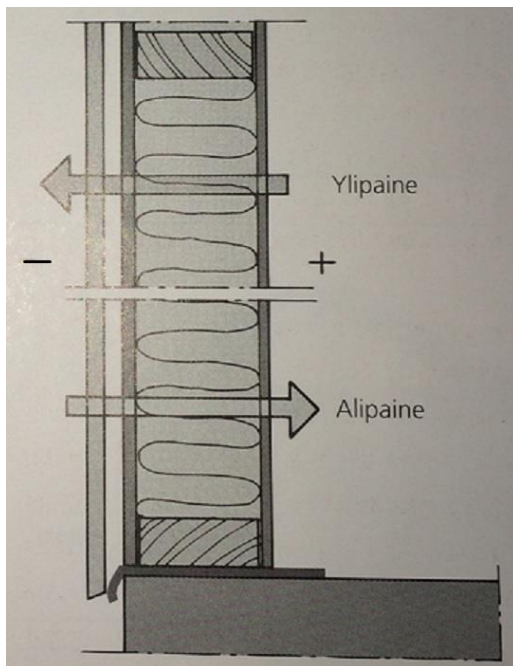
Rakenteen sisälle syntyy ilman kiertoa kun sisäpinnan läheisyydessä oleva lämpimämpi ilma pyrkii vähemmän tiheänä virtaamaan ylöspäin ja ulkopinnan läheisyydessä oleva kylmä ilma virtaa alaspäin. Jotta virtausta tapahtuu pitää rakenteessa olla pystysuora ilmarako tai huokoinen lämmöneriste. (Siikanen 2014, 34–35.)

Luonnollisen konvektion seurauksena voi tapahtua veden tiivistymistä rakenteissa. Ulkoseinissä lämmöneristeen sisäinen ilmanvirtaus huonontaa eristeen lämmöneristysominaisuuksia, se jäähdyttää seinän alaosa ja varsinkin alasidepuuta, johon eristetila rajautuu. Vesihöyry voi tiivistyä vedeksi seinän alaosassa, jos höyrynsulkuna käytettävä muovi sijoitetaan lämmöneristeiden väliin.

Ullakolla ylöspäin virtaava ilma kuljettaa mukanaan kosteutta, joka saattaa tiivistyä vedeksi osuessaan kylmään kattopintaan. (Siikanen 2014, 34–35.)

2.5.2 Pakotettu konvektio

Kuvassa 2 on kuvattu seinärakenteen pakotettua konvektiota. Pakotetun konvektion saavat aikaan ilmanvaihto, lämmitys, savupiippu vaikutus ja tuuli. (Siikanen 2014, 35)



Kuva 2. Seinämärakenteen pakotettu konvektio. (Siikanen 2014, 35)

Huoneilman lämmitessä sen tiheys pienenee ja lämmennyt kevyt ilma pyrkii nousemaan ylöspäin aiheuttaen savupiippuvaikutuksen. Savupiippu vaikutus tekee huoneen yläosasta ylipaineisen alaosan ollessa alipaineinen. (Siikanen 2014, 35)

Tuulen vaikutukset muodostuvat monesta eri tekijästä kuten esimerkiksi tuulen suunnasta ja voimakkuudesta sekä rakennusten dimensioista ja sijainneista. Tuulella voi olla haitallisia vaikutuksia rakennuksen energiatalouteen ja lämpöviihtyisyyteen. Tuulen pitkäaikaisvaikutuksena voi lämpöä ja kosteutta siirtyä rakennuksen seinämän läpi. (Siikanen 2014, 37)

Pientaloissa yleistyneet koneellinen ilmavaihto ja ilmalämmitys vaativat hyvää rakennuksen lämpö ja kosteusteknistä suunnittelua. Rakenteiden tiiveyteen tulee

kiinnittää erityistä huomiota. Ilmavaihto tulee säätää aina alipaineiseksi. Alipainetta rakennukseen tekee myös uunilämmitys. (Siikanen 2014, 38.)

Koneellisesti aikaansaatu alipaine imee ulkoa kylmää ilmaa seinämärakenteiden läpi. Alipaineen avulla huoneeseen virtaava ilma kuivattaa seinämän rakennetta, koska seinämän läpi virratessa ilma lämpenee ja sen suhteellinen kosteus pienee. (Siikanen 2014, 38.)

2.6 Kapillaarinen siirtyminen

Kapillaarinen siirtyminen johtuu kapillaaristen voimien aiheuttamasta huokosalipaineesta. Vesi imeytyy kapillaarisesti huokoiseen materiaaliin, jos se on kosketuksissa vapaaseen veteen tai materiaaliin, jonka huokosissa on vettä. Kapillaarisen veden liikkeen aiheuttaa rakenteen ja sen eri ainekerrosten pyrkimys kapillaariseen tasapainokosteuteen. Esimerkiksi maaperässä kapillaarivoimat pyrkivät nostamaan vettä pohjaveden pinnan yläpuolelle. Kapillaarisen vedennousun suuruus riippuu maalajin karkeusasteesta. (Siikanen 2014, 68; Rafnet 2004a, 22.)

Rakenteellisessa suunnittelussa pyritään yleensä estämään kosteuden kapillaarinen siirtyminen. Toisaalta veden liikkeestä voi olla mm. puurakenteissa etua rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta. (Siikanen 2014, 68.)

2.7 Kosteuden siirtyminen painovoimaisesti ja tuulenpaineen vaikutuksesta

Rakennuksen pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla sekä rakennuksen ympärillä maan pinnoilla vesi valuu painovoiman vaikutuksesta. Veden painovoimainen liike huomioida kahdella tapaa suunnittelussa. Ensinnäkin veden painovoimainen siirtyminen rakenteisiin pyritään estämään, mutta toisaalta painovoimaa voidaan käyttää myös kosteuden pois johtamiseen. Esimerkiksi salaojituksella hyödynnetään painovoimaista siirtymistä. (Rafnet 2004a, 26.)

Vesi voi siirtyä rakenteissa joskus jopa ylöspäin. Tuulenpaineen ja viistosateen vaikutuksesta vesi voi siirtyä vaipan pinnoilta rakojen kautta sisälle seinärakenteisiin vaakasuunnassa. Rakennusten suunnittelussa tulee ottaa myös nämä

asiat huomioon. Rästärakenteisiin, suojaellityksiin, saumoihin ja liitospaikkoihin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tuuletusväleillä voidaan johtaa rakenteisiin pääsystä vettä ulos. (Rafnet 2004a, 27.)

3 LÄMPÖ RAKENTAMISESSA

Lämpöön liittyy kaksi eri asiaa: lämpöenergia ja lämpötila. Kappaleen lämmittäminen vaatii lämpöenergiaa ja vastaavasti kappaleen jäähtyessä se luovuttaa sitä. Lämpötilan muutos siis vaatii tai vapauttaa energiaa. Pienetkin lämpötilan muutokset voivat vaatia paljon energiaa. Esimerkiksi energialla, jolla veden lämpötilaa nostetaan 10 astetta, voidaan sama vesimäärä viedä yli neljän kilometrin korkeuteen. (Kallunki ym. 2016, 3, 10.)

Luonto ympärillämme on täynnä lämpöilmiöitä kuten esimerkiksi veden haihtuminen järvistä ja pilvet. Lämpötilaan vaikuttaa ensisijassa auringon säteily, mutta myös monet paikalliset tekijät, kuten lumi maanpinnan peitteenä. Myös maaston muodoilla ja vesistöillä on vaikutusta alueen lämpötilaan. Ilmavirtaukset aiheuttavat lisäksi lämpötilaan satunnaisia muutoksia, jotka varsinkin talvella saattavat olla suuria. (Kallunki ym. 2016, 2.)

Rakentamisessa lämpöolot vaikuttavat mm. perustusten routasuojausmäärän. Lämpöolot vaikuttavat myös siten, että asuin-, liike- ja julkiset rakennukset on lämmöneristettävä. Rakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa on muistettava lämpötilavaihteluista aiheutuvat rakennustarvikkeiden erilaiset lämpöliikkeet. Suunnittelussa voidaan myös käyttää hyväksi rakennustarvikkeiden samanlaisia lämpöliikkeitä. Tästä hyvä esimerkki on betonin ja teräksen samanlaiset lämpöliikkeet. Rakentamisen aikataulua suunniteltaessa otetaan huomioon myös vuodenajan lämpötilan aiheuttamat vaikutukset työn suoritukseen. (Rafnet 2004, 22.)

3.1 Lämmön siirtymismuodot

Lämpö siirtymistä rakenteessa tai tilassa tapahtuu kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektion avulla. (Siikanen 2014, 40.)

Johtumisessa eli konduktiossa lämpö pyrkii tasoittumaan väliaineessa eli virtaamaan lämpimämmästä kylmempää päin. Lämmön johtumista esiintyy kiinteissä aineissa ja nesteissä. (Siikanen 2014, 40.)

”Säteilyssä eli emissiossa energia siirtyy sähkömagneettien aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. Rakennustekniikassa säteilylämpö esiintyy lyhytaaltoisena auringonsäteilynä ja pitkäaaltoisena kappaleiden säteilemänä lämpönä. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, lähettävät eli emittoivat säteilyä. Eniten lämpösäteilyä emittoi musta kappale.” (Siikanen 2014, 40.).

”Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Konvektio voi olla pakotettua tai luonnollista. Pakotetussa konvektiossa kaasu tai neste liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta (esim. tuuli, koneellinen ilmavaihto, ihmisten liikkuminen). Luonnollisessa konvektiossa taas lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero saa aikaan liikkeen. Puhtaasti luonnollista konvektiota esiintyy harvoin.” (Siikanen 2014, 41.)

3.2 Lämmönjohtavuus

”Lämmönjohtavuus (λ) ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisena tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkönä on W/mK.” (Siikanen 2014, 41)

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_u vastaa aiemmin käytössä ollutta λ_d -arvo ja se korvaa aikaisemmin käytössä olleen λ_n -arvon (normaalinen lämmönjohtavuus). Lämmönjohtavuuden mittaustulosten hajonta sekä lämpötilan, kosteuspiitoisuuden ja ikääntymisen vaikutukset lämmönjohtavuuteen sisältyvät λ_u -arvoon kuten ne sisältyivät myös λ_n -arvoon. (Siikanen 2014, 41)

λ_u ei sisällä lämmöneristeessä olevista ilmaraoista ja epäideaalisesta asennuksesta eikä lämmöneristeen suuresta ilmanläpäisevyydestä aiheutuvaa lämmön siirtymisen lisäystä ainekerroksessa. Aikaisempi normaalisen lämmönjohtavuuden arvo on sisältänyt myös näiden tekijöiden vaikutuksen. (Siikanen 2014, 41)

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvolla λ_u [W/(mK)] tarkoitetaan arvoa, joka on SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan määritetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo. Se voi olla myös SFS-EN-standardissa esi-

tetty taulukoitu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, RakMK:n osassa C4, Lämmöneristys annettu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo tai muulla tavalla määritetty, rakennusosalle soveltuva lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo. λ_u arvoa käytetään rakenteiden lämpöteknisissä laskelmissa. (Siikanen 2014, 41)

3.3 Lämmönläpäisykerroin U

Lämmönläpäisykerroin U W/(m²K) ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuus-tilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eripuolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. (RakMk C4 2003, 3)

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen käänteisluku ja se lasketaan kaavalla (1).

$$U = 1 / R_T, \tag{1}$$

missä

U	on	rakennusosan lämmönläpäisykerroin [W/(m ² K)]
R_T	on	rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön

”Rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_T) sisältää rakennusosan lämmönvastuksen ja rakennuksen ja rakenneosan molempien puolinen pintavastukset.” (Siikanen 2014, 51). Rakennusosan lämmönjohtavuudeltaan erilaiset ainekerrokset voivat olla lämpövirran suuntaan nähden peräkkäin tai rinnan. Lämpövirran suuntaan nähden peräkkäisistä ainekerroksista muodostuvan rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_T) lasketaan kaavalla (3). (Siikanen 2014, 51.)

”Lämpö voi johtua rakennusosan sisällä usean ainekerroksen läpi. Ainekerrokset voivat poiketa toisistaan sekä paksuudeltaan että lämmönjohtavuudeltaan. Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus (R) lasketaan ainekerroksen paksuutta (d) ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa (λ_u) käyttäen kaavasta (2)”. (Siikanen 2014, 51)

$$R = d / \lambda_u \tag{2}$$

missä

R	on	ainekerroksen lämmönvastus
-----	----	----------------------------

d	on	ainekerroksen paksuus
λ_u	on	ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo

”Jos ainekerroksen (d) paksuus vaihtelee lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorassa tasossa, paksuutena voidaan käyttää paksuuden keskimääräistä arvoa edellyttäen, ettei ainekerroksen vähimmäispaksuus alita keskimääräistä paksuutta enempää kuin 20 %.” (Siikanen 2014, 51)

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_{se} \quad (3)$$

missä

R_T	on	rakennusosan kokonaislämmön vastus
R_{si}	on	sisäpuolen pintavastus
R_1, R_2, R_n	on	rakennusosan ainekerrosten lämmönvastus 1, 2, ..., n lämmönvastukset
R_{se}	on	ulkopuolen pintavastus

”Kunkin yksittäisen peräkkäisen ainekerroksen lämmönvastus (R_1, R_2, \dots, R_n) lasketaan ainekerroksen paksuutta ja lämmönjohtavuutta käyttäen kaavasta (2) ja sijoitetaan kaavaan (3).” (Siikanen 2014, 51).

3.4 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Tässä työssä ei tarkastella koko rakennusvaipan lämpöhäviöitä vaan tarkasteluja tehdään rakennusosittain. Johtumislämpöhäviöt koko rakennusvaipan läpi lasketaan kaavalla (5). Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan rakennusosittain kaavalla (4). Laskettaessa johtumislämpöhäviötä muuhun tilaan (Q_{muu}), kuten esimerkiksi puolilämpimään autotalliin, käytetään ulkolämpötilan T_u tilalla kaavassa 4 kyseessä olevan muun tilan suunnittelulämpötilaa. (RakMk, D5 2012, 15–16.)

$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

missä

Q_{rakosa}	on	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
U_i	on	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$
A_i	on	rakennusosan i pinta-ala, m^2
T_s	on	sisäilman lämpötila, $^{\circ}C$
T_u	on	ulkoilman lämpötila, $^{\circ}C$
Δt	on	ajanjakson pituus, h
1000	on	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitun-

neiksi

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsillat}} \quad (5)$$

missä

Q_{joht}	on	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	on	johtumislämpöhäviö ulkoseinän läpi, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	on	johtumislämpöhäviö yläpohjan läpi, kWh
Q_{alapohja}	on	johtumislämpöhäviö alapohjan läpi, kWh
Q_{ikkuna}	on	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
Q_{ovi}	on	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
Q_{muu}	on	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh
$Q_{\text{kylmäsillat}}$	on	kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh

4 RAKENNUKSEN LISÄERISTÄMINEN

4.1 Yleistä

Rakennuksen ulkovaipan lämmöneristyksen lisääminen voi merkittävästi parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Lisäeristäminen muuttaa kuitenkin aina vaipan kosteusteknistä toimintaa, joten sen suunnittelu ja toteutus pitää teettää ammattilaisilla. Pääsääntönä voidaan pitää, että lisäeristys kannattaa tehdä ulkopuolelle. Ulkopuolisella lisäeristyksellä saadaan katkaistua rakenteissa olevia kylmäsiltoja sekä saadaan vanha rakenne lämpenemään ja kuivumaan. (Korjaustieto.fi 2016a; Korjaustieto.fi 2016b.)

Puurakenteisissa taloissa eristys on aina suunniteltava niin, että rakenne harvenee ulospäin mentäessä. Päälimmäiseksi ei pidä laittaa tiiviitä eristelevyjä. Rakenteen vesihöyrynläpäisevyyden pitää lisääntyä mentäessä sisältä ulos. Sisäpinnassa on siis kaikkein tiivein materiaali. On tärkeää pitää huoli siitä, että uuden eristeen ulkopintaan tulee ilmatiivis tuulensuojakerros, esimerkiksi levyrakenne. Jos kylmä ulkoilma pääsee virtaamaan eristekerroksessa jää lisäeristämisen hyöty vähäiseksi. (Korjaustieto.fi 2016a.)

4.2 Ulkoseinä

Seinien lisäeristämistä tehdään yleensä julkisivun uusimisen tai korjauksen yhteydessä. Jos julkisivuun ei ole tiedossa korjauksia voidaan lisäeristys tehdä myös sisäpuolelle. Eristeen määrässä ei yleensä kannata säästää, mutta etenkin sisäpuolen eristystä lisätessä pitää uuden rakenteen fysikaalinen toiminta tutkia hyvin. Ulkopuolella rajoitteita voivat asettaa ulkoseinän liittymät räystäääseen, ikkunoihin ja sokkeliin. (Heljo & Vihola 2012, 32–34; Korjaustieto.fi 2016.)

Omakotitaloissa ulkopuolen lisäeristyksiä on tehty pääasiassa puuverhoiltuihin taloihin. Tiiliverhoilluissa taloissa kustannukset nousevat tiiliverhouksen purun takia. Tiiliverhoillun rakenteen lisäeristäminen ei onnistu muuten kuin tiiliverhouksen purkamalla. (Heljo & Vihola 2012, 32–34.)

4.3 Yläpohja

Yläpohjien lisäeristäminen oli tyypillinen energiansäästötoimenpide energiakriisien jälkeen. Varsinkin tuulettujen harjakattoisten yläpohjien lisäeristäminen on helppoa ja kustannustehokasta. Suurin osa helposti lisäeristettävistä yläpohjista on lisäeristetty jo kertaalleen. Tehty lisäeristys ei kuitenkaan yleensä ole riittävä verrattuna nykyisiin vaatimuksiin. (Heljo & Vihola 2012, 32–34)

Tuulettumattomien yläpohjien lisäeristys ei ole sidoksissa rakennuksen muuhun korjaustoimintaan toisin kuin tuulettumattomien yläpohjien lisäeristys, joka voidaan tehdä käytännössä vain vesikatekorjausten yhteydessä. Niin kuin lisäeristäminen yleensä myös yläpohjien lisäeristäminen vaikuttaa yläpohjan ja vesikaton välisen tilan rakennusfysikaaliseen toimintaan ja lisää kosteusvaurioriskiä. (Heljo & Vihola 2012, 32–34; Korjaustieto.fi 2016)

4.4 Alapohja ja ikkunat

Alapohjan lisäeristäminen kannattaa yleensä vain lattian uusimisen yhteydessä eli se on teknillisesti ja taloudellisesti kannattavaa hyvin harvoin. Rossipohjassa eristepaksuutta voidaan lisätä alaspäin, mutta maanvaraisessa alapohjassa lisäeristäminen on mahdollista vain ylöspäin. Maanvaraisen alapohjan lisäeristys onnistuu lattiaa purkamatta vain laatan päälle. Rossipohjan eristystä parannettaessa tulee huolehtia ryömintätilan tuuletus toimivuudesta. (Korjaustieto.fi 2016; Heljo & Vihola 2012, 32–34.)

Ikkunoiden vaihdoilla ja parantamisilla saavutetaan teoriassa ja käytännössä huomattavia energiasäästöjä. Käytännössä säästöt voivat olla jopa laskennallisia säästöjä suuremmat, koska tiiveys paranee ja vetoisuus vähenee. (Heljo & Vihola 2012, 32–34.)

Kaikkia ikkunoita ei välttämättä tarvitse vaihtaa, sillä ikkunoihin energiatehokkuutta voidaan parantaa myös vaihtamalla pelkästään sisäpuiteeseen energiaa säästävää eristyslasi. Tätä periaatetta voidaan käyttää kun ikkuna halutaan säilyttää arvokkaiden karmi- ja puiterakenteiden takia. (Heljo & Vihola 2012, 32–34.)

4.5 Lisäeristykseen liittyvät vaatimukset ja määräykset

Ympäristöministeriö on antanut asetuksen 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Siinä määritetään kolme vaihtoehtoista tapaa energiatehokkuuden parantamiseen. (Ympäristöministeriö 2013.)

”Ensimmäisenä vaihtoehtona on parantaa korjattavien tai uusittavien rakennusosien lämmönpitävyyttä vaatimusten mukaisiin arvoihin. Toisena vaihtoehtona on parantaa energiatehokkuutta kyseiselle rakennustyyppille määritellylle tasolle. Tällöin tarkastellaan koko rakennuksen vuosittaista, normaalikäytössä syntyvää laskennallista energiankulutusta suhteessa rakennuksen pinta-alaan. Kolmantena vaihtoehtona on laskea rakennukselle ominainen, rakentamisajankohdan mukaisilla tai viimeisimmän käyttötarkoituksen muutoksen mukaisilla ratkaisuilla laskettu kokonaisenergian kulutus eli E-luku ja pienentää sitä kyseiselle rakennustyyppille asetetun tason mukaisesti.” (Ympäristöministeriö 2016)

YM:n asetuksen 4/13 pykälän 4 mukaan alla olevia vaatimuksia on noudatettava kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennusosakohtaisesti

- 1) Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi.
- 2) Yläpohja: Alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi.
- 3) Alapohja: Energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.
- 4) Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia korjattaessa on lämmönpitävyyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan. (Asetus 4/13 § 4)

YM:n asetuksen 4/13 pykälässä 10 määrittellään ulkovaipan ja teknisten järjestelmien vaatimukset. ”Rakennuksen ulkovaipan energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden yhteydessä rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että ulkovaippa sekä ikkunoiden ja ulko-ovien liitokset ympäröiviin rakenteisiin tiivistetään siten, että lämmöneristyskerrokset suojataan ilmavirtausten eristyskykyä heikentäviltä vaikutuksilta. Rakennuksen ulkovaipan ja teknisten järjestelmien korjausta tai uusimista suunniteltaessa ja toteutettaessa toimenpiteet on valittava siten, että rakenteiden oikea lämpö-, ääni- ja kosteustekninen toimivuus sekä palo-tekniinen eristävyys varmistetaan.”(Asetus 4/13 § 10)

5 TUTKITTAVAT LISÄERISTYSVAIHTOEHDOT

5.1 DOF-Lämpö-ohjelman toiminta

Rakenteita tutkittiin DOF-Lämpö-ohjelmalla. Ohjelma laskee rakenteille U-arvot, rakenteen lämpötilat, kyllästymiskosteuden ja kosteus määrän rakenteen eri osissa. Ohjelma laskee myös mahdollisen kosteuden kondensoitumisen määrän. Lisäksi ohjelmalla saadaan määritetty rakenteen lämpöhäviöt.

Lähtötietoina syötetään aluksi perustiedot kuten tutkittava rakennusosa, rakennusosan pinta-ala, pintavastukset ja mahdollinen kylmäsiltojen vaikutuksen korjausermi. Rakenteille syötetään paksuudet, lämmönjohtavuudet ja vesihöyryn läpäisevyyydet. Lisäksi määritellään mahdolliset kylmäsiltojen vaikutukset. Tarkasteluhetket voidaan määrittää joko itse tai sitten voidaan käyttää ohjelmaan syötettyjä valmiita tarkasteluhetkiä. Tässä työssä käytettiin ohjelman syötettyä rakentamismääräyskokoelman D3, säävyöhykkeen 4 tietoja.

Ohjelmalla voi määrittää mielivaltaisen kerroksellisen rakenteen, joka voi olla seinä, katto tai lattia. Ohjelmalla ei suoraan voi tarkastella rakennetta, jossa esimerkiksi alaohjauspuun kohdalle vallitsee erilaiset sisäpuolen olosuhteet kuin muun seinän osalla.

5.2 Tutkimuksen lähtötiedot

Tutkimuksessa oli useampia rakennevaihtoehtoja lisäeristyksen toteuttamiselle ulkoseinässä. Lisäeristys voidaan toteuttaa joko vanhan seinärakenteen ulkopuolelle tai sisäpuolelle. Yläpohjassa tarkastelu koski vain eristemäärän ylöspäin kasvattamisen vaihtoehtoja. Rakenteita haettiin valmistajien detaljikirjastoista ja omien kokemusten perusteella.

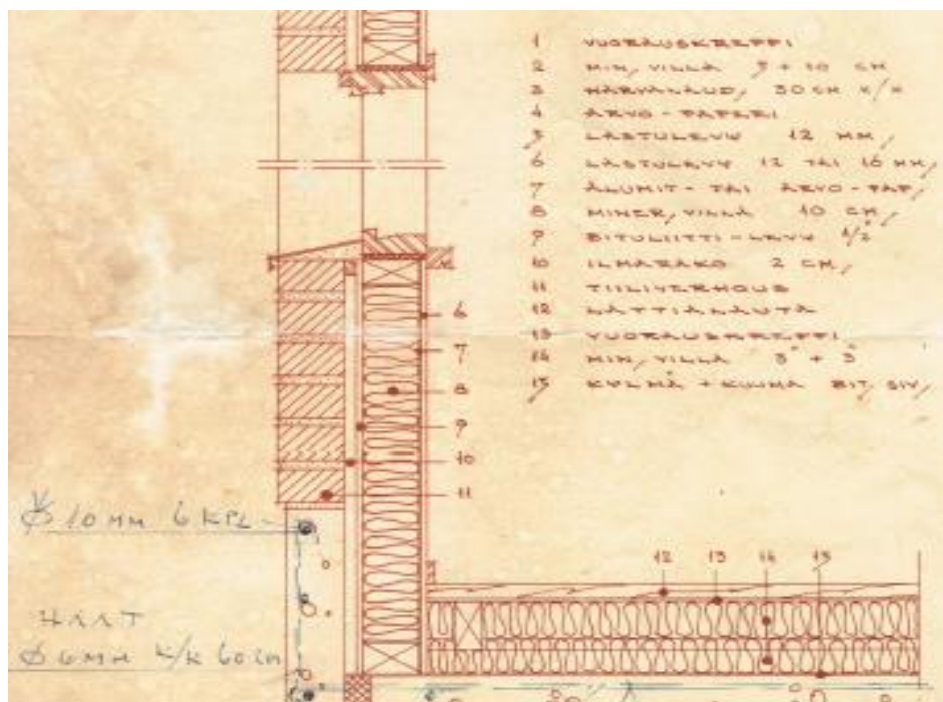
Rajoitteina olivat määräykset ja asetukset sekä olemassa olevien rakenteiden asettamat rajoitteet. Ohjeista ja määräyksistä valintaa ohjasi YM:n asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Siinä vaaditaan esimerkiksi ulkoseinän U-arvon puolittamista tai sen pienentämistä vähintään 0,17 W/m²k rakennusluvan alaisissa töissä. Tämä vaikutti eten-

kin ulkopuolen lisäeristyksen valintaan. Sisäpuolen lisäeristyksen valintaan vaikuttivat eniten nykyisten tilojen asettamat rajoitukset seinärakenteen kasvattamiseen sisälle päin.

Nykyisen ulkoseinän ja yläpohjan sekä niiden lisäeristysvaihtoehtojen materiaalien lämmönjohtavuuksia ja vesihöyryn läpäisevyyksiä etsittiin vanhoista RT-kor-teista, rakentamismääräyskokoelmista sekä DOF-Lämpö-ohjelman materiaalikir-jastoista. Näistä löytyi hyvin tietoja niin uusille kuin vanhoille materiaaleille. KingSpan eristeen tiedot saatiin kyseisen tuotteen valmistajan tuotepäälliköltä.

5.3 Nykyinen ulkoseinärakenne

Kuvassa 3 näkyy nykyinen ulkoseinärakenne. Runko on 100 mm paksu ja se on eristetty mineraalivillalla. Nykyisen ulkoseinän U-arvoksi saatiin 0,42 W/m²K. Rungon sisäpinnassa höyryn- ja ilman sulkuna on suunnitelmien mukaan alumiini tai arvo-paperi, jonka päällä on lastulevy. Asukkaan havaintojen mukaan sei-nässä on kuitenkin käytetty muovikalvoa. Tämä havainto on tehty sisäpuolen le-vyä purettaessa. Rungon ulkopinnassa on bituliittilevy. Rakennuksessa on ku-vassa 3 näkyvä ns. valesokkeli rakenne. Runko lähtee noin 200mm lattiapinnan alapuolelta ja sen ulkopinnassa on betonikuori.



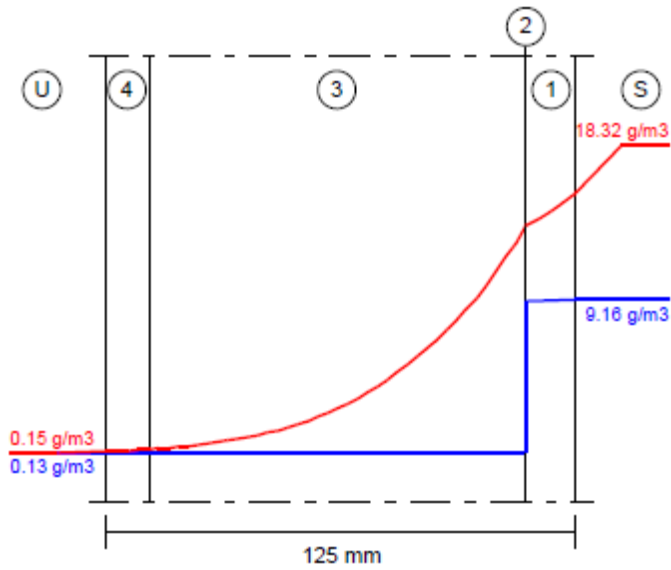
Kuva 3. Nykyinen ulkoseinärakenne (Kalliainen 2016)

Ulkoseinän vanhan villan lämmönjohtavuutena käytettiin 0.050 W/m²K, jota on mm. Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksissa käytetty. Jos halutaan käyttää parempaa arvoa, pitäisi käytetyn villan ominaisuudet tutkia. Lastu- ja bituliittilevylle lämmönjohtavuudet ja vesihöyryn läpäisevyydet löytyivät DOF-Lämpö-ohjelman materiaalikirjastosta.

Rakennetta voitiin yksinkertaistaa poistamalla tiilivuoraus ja sokkeli. Tiilimuuraus pystyttiin poistamaan, koska ilman lämpötila ja kosteus on sama tuuletusraossa kuin ulkopuolella rakennetta.

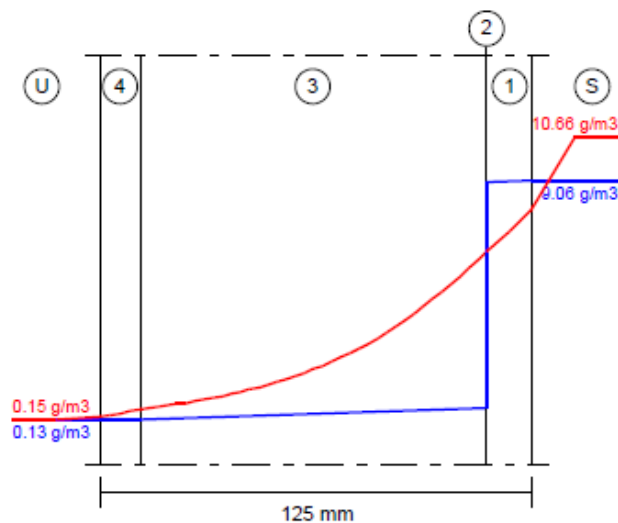
Kuvassa 4 on kuvattu nykyisen seinän kosteuskäyttäytymistä. Seinän kosteus määrä ei missään vaiheessa ylitä kyllästymiskosteutta vaikka rungon ulkopinnassa kosteus määrä kuitenkin lähes saavuttaa kyllästymiskosteuden. Tämän tarkastelun mukaan rakenne on toimiva. Liitteessä 1 näkyy tarkemmin rakenteen lämpötilat ja kosteusmäärät mitoitustilanteessa eri tarkastelupisteissä.

Alaohjauspuun sijainti lattiapinnan alapuolella kuitenkin antaa olettaa, että rakenne ei välttämättä toimi samalla tavalla kuin kuvassa 4 nähtävä nykyisen seinän kosteuskäyttäytyminen. Esimerkiksi Ville Neuvonen on opinnäytetyössään 2015 mallintanut valesokkelirakenteen Comsol-ohjelmalla. Hänen tarkasteluisiaan näkyy, että ulkoseinärakenteessa kosteus pääsee tiivistymään alaohjapuhun sekä runkotolppien alaosaan ja ulkoseinävilloitukseen kesäolosuhteissa. Talvella kosteuden tiivistymistä tapahtuu rungon sisäpinnassa muovin ja sisälevyn rajapinnassa. Huonon tuulettuvuutensa takia kosteus ei pääse siirtymään rakenteesta pois. (Neuvonen 2015, 22-24.)



Kuva 4. Nykyisen ulkoseinän kosteuskäyrät

Työssä tehtiin myös tarkastelu jossa pyrittiin mallintamaan rakenne ja olosuhteet alaohjauspuun kohdalla. Aluksi määritettiin alapohjan rakenne, jotta sieltä saatiin lämpötila ja kosteus tiedot alaohjauspuun kohdalla alapohjan puolella. Saatu lämpötila ja suhteellinen kosteus vaihdettiin sisätilan kosteudeksi ja lämpötilaksi. Muut arvot pidettiin ennallaan. Kuvassa 5 on kuvattu rungon alaosan kosteus käyttäytymistä alaohjauspuun kohdalla RakMk D3:n vyöhyke neljän mitoitustilanteen tiedoilla. Mitoitustilanteessa sekä tammi-, helmi-, maaliskuu- ja joulukuussa kosteus tiivistyy rungon sisäpinnassa.



Kuva 5. Kosteusjakauma rungon alaohjauspuun kohdalla

5.4 Ulkoseinän sisäpuolinen lisäeristys

Ulkoseinässä tarkasteltiin lisäeristyksen tekemistä sisäpuolelle kolmella eri vaihtoehdolla. Ensimmäiseksi valittiin lisäeristykseen tuotteet joilla tiedetään olevan hyvä lämmöneristävyys. Näin rakenteen U-arvoa saadaan tehokkaasti parannettua mahdollisimman pienellä seinän kasvattamisella.

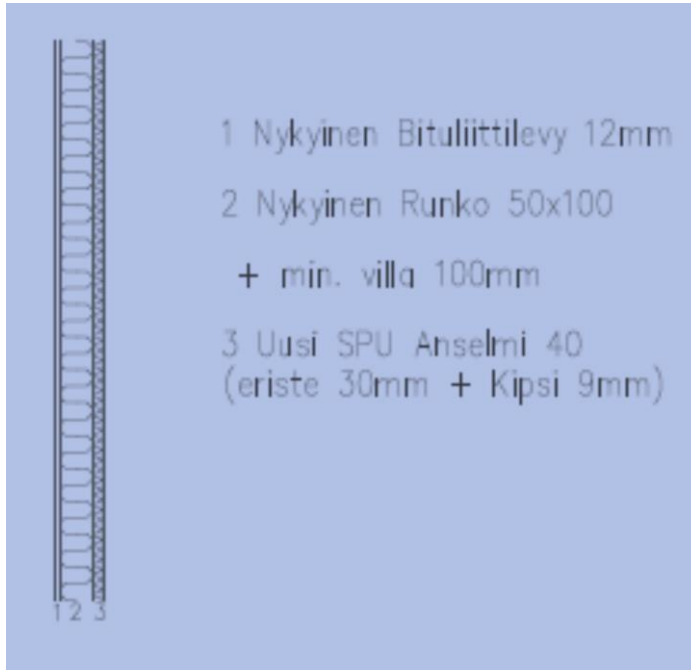
Kuvissa 5 ja 6 on esitetty uudet ulkoseinät 1 ja 2. Edellä mainitut vaihtoehdot olivat saman tuotteen eri paksuudella toteutettuja rakenteita. Tuotteena oli Kingspan Insulation Oy:n Kingspan Therma TW56 Anselmi valmiiksi pinnoitettu lämmöneristelevy, jossa on alumiinilaminaattipinta. Kolmas vaihtoehto (kuva7) oli vaakakoulauksen 50mm x 50mm ja eristeen lisäys sekä uusi sisäverhouslevy. Sisäpuoliset lisäeristykset lähtevät lattian pintamateriaalin päältä. Uusien ulkoseinien 1 ja 2 eristeen ominaisuudet saatiin Kingspan eristeen tuotepäällikön antamasta materiaalikirjastosta. Uuden ulkoseinän 3 materiaaleille lähtötiedot saatiin DOF-Lämpö-ohjelman materiaalikirjastosta. Nykyisen rungon tiedot on määritelty luvussa 5.3.

Vaipan energiatehokkuuden parantaminen on rakennusluvan alaista korjausta. Siksi siihen pitäisi periaatteessa soveltaa ympäristöministeriön antaman asetuksen 4/13 vaatimuksia. Toisaalta sisäpuolisessa rakenteen kasvattamisessa voidaan vedota, ettei ole teknisesti tai taloudellisesti järkevää pyrkiä asetuksen tasoon. Esimerkiksi ikkunoiden ja takan sijainti rajoittavat seinärakenteen kasvattamista tässä kohteessa. Millään yllä mainituilla vaihtoehdoista ei päästä vaatimusten mukaiseen 0,17W/m²K U-arvoon.

5.4.1 Uudet ulkoseinärakenteet

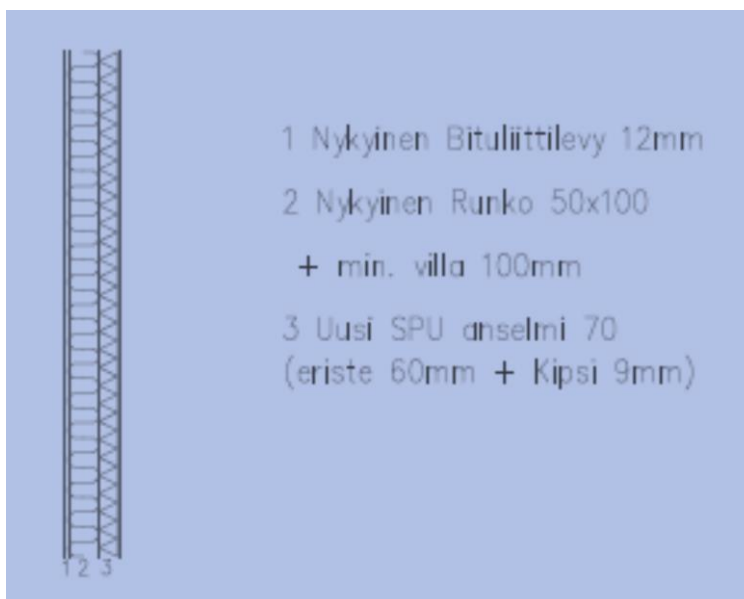
Uudessa ulkoseinä 1:ssä vanha sisäverhouslevy ja muovikalvo on purettu pois ja sisäpintaan on asennettu Kingspan Therma TW56 Anselmi 40. Levy sisältää 30mm polyuretaani eristeen ja 9mm reunaohennetun kipsilevyn. Levy on diffuusiotiivis pinnoite ja se toimii höyrynsulkuna. Eristetoimittajan ohjeen mukaan kerrokset voi jättää kun muovikalvoon tehdään riittävä määrä reikiä. Vanha sisäverhous sisältää luultavasti useampia eri tuotteilla tehtyjä maalikerroksia, joten

vanhat kerrokset on hyvä purkaa. Ei ole syytä ottaa riskiä, että vanhoja rakenteita jää tiiviiden kalvojen väliin. Uudella ulkoseinällä 1 saavutettiin U-arvo 0,28 W/m²K.



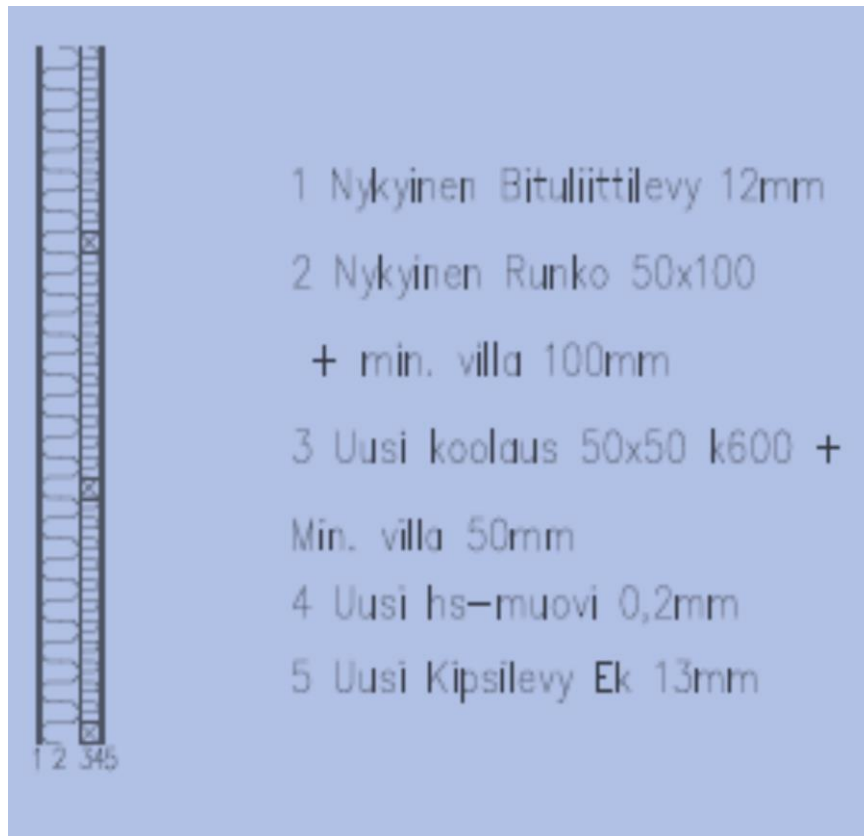
Kuva 5. Uusi ulkoseinä 1

Uusi ulkoseinä 2 (Kuva 6) on muuten samanlainen kuin uusi ulkoseinä 1, mutta Kingspan Therma TW56 Anselmi levyn eristeen paksuus on 60mm. Tällä vaihtoehdolla U-arvoksi saatiin 0,20 W/m²K. Tämä on jo hyvin lähellä nykyisiä vaatimuksia.



Kuva 6. Uusi ulkoseinä 2

Kolmannessa vaihtoehdossa niin ikään puretaan sisäpuolen muovi- ja sisäverhouslevykerrokset pois. Tilalle asennetaan uusi vaakakoolaus sekä mineraalivilla. Koolauksen sisäpintaan asennetaan uusi höyrynsulkumuovi. Pintalevynä on erikoiskova kipsilevy. Rakenne on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Uusi ulkoseinä 3

5.4.2 Ulkoseinän sisäpuolisen lisäeristyksen rakennusfysikaalinen toiminta

Ulkoseinien rakennusfysikaalinen tarkastelu sisäpuolisella lisälämmöneristyksestä tehtiin DOF-Lämpö-ohjelmalla samalla periaatteella kuin nykyisen seinärakenteen suhteen. Tarkastelun pohjana käytettiin alkuperäisten seinien yhteydessä hankittuja tietoja rakennusaineiden ominaisuuksista, pintavastuksista, ilmastosta sekä seinäpinta-aloista.

Kosteuden tiivistymistä rakenteisiin ei tapahtunut millään kolmesta vaihtoehdosta. Uusissa ulkoseinävaihtoehdoissa suhteellinen kosteus nousee suureksi homeenkasvun olosuhteiden suhteen jokaisella rakenteella syys- ja lokakuun aikana. Homeenkasvun mahdollistamat olosuhteet, $RH \geq 75\%$ ja $T > 0\text{ °C}$ täyttyvät

näinä tarkastelu kuukausina. Taulukossa 1 näkyvät rakenteiden suhteelliset kosteudet syys- ja lokakuussa. Rakenteille tulisi tehdä homehtumisriskiarvio.

Taulukko 1. Rakenteiden suhteellisia kosteuksia runko-bituliittively rajapinnassa.

RH kosteudet sisäpuolen lisäeristyksillä runko-bituliitti rajapinnassa		
	Syyskuu	Lokakuu
US 1	77.07%	76.28%
US 2	78.83%	78.96%
US 3	77.51%	76.96%

Vanhan eristekerroksen suhteellinen kosteus nousi sisäpuolisen lisäeristyksen myötä. Suhteellinen kosteus kasvaa sitä enemmän mitä parempi sisäpuolen lisäeristys on. Vanhan eristeen lämpötilat laskivat sisäpuolen lisäeristyksen myötä. Taulukossa 2 on vertailtu lämpötiloja nykyisen rungon sisä- ja ulkorajapinnoissa sisäpuolisilla lisäeristysvaihtoehdoilla RakMk D3 vyöhykkeen 4 mitoitusolosuhteissa. Liitteissä 2, 3 ja 4 on kuvattu tarkemmin sisäpuolisten lisäeristysten lämpö- ja kosteusjakaumia.

Taulukko 2. Lämpötilat nykyisen rungon sisä- ja ulkopinnoissa sisäpuolisilla lisäeristysvaihtoehdoilla.

Sisäpuolisella lisäerityksellä lämpötilat mitoitusolosuhteissa -38 C		
	rungon ulkopinta °C	rungon sisäpinta °C
US nykyinen	-30.01	15.87
US 1	-32.56	-1.33
US 2	-34,00	-11.00
US 3	-32,92	-3,76

5.5 Ulkoseinän ulkopuolinen lisäeristys

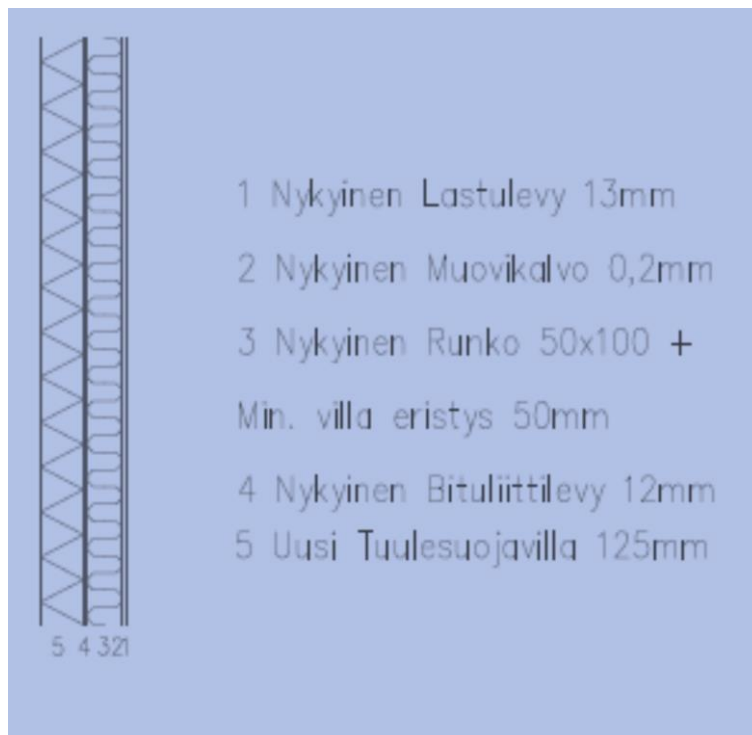
Ulkoseinien lisäeristyksen teossa ulkopuolelle oli kaksi vaihtoehtoa. Aluksi tutkittiin useampaa vaihtoehtoa, mutta niillä ei saavutettu riittävää U-arvon parannusta. Nykyisten määräysten vaatimus on 0,17 W/m²K. Jotta vaatimukseen päästään, eristeen paksuutta pitää kasvattaa huomattavasti. Pienempiin eristepaksuuksiin päästäisiin muovieristeillä, mutta silloin rakenne tihenee ulospäin

mentäessä. Rakenteen tulisi harventua aina ulospäin mentäessä. Lisäeristykset valittiin siten, että molemmissa ulommaisena on tuulensuojapinta.

Nykyinen bituliittilevy voidaan jättää rungon ulkopintaan jos se on terve ja ehjä. Oletuksena suunnitelmissa nykyinen bituliittilevy jätettiin paikalleen. Toisaalta levy purkamalla voitaisiin luotettavasti todeta nykyisen rungon ja eristeen kunto. Lisäeristeille saatiin lähtötiedot DOF-Lämpö-ohjelman materiaalikirjastosta. Nykyisen ulkoseinän rakenteille käytettiin jo aiemmin määritettyjä arvoja.

5.5.1 Uudet ulkoseinärakenteet

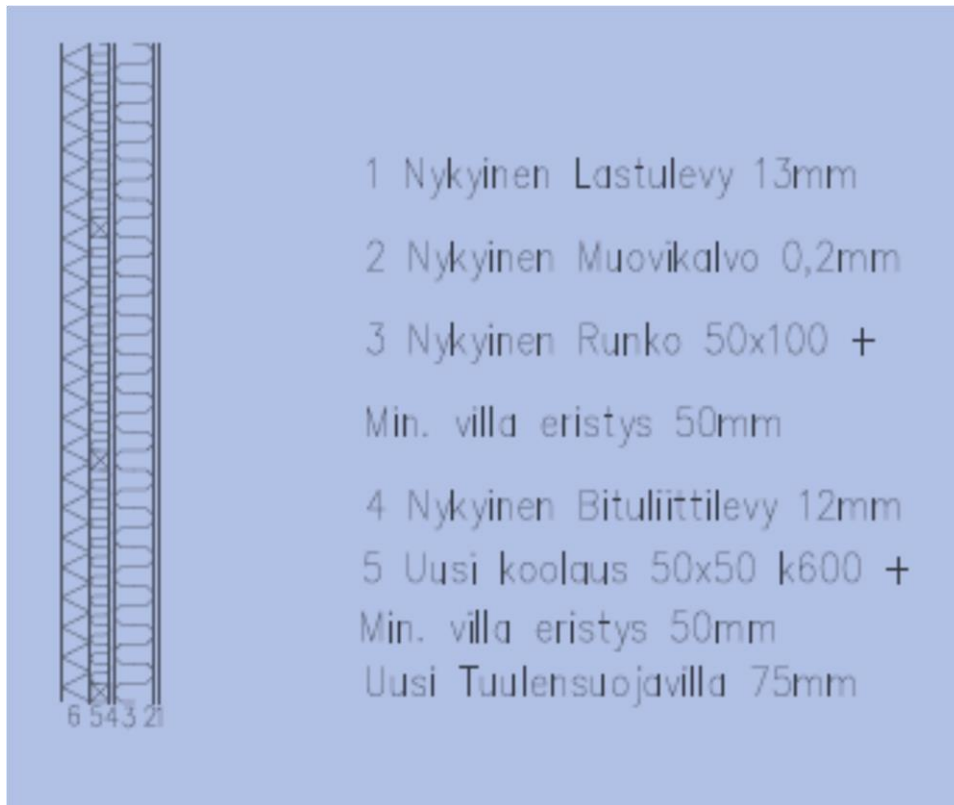
Kuvassa 8 on kuvattu uusi ulkoseinä 4 ilman ulkopuolen pintarakenteita. Siinä vanha tiiliverhous puretaan ja uusi tuulensuojaeriste asennetaan vanhan bituliittilevyn päälle. Tuulensuojaeristeenä käytettiin Parocin Renova n 125mm eristettä. Uudella ulkoseinä rakenteella 4 saadaan u-arvo $0,17\text{w/m}^2\text{K}$.



Kuva 8. Uusi ulkoseinä 4

Toisena vaihtoehtona on Uusi ulkoseinä 5 (Kuva 9). Siinä vanhan bituliittilevyn päälle asennetaan ensimmäiseksi vaakakoolaus 2"x 2" sekä mineraalivillaeriste 50mm. Eristeenä käytettiin Isoverin KL-33 eristettä. Päällimmäiseksi asennetaan

tuulensuojavilla Isover RKL-31 Facade 75mm. Uudella ulkoseinärakenteella 5 saadaan U-arvoksi 0,17 W/m²K.



Kuva 9. Uusi ulkoseinä 5 rakenne

5.5.2 Ulkoseinän ulkopuolisen lisäeristyksen rakennusfysikaalinen toiminta

Ulkoseinien rakennusfysikaalinen tarkastelu ulkopuolisella lisälämmöneristyksestä tehtiin DOF-Lämpö-ohjelmalla samalla periaatteella kuin sisäpuolisen lisäeristyksenkin suhteen. Tarkastelun pohjana käytettiin alkuperäisten seinien yhteydessä hankittuja tietoja rakennusaineiden ominaisuuksista, pintavastuksista, ilmastosta sekä seinäpinta-aloista.

Kosteuden tiivistymistä rakenteisiin ei tapahtunut ulkopuolisilla lisäeristysvaihtoehdoilla. Taulukosta 3 näkyy, että lämpötilat nousivat vanhassa eristeessä. Lämpötilojen nousun ansiosta nykyisen rakenne pääsee kuivamaan. Liitteissä 5, 6 ja 7 olevista tuloksista näkee, että nykyisen eristeen kohdalla suhteellinen kosteus laskee huomattavasti.

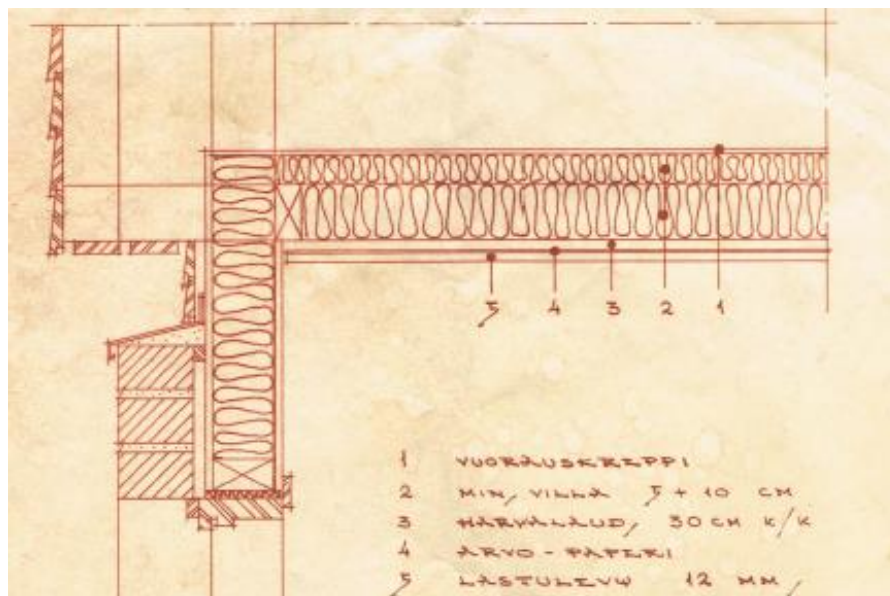
Taulukko 3. Lämpötilat nykyisen rungon sisä- ja ulkopinnoissa ulkopuolisilla lisäeristysvaihtoehdoilla.

Ulkopuolisella lisäeristyksellä lämpötilat mitoitustilassa -38 C		
	rungon ulkopinta °C	rungon sisäpinta °C
US nykyinen	-30,01	15,87
US 4	0,37	18,93
US 5	0,84	18,97

Uusissa rakenteissa suhteellisen kosteuden arvot eivät nousseet yli 75 % millään tarkastelujaksolla, joten tarvetta homehtumisriskin tarkastelulle ei ole. Tarkastelujen perusteella ulkopuolelta lisäeristetyt ulkoseinät ovat teknisesti toteutuskelpoisia.

5.6 Nykyinen yläpohja

Vanhojen rakennekuvien perusteella yläpohjan eristys ei ollut kovin hyvä. Suunnitelmissa eristeenä olivat mineraalivillakerrokset 100mm + 50mm. Entisen omistajan mukaan yläpohjaan oli tehty lisäeristystä puhallusvillalla. Tarkasta määrästä ei ollut tietoa. Kuten ulkoseiniinkin myös yläpohjaan oli suunnitelmissa merkitty arvo-paperi. Kuvassa 10 näkyvästä alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen alapuolteen sisäpinnassa on muovikalvo. (Kalliainen 2016)



Kuva 10. Alkuperäisten suunnitelmien mukainen yläpohjarakenne. (Kalliainen 2016)

Aikaisempi tarkastelu ullakolla osoitti, että eristys puuttui paikoin tai oli vajaa. Tarkempi tarkastelu ja mittaukset osoittivat kuitenkin, että puhallusvillalla tehty lisäeristys on pääsääntöisesti tehty ja sen paksuus on noin 100mm. Lisäksi selvisi, että yläpohjan palavillana on kaksi 100mm paksua eristelevyä, joista päällimmäisessä on tuulensuojapaperi pintana. Nykyisen yläpohjarakenteen U-arvo on $0,17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. (Kalliainen 2016.)

Katon korotuksen yhteydessä olisi suunnitelmien mukaan pitänyt tehdä vanhojen kattolautojen purku. Laudoitukseen oli kuitenkin tehty vain noin 0.5 m^2 kokoisia aukkoja tuuletusta varten. Laudoituksen ja nykyisen eristekerroksen väli vaihtelee 100mm-250mm vanhan kattokallistuksen mukaan. (Kalliainen 2016)

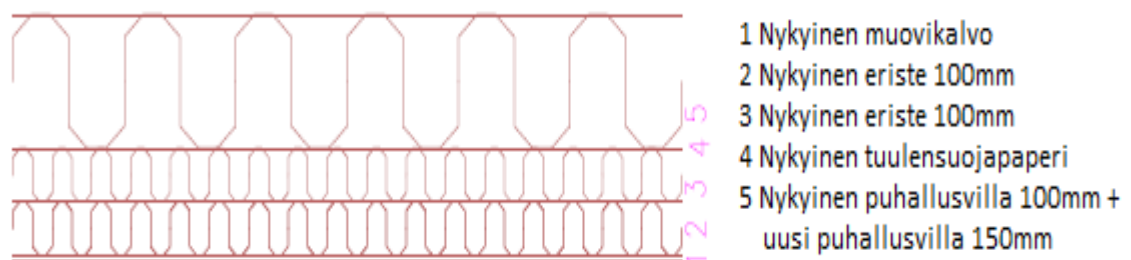
5.7 Yläpohjan lisäeristys

Järkevänä lisäeristysvaihtoehtoina oli ainoastaan puhallusvillakerroksen kasvattaminen. Vaihtoehtoina tarkasteltiin rakenteita, joissa eristekerroksen paksuutta oli kasvatettu 150 mm ja 250 mm. Jälkimmäisellä päästään nykyisten U-arvo vaatimusten vähimmäisvaatimukseen $0.09\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Villakerroksen kasvattaminen vaatii vanhan kattolaudoituksen purkamisen, jotta tuuletus toimii oikein. Lisäksi räystäälle on hyvä asentaa tuulenohjaimet. Eristeen yläpinta nousee niin ylös, että ilmavirtaukset voivat kuljettaa eristettä pois reuna-alueelta.

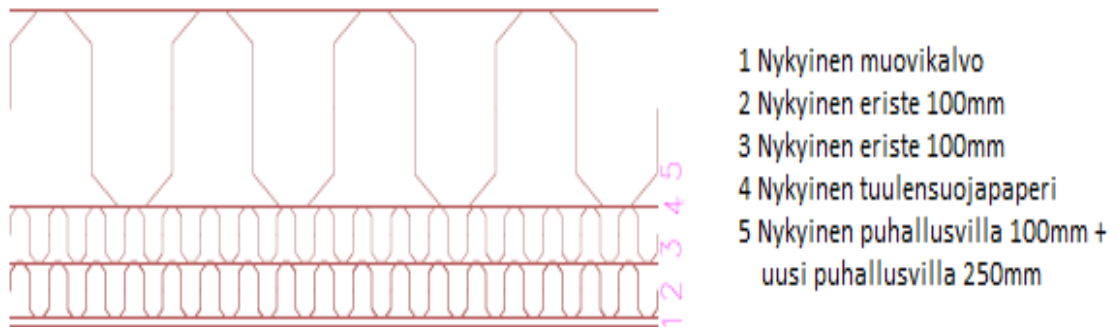
5.8 Uudet yläpohjarakenteet

Kuvassa 11 uusi yläpohjarakenne 1, jossa puhalluseristeen määrää on kasvatettu 150mm. Tällä lisäeristykselle uusi U-arvo on $0.11\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.



Kuva 11. Uusi yläpohja 1 rakenteet

Kuvassa 12 on uusi yläpohjarakenne 2, jossa puhalluseristeen määrää on kasvatettu 250mm. Tällä lisäeristykselle uusi U-arvo on 0.09W/m²K.



Kuva 12. Uusi yläpohja 2 rakenteet

5.9 Uusien yläpohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen

Taulukossa 4 on vertailtu uusien yläpohjarakenteiden kyllästymiskosteuksia ja kokonaiskosteusmääriä tarkastelupisteissä. Rakenteen ulkopinnassa suhteelliset kosteudet ovat yli 80 % luokkaa. Tämä ei kuitenkaan aiheuta välttämättä ongelmia jos ullakon tuuletus toimii oikein. Liitteissä 7, 8 ja 9 on kaikkien kolmen yläpohja rakenteen lämpö- ja kosteuskuvaajat.

Taulukko 4. Uusien yläpohjarakenteiden kosteudet tarkastelupisteissä.

Tarkasteluhetki / Jakso, RakMk D3, Vyöhyke 4, mitoitustilanne								
	YP Nykyinen	YP Nykyinen	YP1	YP1	Kondensoituminen (g/m ²)	YP2	YP2	Kondensoituminen (g/m ²)
Tarkastelupiste	KK (g/m ³)	KM (g/m ³)	KK (g/m ³)	KM (g/m ³)	-	KK (g/m ³)	KM (g/m ³)	-
Sisätila	18,32	9,16 (RH=50%)	18,32	9,16 (RH=50%)	0,00	18,32	9,16 (RH=50%)	0,00
Sisäpinta	17,39	9,16 (RH=52,68%)	17,72	9,16 (RH=51,7%)	0,00	17,83	9,16 (RH=51,37%)	0,00
1-2	17,38	0,18(RH=1,02%)	17,71	0,20(RH=1,12%)	0,00	17,83	0,21 (RH=1,19%)	0,00
2-3	5,62	0,16 (RH=2,90%)	8,76	0,18 (RH=2,11%)	0,00	10,15	0,20(RH=1,96%)	0,00
3-4	1,29	0,15 (RH=11,26%)	3,93	0,17 (RH=4,24%)	0,00	5,53	0,18 (RH=3,27%)	0,00
Ulko-pinta	0,15	0,13 (RH=86,59%)	0,15	0,13 (RH=87,79%)	0,00	0,15	0,13 (RH=88,21%)	0,00
Ulko-tila	0,15	0,13 (RH=90,00%)	0,15	0,13 (RH=90,00%)	-	0,15	0,13 (RH=88,21%)	-

6 ENERGIASÄÄSTÖJEN VERTAILU

6.1 Lähtötiedot

Rakennusosan lämpöhäviöt on laskettu DOF-Lämpö-ohjelmalla. Laskelmissa on käytetty RakMk D3:n osan säätietotaulukon vyöhykkeen 4 vuotuisia säätietoja ja mitoituslämpötiloja. RakMk D3:n tietoja käytettiin, koska se on vaatimus lämmitystehoa ja energiankulutusta laskettaessa. Näin saatuja arvoja voidaan käyttää myöhemmissä laskelmissa ja selvityksissä. U-arvot on saatu samaan ohjelmaan syötettyjen materiaalitietojen perusteella.

6.2 Ulkoseinän lisäeristyksellä saavutetut energian säästöt vuositasolla

Taulukossa 5 näkyy saavutettavat säästöt eri ulkoseinän lisäeristys vaihtoehdoilla. Molemmilla ulkopuolen lisäeristysvaihtoehdolla uusi us 4 ja uusi us 5 saadaan lämpöhäviöt laskemaan alle puoleen nykyisestä tilanteesta. Myös sisäpuolisella lisäeristysvaihtoehdolla uusi us 2 saadaan lämpöhäviöt puolitettua. Liitteissä 2-6 näkyy eri lisäeristysten lämpöhäviöt kuukausittain.

Taulukko 5. Energiasäästöjen vertailu eri ulkoseinän lisäeristysvaihtoehdoilla.

Rakenne	U-arvo W/m ² K	Lämpöhäviö ulos kWh /vuosi	Energiakustanus vuodessa (€)	Säästö euroissa nykyiseen verrattuna vuodessa
Nykyinen US	0,42	8909	980	
Uusi US 1	0,28	5939	653	327
Uusi US 2	0,2	4242	467	513
Uusi US 3	0,27	5727	630	350
Uusi US 4	0,17	3606	397	583
Uusi US 5	0,17	3606	397	583

6.3 Yläpohjan lisäeristyksellä saavutetut energiansäästöt vuositasolla

Taulukossa 6 näkyy saavutetut säästöt yläpohjan eristeen lisäyksillä. Kuten taulukosta näkyy, myös yläpohjan lisäeristämällä saadaan lämpöhäviöt jopa lähes puolitettua.

Taulukko 6. Yläpohjan lisäeristyksillä saavutetut säästöt.

Rakenne	U-arvo W/m ² K	Lämpöhäviö ulos kWh /vuosi	Energiakus- tannus vuo- dessa (€)	Säästö euroissa nykyiseen ver- rattuna
Nykyinen YP	0,17	4974	547	
Uusi YP 1	0,11	3218	354	193
Uusi YP 2	0,09	2634	290	257

7 LISÄERISTYKSEN KUSTANNUKSET JA KUSTANNUSTEN TAKAISINMAKSUAIKA

7.1 Kustannus rajaus

Kohteen ulkoseinien sisä- ja ulkopuolisten pintojen kunto on kohtalaisen hyvä. Pintojen uusimisen takia ei lisäeristyksen teko ole ajankohtaista. Mahdolliset pintojen saneeraukset tehdään täysin ulkonäön uudistamisen takia.

Yllä mainituista syistä lisäeristyksen kustannukset lasketaan pelkästään eristeistä tuleville kustannuksille. Laskelmissa on sisäpuolisissa lisäerityksissä huomioitu uusi pintaverhouslevy, mutta ei pinnoituksia.

Laskelmissa ei ole huomioitu työnosuuksia, koska työt tehdään omana työnä. Kuten teoriaosuudessa on mainittu, ei tiiliverhoillun seinän lisäeristäminen ole yleensä kannattavaa. Tässäkin tapauksessa tiiliverhouksen purku ja uusi julkisivu nostaisivat eristyksen tekoon liittyviä niin paljon, että se ei olisi todennäköisesti kannattavaa.

Materiaalien kustannuksina on käytetty yritysten verkkokauppojen hinnastoja lukuun ottamatta puhallusvillaa, jonka hinta on pyydetty asennettuna puhallusvillaeristystä tekevältä yritykseltä.

7.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika laskettiin yksinkertaisella menetelmällä käyttäen kaavaa (6). Kaava ei ota huomioon laskentakorkoja ja nettotuottojen oletetaan pysyvän samoina. Investoinnin kannattavuutta voidaan perustella takaisinmaksuajan pituudella. Mitä lyhempi takaisinmaksuaika on sitä kannattavampi investointi yleensä on.

Takaisinmaksuaika vuosissa = Investointi / Investoinnista saatava nettotuotto
vuodessa (6)

Taulukossa 7 on esitetty ulkoseinän ja yläpohjan lisäeristysvaihtoehtojen takaisinmaksuajat. Ajat vaihtelevat suuresti. Vaikka halvimmilla vaihtoehdoilla on nopeimmat takaisinmaksuaika, ne eivät välttämättä ole pitkällä aikavälillä parhaat vaihtoehdot.

Kun lasketaan energiasäästöjä pitää muistaa, että investoinnin maksettua itsensä takaisin se alkaa tuottaa. Esimerkiksi Taulukosta 7 nähdään, että uusien ulkoseinien 3 ja 4 takaisin maksuajat ovat lähes yhtä lyhyet. Uuden ulkoseinän 4 vuosittainen kustannussäästö on kuitenkin yli 60 % suurempi kuin Uuden ulkoseinän 3.

Taulukko 7. Ulkoseinän ja yläpohjan lisäeristysvaihtoehtojen takaisinmaksuajat.

Lisäeristysvaihtoehto	Pinta-ala m ²	Kuutiot m ³	Materiaalikus-tannus €/yksikkö/alv24%	Kustannus koko raken-neosalle	Kustannus-säästö vuo-dessa (€)	Takaisin-maksuaika (vuotta)
Uusi US 1	116,8		23,2	2709,76	327	8,3
Uusi US 2	116,8		30,89	3607,95	513	7,0
Uusi US 3	116,8		14,26	1665,57	350	4,8
Uusi US 4	116,8		21,79	2545,07	583	4,4
Uusi US 5	116,8		29,31	3423,83	583	5,9
Uusi YP 1	160	24	32	768,00	193	4,0
Uusi YP 2	160	40	32	1280,00	257	5,0

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ulkoseinän ja yläpohjan lisäeristysvaihtoehtoja sekä niiden vaikutusta rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan. Ulkoseinässä tutkittiin sekä sisäpuolisia että ulkopuolisia lisäeristysvaihtoehtoja. Yläpohjassa lisäeristykset tehtiin ulkopuolelle. Sisäpuolisina vaihtoehtoina olivat perinteisempi 50x50 mm koolaus ja mineraalivilla eristys sekä kipsilevypintaiset SPU-eristelevyt. Ulkopuolisena lisäeristysnä oli Parocin 125 mm paksu tuulensuojaeriste ja Isoverin mineraalivillan sekä tuulensuojaeristeen yhdistelmä. Yläpohjassa lisäeristeenä oli Parocin puhallusvilla.

Ulkoseinien lisäeristysten vaikutukset olivat linjassa aiemmin tehtyjen tutkimusten ja omien arvioiden kanssa. Sisäpuolinen eristys toimi ainakin teoriassa ja kosteuden tiivistymistä rakenteen sisään ei tapahtunut, vaikka rakenteen lämpötilat laskivat. Sisäpintaan asennettava höyrynsulkukalvo ja diffuusiotiivis spu-levy estävät sisäpuolisen kosteuden pääsyn rakenteeseen. Ulkoseinän ulkopuolisella lisäeristyksellä ei myöskään tapahtunut kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Nykyisen runkorakenteen lämpötilat nousivat ja suhteellinen kosteus laski.

Käytännössä ongelmia voi aiheuttaa rakennuksen valesokkelirakenne ja siitä johtuva rungon alaosan sijainti. Talviolosuhteissa sisältä tuleva lämmin ja vesihöyrypitoisempi ilma kohtaa matkalla kylmän alaohjauspuun, minkä seurauksena vesihöyrypitoisuus voi ylittää kyllästykseen ja vettä alkaa kondensoitumaan.

Kesällä lämpövirran ja diffuusion suunta voi muuttua, jos ulkona on lämpimämpää tai ulkoilma sisältää enemmän vesihöyryä kuin sisäilma. Ulkoa tuleva lämpövirta pyrki luultavasti kulkeutumaan ulkoseinärakenteen läpi kohti sisäilmaa ja suoraan kylmempää alapohjaa kohti.

Jos valesokkelirakennetta ei oteta huomioon, ulkopuolisen lisäeristyskäytön kyseisessä rakennuksessa olisi turvallisempaa rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta. Rakennuksen olemassa olevaan höyrynsulkuun ei tarvitsisi tehdä muutoksia ja nykyisen rakenteen lämpötilat nousisivat. Lisäeristyskäytön vaikutus rungon alaosan rakennusfysikaaliseen toimintaan tulee kuitenkin tutkia tarkemmin ennen toteutusta.

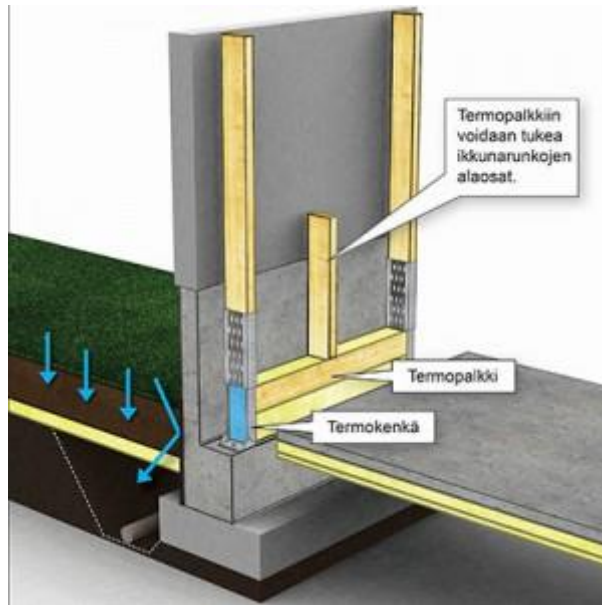
Sisäpuolista lisäeristystä käytettäessä lastulevytyksen poistaminen sekä höyrynsulun poistaminen tai rei'ittäminen tulisi tehdä, jotta lastulevytys ei jäisi höyrynsulun ja diffuusiotiiviin lisäeristeen väliin.

Yläpohjan lisäeristyksillä ei ole rakennusfysikaalisesti ongelmia kunhan riittävä tuuletus varmistetaan. Eristettä kannattaa lisätä mahdollisimman paljon. Painumatkaan eivät ole heti ongelmana, koska puhalluseristettä on nykyisessä rakenteessa vasta 100 mm.

Energia kulutuksessa on mahdollisuus saada suuriakin säästöjä. Yläpohjassa säästöt eivät ole euroissa niin suuria kuin ulkoseinässä, mutta lämpöhäviöt voidaan helposti ja halvalla puolittaa. Ulkoseinässä on myös mahdollisuus tehdä suuria säästöjä lisäeristyksellä. Ulkoseinien osalla pitää kuitenkin muistaa, että ulkopuolisessa lisäeristyksen kustannuksissa ei ole huomioitu tiiliverhouksen purkua ja uutta julkisivuverhousta. Lisäeristys parantaa myös asumisviihtyvyyttä. Sen merkitystä on hankala rahassa arvioida.

Työssä saadut tulokset ulkoseinien ja yläpohjan energiakuluista voidaan pitää hyvin suunta antavina. Ne ovat kuitenkin teoreettiset ja ne eivät täysin vastaa käytännön tilanteita. Esimerkiksi DOF-Lämpö-ohjelmalla tehty lämpöhäviölasenta ei huomioi rakennusmateriaalien kosteuksien ja lämpötilojen muuttumisten vaikutuksia niiden lämmönjohtavuuteen.

Jatkotutkimuksena olisi hyvä tutkia valesokkelin korjausvaihtoehtoja ja niiden vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaa. Tähänastisessa korjausmenetelmässä seinärungon alaosa on nostettu ylemmäs muuraamalla lekaharkko valesokkelin sisälle. Harkkomuurausmenetelmä on työläs ja se heikentää seinän lämmöneristyskyky merkittävästi. Markkinoille on tullut uusia varteenotettavia menetelmiä, kuten esimerkiksi Kuvan 13 Termotuotteilla. Lisäksi voisi myös tutkia sisäpuolisen eristyksen aiheuttamaa suhteellisen kosteuden nousua ja mahdollista homehtumisriskiä bituliittilevyn ulkopinnassa loppusyksyn kuukausina.



Kuva 13. Termotuotteilla korjattu rungon alaosan rakenne. (Lamox.fi 20016)

Paras ja luotettavin tapa tutkia valesokkelin kosteuksia sekä lämpöjä olisi mitata ne käytännössä. Ohjelmat eivät ota huomioon esimerkiksi veden kapillaarista nousua sokkelin läpi. Myös tuuletusraon toiminta käytännössä voi olla aivan erilaista kuin teoriassa.

LÄHTEET

Asetus 4/13 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä.

Heljo J & Vihola J. Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoinnissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos . Tampere 2012. www.tut.fi/ee/Materiaali/Epat/EPAT_loppuraportti.pdf.

Kallinen J 2016. Talon omistaja. Haastattelu 7.3.2016.

Kallunki V, Lavonen J, Juuti K, Meisa-lo V, Mikama A, Suhonen M, Lepikkö J, Jokinen J 2016. Fysiikan menetelmät ja kvalitatiiviset mallit, Lämpö ja energia.

Korjaustieto.fi 2016a Energiakorjaukset. Lisäeristäminen on ammattilaisen työtä. Viitattu 9.5.2016 <http://www.korjaustieto.fi/pientalot/pientalojen-energiatehokkuus/lampohaviot-kuriin/lisaeristaminen-on-ammattilaisten-tyota.html>.

Korjaustieto.fi 2016b Julkisivukorjaukset. Julkisivukorjauksella energiatehokkuutta. Viitattu 9.5.2016 <http://www.korjaustieto.fi/pientalot/korjaushankkeet/tyypilliset-julkisivukorjaukset/julkisivukorjaukset-ja-energiatehokkuus.html>.

Lamox.fi 2016. Viitattu 20.5.2016 <http://www.lamox.fi/wp-content/uploads/2014/04/TERMOTUOTE-HAVAINNEKUVA022016.pdf>.

Neuvonen V 2015. Valesokkelirakenteen FEM-mallintaminen, Karelia-Ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö. Viittaus 8.4.2016 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99209/Neuvonen_Ville.pdf?sequence=1?????.

Rafnet 2004a. Rakennusfysiikka rakennusinsinöörille, Kosteus 2009. Rafnet-opimateriaali, teoriaosan osio K (kosteus). Viitattu 30.3.2016 http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf.

Rafnet 2004b. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille, Lämpö 2004. Rafnet-opimateriaali, teoriaosan osio L (lämpö). Viitattu 30.3.2016 <http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/lampoosio27092004.pdf>.

RakMk C4 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003 C4, Lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet.

RakMk D5 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012 D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta. Määräykset ja ohjeet.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia. Tampere: Rakennustieto Oy.

Ympäristöministeriö 2016. Energiatehokkuus huomioon luvanvaraisessa rakentamisessa. Viittaus 1.4.2016 http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess%283871%29.

LIITTEET

- Liite 1. Nykyisen ulkoseinän DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 2. Uusi ulkoseinä 1 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 3. Uusi ulkoseinä 2 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 4. Uusi ulkoseinä 3 DOF-Lämpö ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 5. Uusi ulkoseinä 4 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 6. Uusi ulkoseinä 5 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 7. Nykyisen yläpohjan DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 8. Uusi yläpohja 1 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset
- Liite 9. Uusi yläpohja 2 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

LIITE 1. Nykyisen ulkoseinän DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset 1(4)

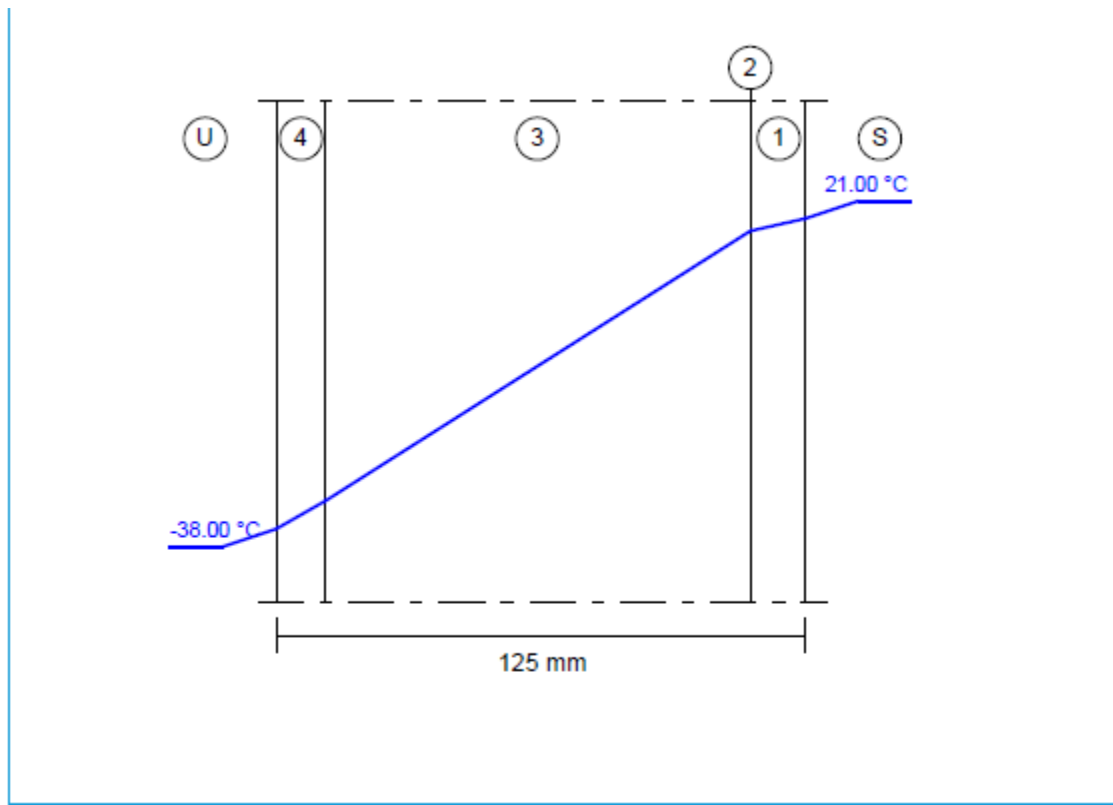
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	2.412 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	2.370 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	2.391 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.418 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.010 W/m2K
Korjaustermi $0.010 < 3\%$ U-arvosta	ei oteta huomioon
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.418 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.42 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K

TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T,ulko (C):	T,sisä (C):	RH,ulko (%):	RH,sisä (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

LIITE 1. Nykyisen ulkoseinän DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset 2(4)

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (116,8 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	1234.596 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	1100.713 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	1010.585 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	791.369 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	565.464 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	279.575 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	240.685 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	324.054 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	505.129 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	755.764 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	974.478 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	1126.578 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	8908.990 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	18.02
1-2:	15.89
2-3:	15.87
3-4:	-30.01
Ulkopinta:	-35.02
Ulkotila:	-38.00



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

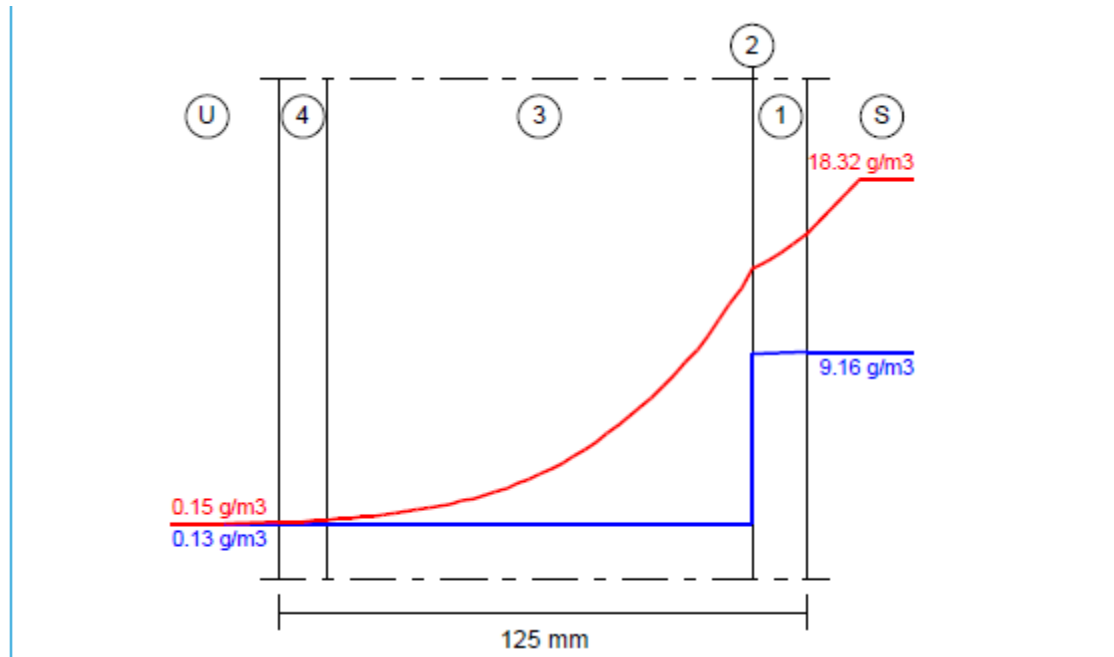
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	15.38	9.16 (RH=59.57%)	0.00
1-2:	13.54	9.10 (RH=67.25%)	0.00
2-3:	13.52	0.15 (RH=1.11%)	0.00
3-4:	0.34	0.13 (RH=39.76%)	0.00
Ulkopinta:	0.20	0.13 (RH=65.50%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite 1. Nykyisen ulkoseinän DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)

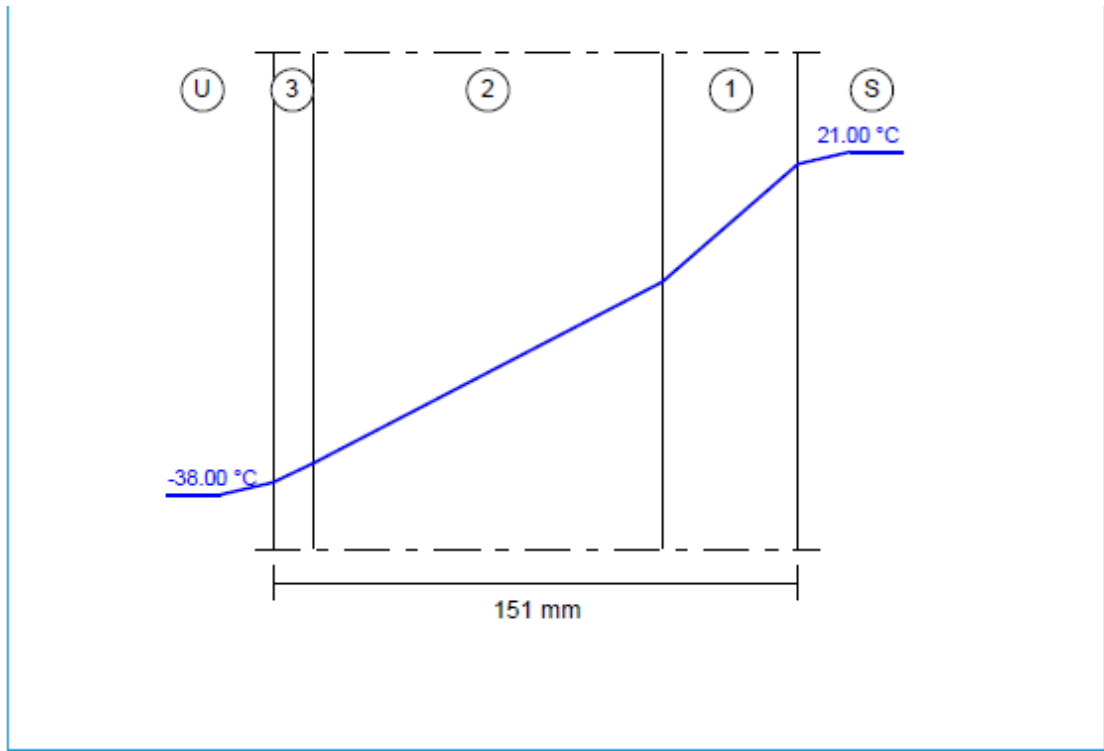


U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	3.648 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:	3.577 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	3.612 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.277 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.277 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.28 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K

TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (116,8 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	823.064 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	733.809 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	673.724 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	527.579 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	376.976 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	186.383 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	160.456 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	216.036 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	336.753 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	503.843 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	649.652 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	751.052 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	5939.327 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	18.97
1-2:	-1.33
2-3:	-32.56
Ulkopinta:	-35.97
Ulkotila:	-38.00



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

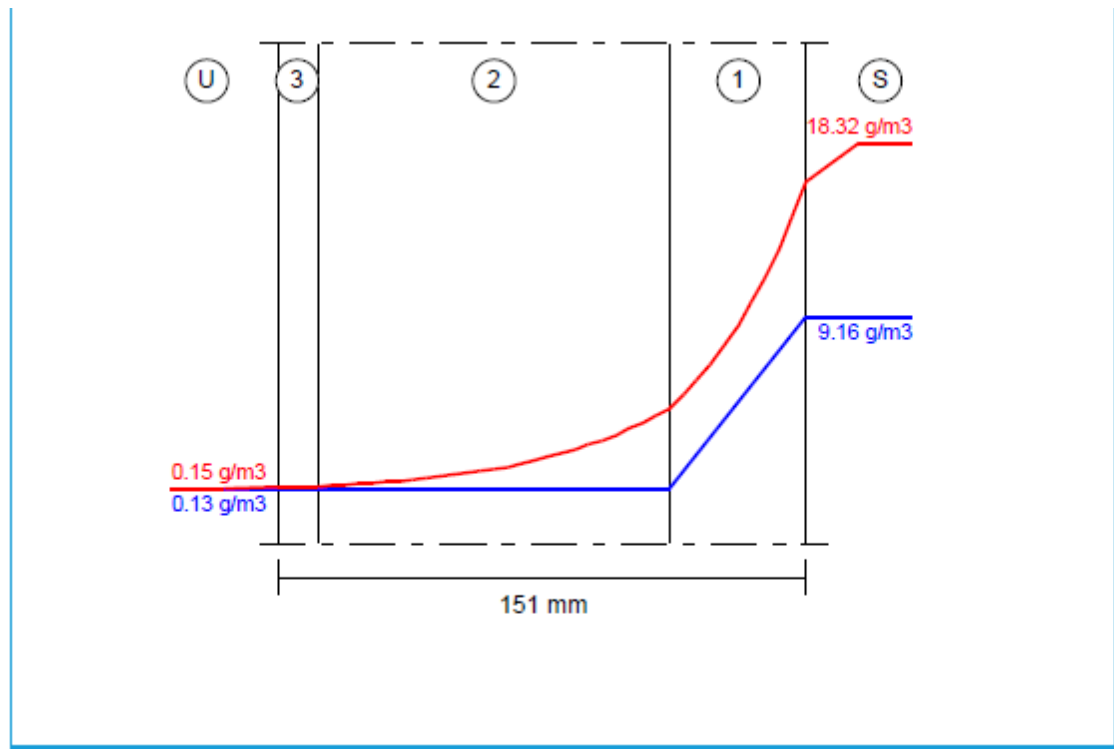
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	16.27	9.16 (RH=56.30%)	0.00
1-2:	4.36	0.14 (RH=3.12%)	0.00
2-3:	0.26	0.13 (RH=50.94%)	0.00
Ulkopinta:	0.18	0.13 (RH=72.43%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite 2. Uusi ulkoseinä 1 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)

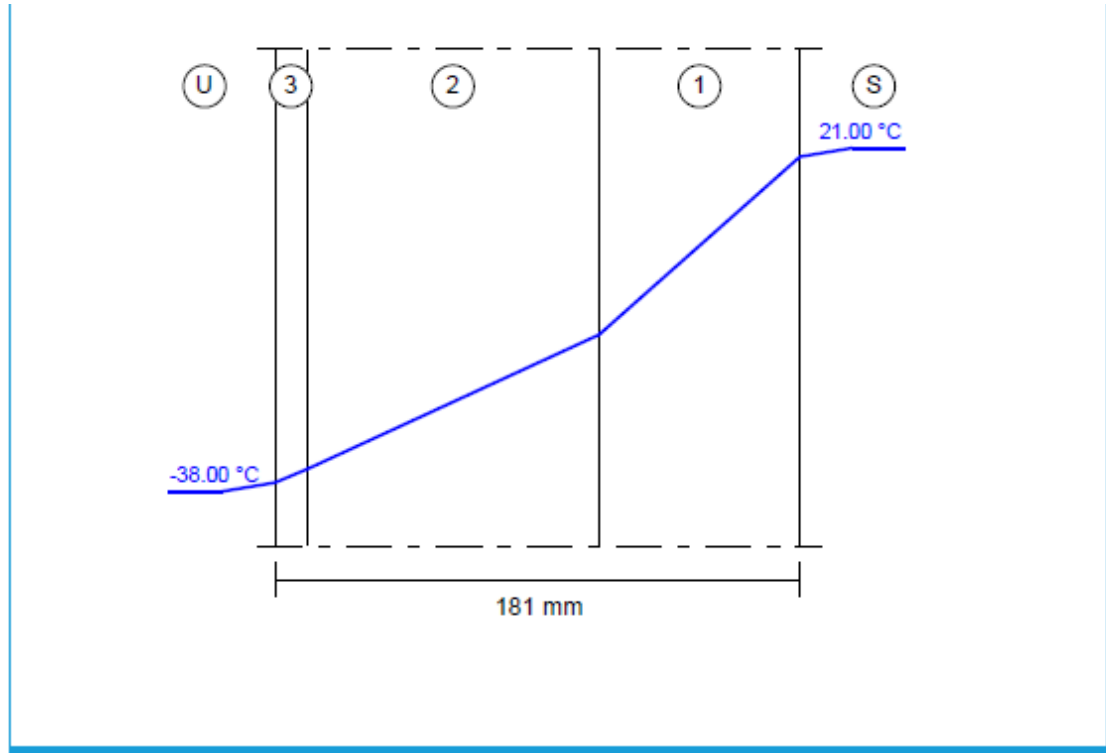


U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	5.014 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	4.931 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	4.972 m ² K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.201 W/m ² K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m ² K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.201 W/m ² K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.20 W/m ² K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m ² K

TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (116,8 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	587.903 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	524.149 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	481.231 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	376.842 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	269.268 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	133.131 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	114.612 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	154.312 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	240.538 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	359.888 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	464.037 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	536.466 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	4242.376 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.51
1-2:	-11.00
2-3:	-34.00
Ulkopinta:	-36.51
Ulkotila:	-38.00



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

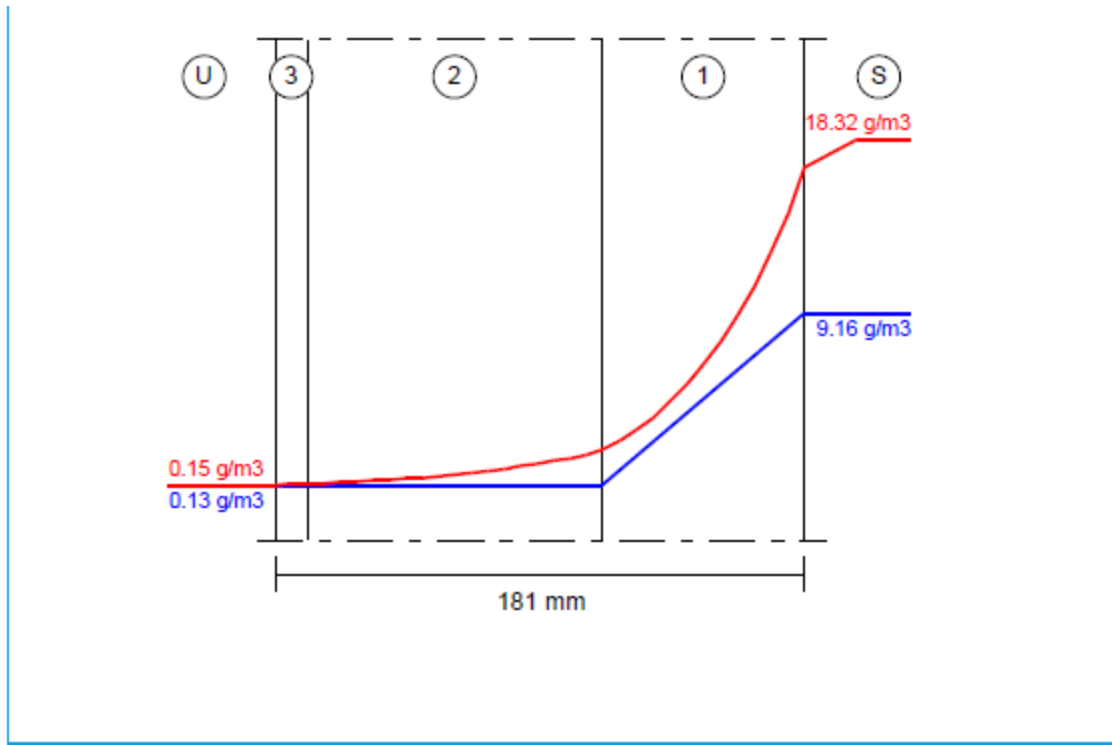
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m3):	KM (g/m3):	Kond. (g/m2):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	16.79	9.16 (RH=54.56%)	0.00
1-2:	1.96	0.14 (RH=6.93%)	0.00
2-3:	0.22	0.13 (RH=59.10%)	0.00
Ulkopinta:	0.17	0.13 (RH=76.67%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite 3. Uusi ulkoseinä 2 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)



Liite 4. Uusi ulkoseinä 3 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

1(4)

U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	3.809 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	3.581 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	3.695 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.271 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.271 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.27 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K

TARKASTELUHETKET/JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Liite 4. Uusi ulkoseinä 3 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

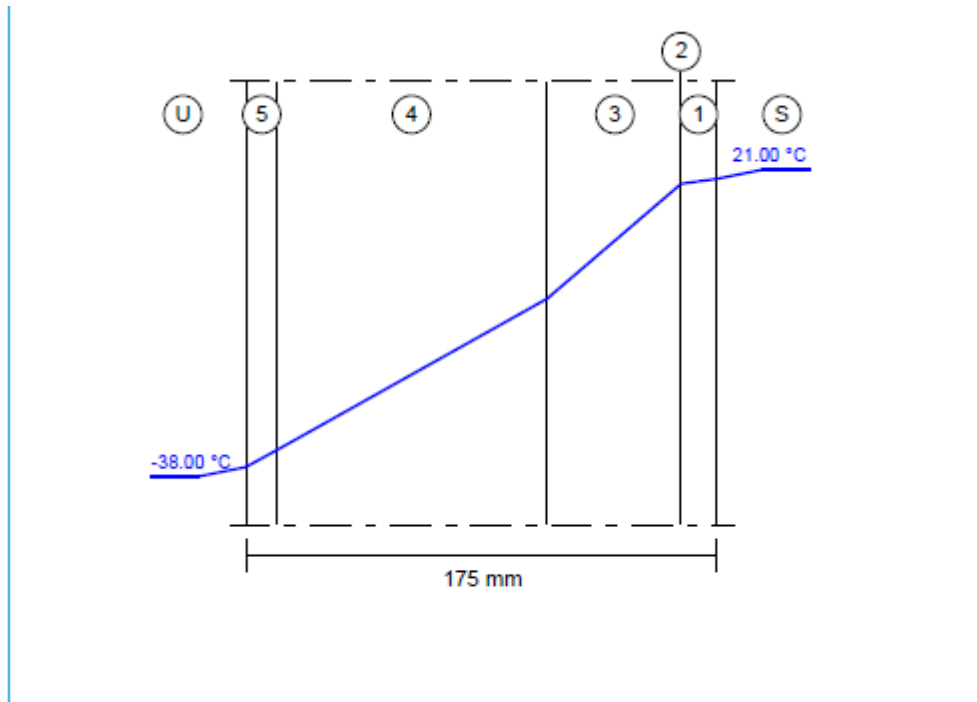
2(4)

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (116,8 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	793.669 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	707.601 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	649.662 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	508.737 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	363.512 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	179.727 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	154.726 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	208.321 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	324.726 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	485.848 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	626.450 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	724.229 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	5727.208 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.10
1-2:	18.35
2-3:	18.33
3-4:	-3.76
4-5:	-32.92
Ulkopinta:	-36.10
Ulkotila:	-38.00

Liite 4. Uusi ulkoseinä 3 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

3(4)



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

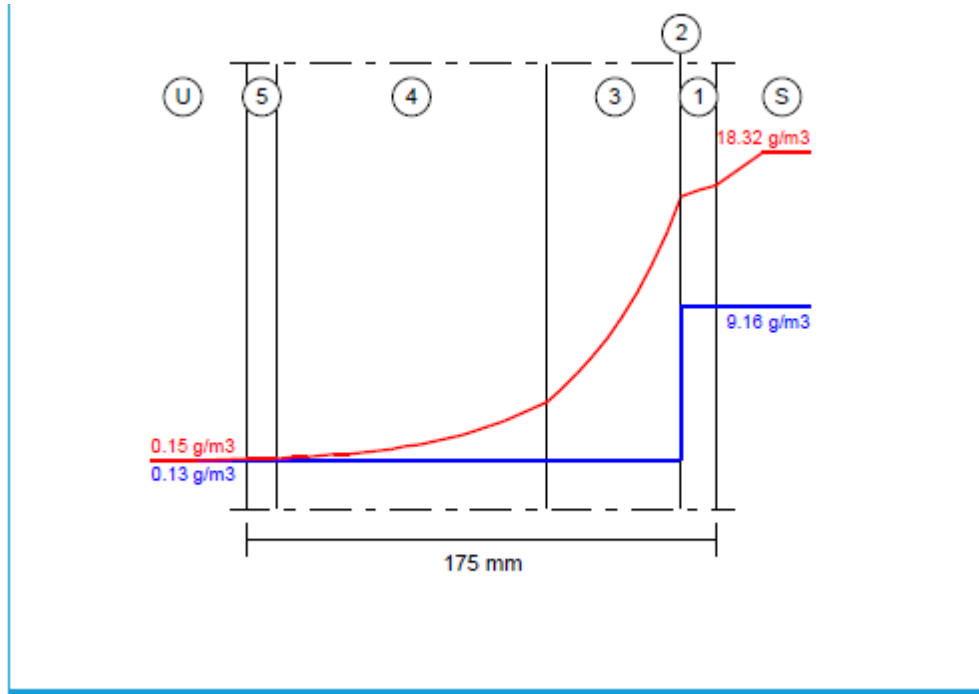
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m3):	KM (g/m3):	Kond. (g/m2):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	16.40	9.16 (RH=55.86%)	0.00
1-2:	15.68	9.15 (RH=58.36%)	0.00
2-3:	15.67	0.15 (RH=0.98%)	0.00
3-4:	3.59	0.15 (RH=4.10%)	0.00
4-5:	0.25	0.13 (RH=53.35%)	0.00
Ulkopinta:	0.18	0.13 (RH=73.47%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite 4. Uusi ulkoseinä 3 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)



Liite 5. Uusi ulkoseinä 4 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

1(4)

U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.247 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	6.158 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.203 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.161 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.010 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.171 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.17 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K

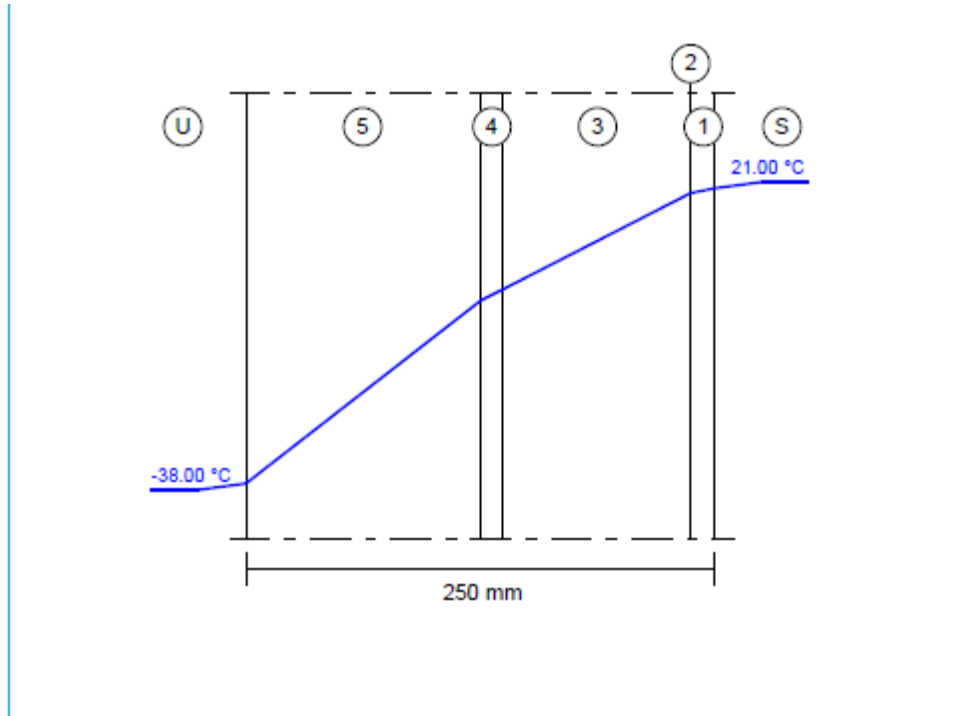
TARKASTELUHETKETI-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Liite 5. Uusi ulkoseinä 4 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

2(4)

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (116,8 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	499.717 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	445.527 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	409.046 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	320.316 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	228.878 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	113.161 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	97.420 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	131.165 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	204.457 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	305.905 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	394.432 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	455.996 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	3606.020 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.79
1-2:	18.93
2-3:	18.93
3-4:	0.37
4-5:	-1.65
Ulkopinta:	-36.79
Ulkotila:	-38.00



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

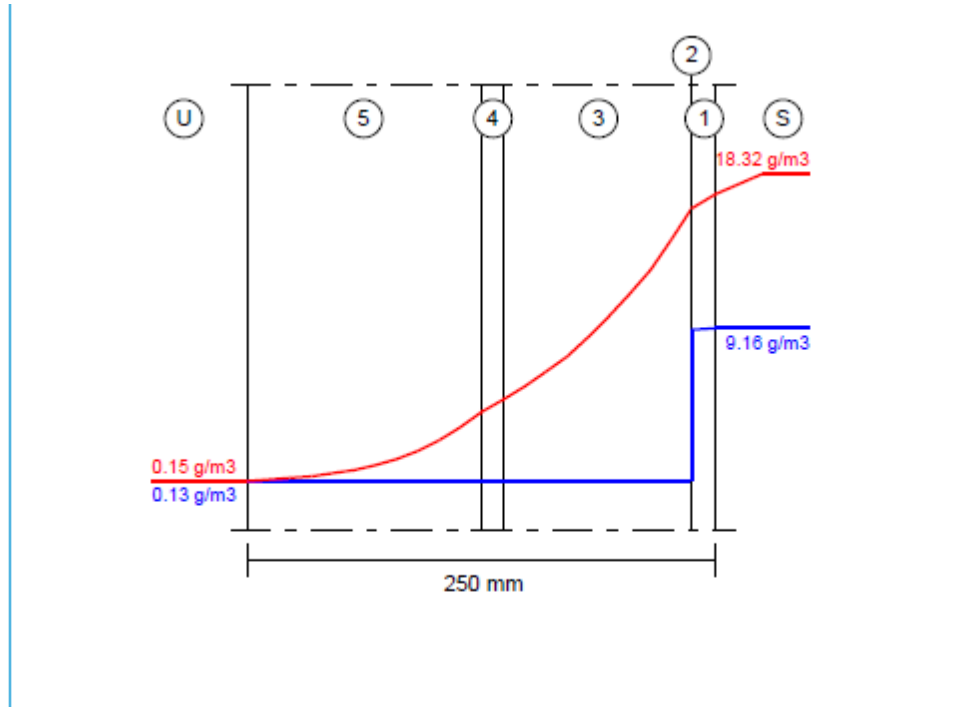
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.08	9.16 (RH=53.64%)	0.00
1-2:	16.24	9.10 (RH=56.07%)	0.00
2-3:	16.23	0.16 (RH=1.00%)	0.00
3-4:	4.97	0.15 (RH=2.93%)	0.00
4-5:	4.25	0.14 (RH=3.37%)	0.00
Ulkopinta:	0.17	0.13 (RH=79.07%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensatio)

Liite 5. Uusi ulkoseinä 4 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)



U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläliikiarvo:	6.294 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo:	6.041 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.167 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.162 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.010 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.172 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.17 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K

TARKASTELUHETKET/JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Liite 6. Uusi ulkoseinä 5 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

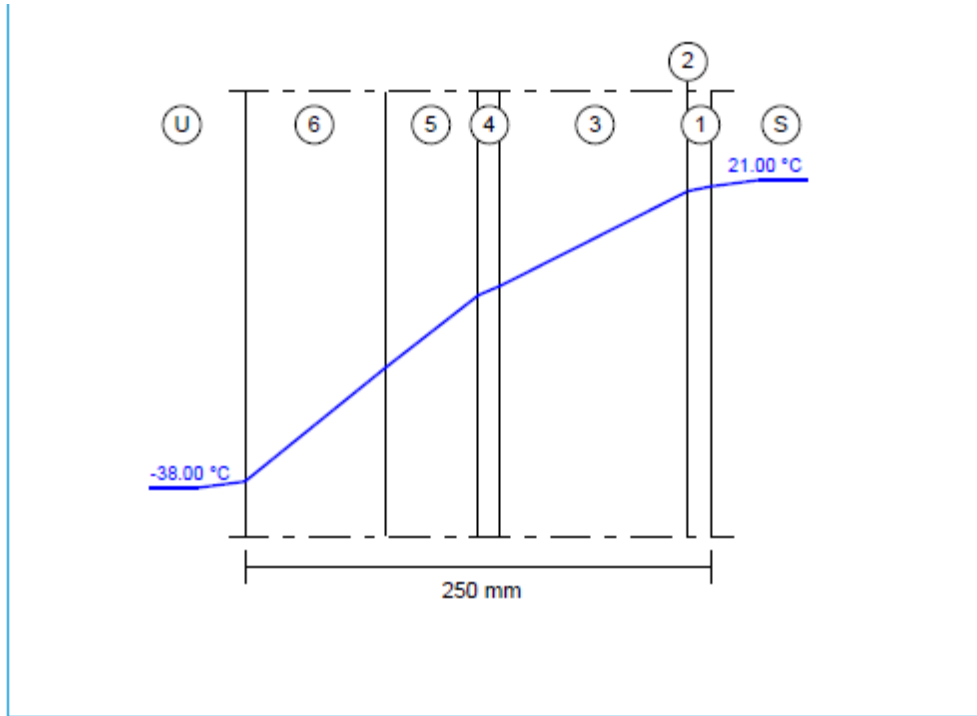
2(4)

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (116,8 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	499.717 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	445.527 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	409.046 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	320.316 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	228.878 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	113.161 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	97.420 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	131.165 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	204.457 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	305.905 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	394.432 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	455.996 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	3606.020 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.82
1-2:	18.98
2-3:	18.97
3-4:	0.84
4-5:	-1.14
5-6:	-14.88
Ulkopinta:	-36.82
Ulkotila:	-38.00

Liite 6. Uusi ulkoseinä 5 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

3(4)



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

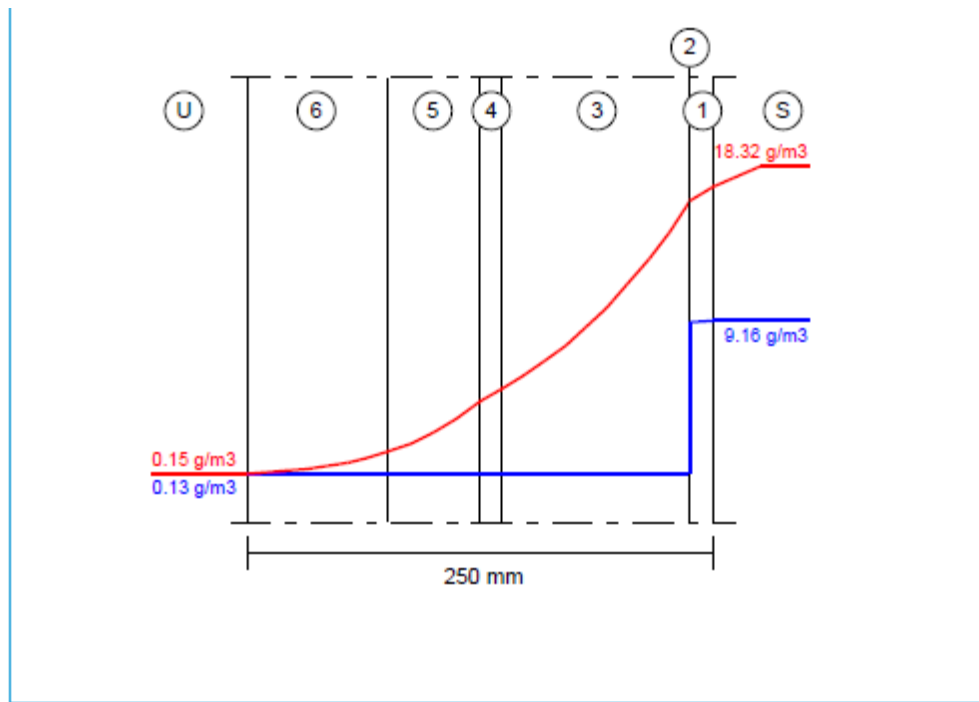
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m3):	KM (g/m3):	Kond. (g/m2):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.11	9.16 (RH=53.56%)	0.00
1-2:	16.28	9.10 (RH=55.92%)	0.00
2-3:	16.27	0.17 (RH=1.07%)	0.00
3-4:	5.13	0.16 (RH=3.07%)	0.00
4-5:	4.43	0.16 (RH=3.51%)	0.00
5-6:	1.40	0.15 (RH=10.52%)	0.00
Ulkopinta:	0.17	0.13 (RH=79.30%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite 6. Uusi ulkoseinä 5 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)

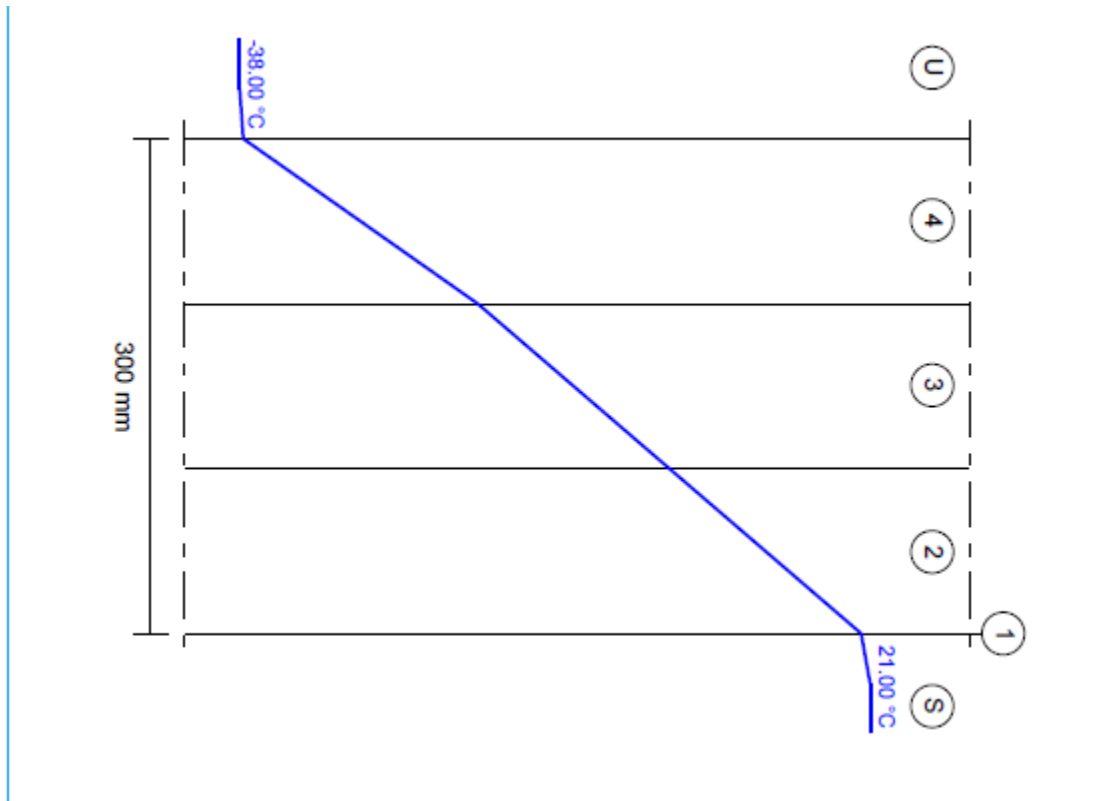


U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.426 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:	6.291 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.358 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.157 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.010 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.167 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.17 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.09 W/m2K

TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T,ulko (C):	T,sisä (C):	RH,ulko (%):	RH,sisä (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (160 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	689.265 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	614.520 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	564.202 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	441.815 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	315.694 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	156.084 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	134.372 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	180.917 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	282.010 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	421.937 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	544.044 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	628.960 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	4973.820 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	20.10
1-2:	20.10
2-3:	2.16
3-4:	-15.77
Ulkopinta:	-37.64
Ulkotila:	-38.00



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

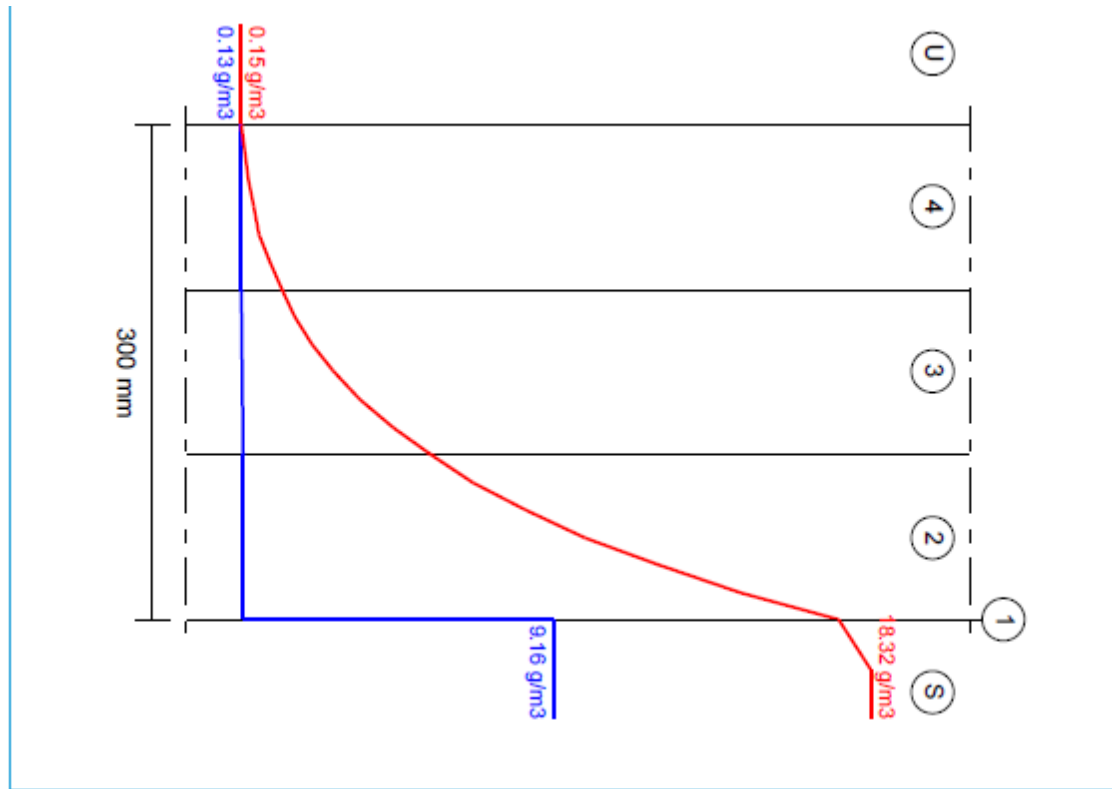
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.39	9.16 (RH=52.68%)	0.00
1-2:	17.38	0.18 (RH=1.02%)	0.00
2-3:	5.62	0.16 (RH=2.90%)	0.00
3-4:	1.29	0.15 (RH=11.26%)	0.00
Ulkopinta:	0.15	0.13 (RH=86.59%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite7. Nykyisen yläpohjan DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)



Liite 8. Uusi yläpohja 1 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

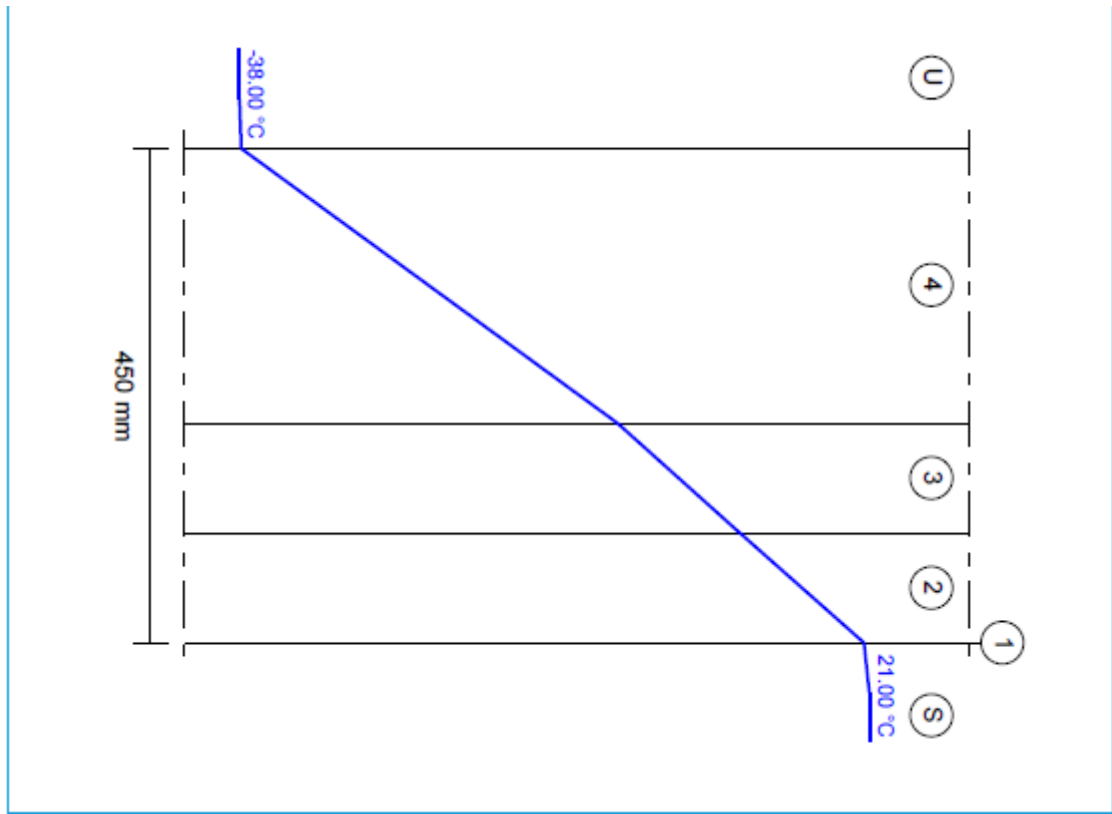
1(4)

U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	10.094 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:	9.950 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	10.022 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.100 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.010 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.110 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.11 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.09 W/m2K

TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (160 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	445.995 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	397.630 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	365.072 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	285.880 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	204.273 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	100.996 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	86.947 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	117.064 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	182.477 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	273.018 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	352.028 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	406.974 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	3218.354 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	20.42
1-2:	20.42
2-3:	8.89
3-4:	-2.63
Ulkopinta:	-37.77
Ulkotila:	-38.00



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

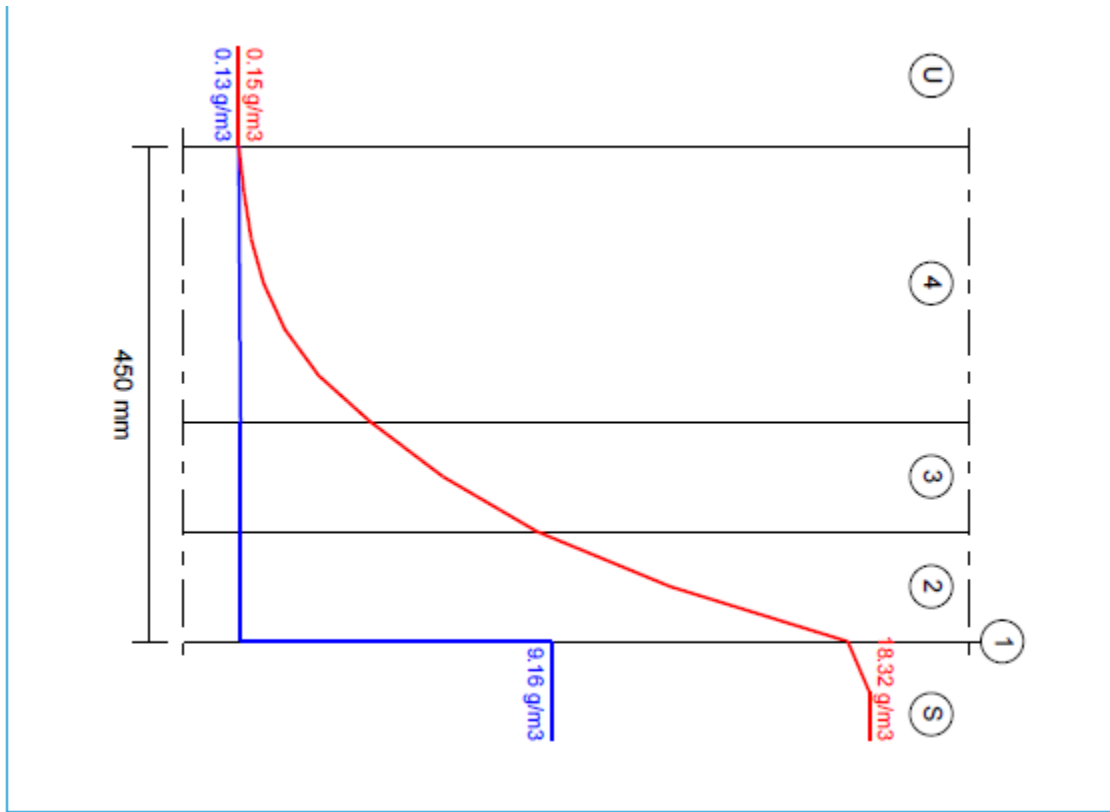
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.72	9.16 (RH=51.70%)	0.00
1-2:	17.71	0.20 (RH=1.12%)	0.00
2-3:	8.76	0.18 (RH=2.11%)	0.00
3-4:	3.93	0.17 (RH=4.24%)	0.00
Ulkopinta:	0.15	0.13 (RH=87.79%)	0.00
Ulkotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite 8. Uusi yläpohja 1 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)

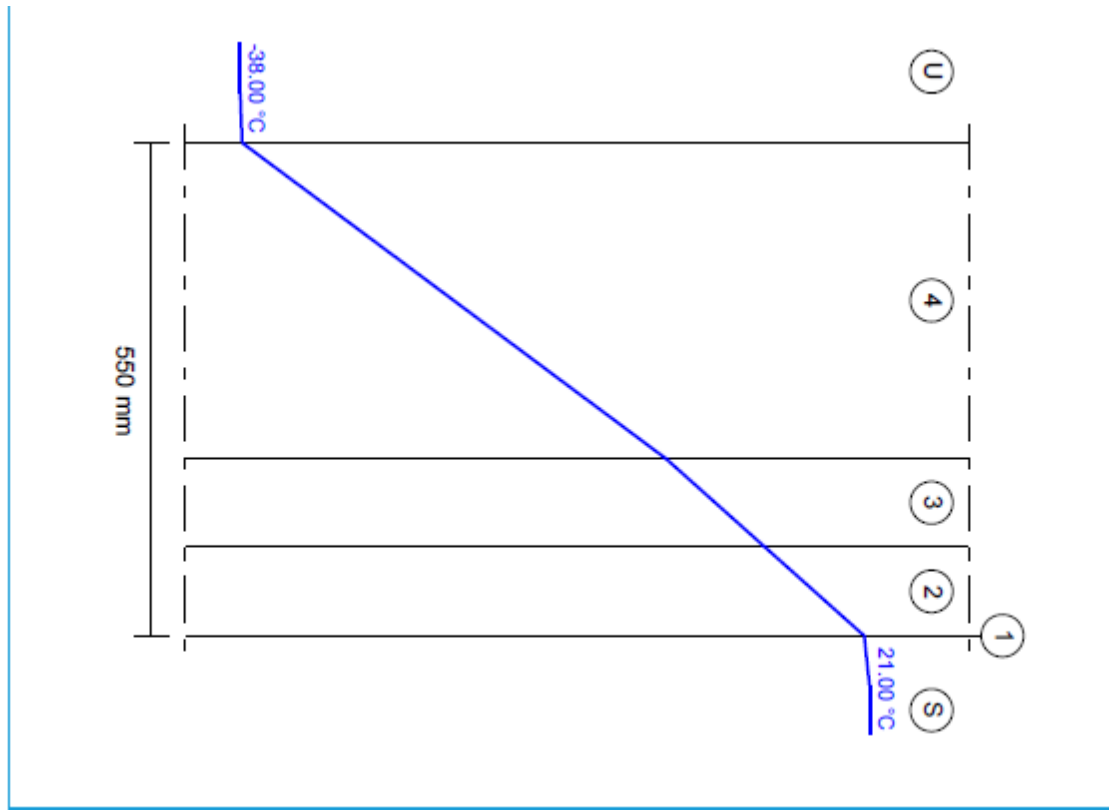


U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	12.536 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	12.389 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	12.462 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.080 W/m2K
Laskettu/annettu korjausermi:	0.010 W/m2K
U-arvo (korjausermi huomioiden):	0.090 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.09 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.09 W/m2K

TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T,ulko (C):	T,sisä (C):	RH,ulko (%):	RH,sisä (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 4, Mitoitustilanne	-38.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 4, Tammikuu	-13.06	21	85	50	744
Vyöhyke 4, Helmikuu	-12.62	21	84	50	672
Vyöhyke 4, Maaliskuu	-6.88	21	80	50	744
Vyöhyke 4, Huhtikuu	-1.56	21	72	50	720
Vyöhyke 4, Toukokuu	5.40	21	66	50	744
Vyöhyke 4, Kesäkuu	13.03	21	65	50	720
Vyöhyke 4, Heinäkuu	14.36	21	69	50	744
Vyöhyke 4, Elokuu	12.06	21	77	50	744
Vyöhyke 4, Syyskuu	6.60	21	84	50	720
Vyöhyke 4, Lokakuu	0.15	21	87	50	744
Vyöhyke 4, Marraskuu	-6.78	21	89	50	720
Vyöhyke 4, Joulukuu	-10.08	21	86	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (160 m ² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 4, Tammikuu	364.905 kWh
Vyöhyke 4, Helmikuu	325.334 kWh
Vyöhyke 4, Maaliskuu	298.695 kWh
Vyöhyke 4, Huhtikuu	233.902 kWh
Vyöhyke 4, Toukokuu	167.132 kWh
Vyöhyke 4, Kesäkuu	82.633 kWh
Vyöhyke 4, Heinäkuu	71.138 kWh
Vyöhyke 4, Elokuu	95.780 kWh
Vyöhyke 4, Syyskuu	149.299 kWh
Vyöhyke 4, Lokakuu	223.379 kWh
Vyöhyke 4, Marraskuu	288.023 kWh
Vyöhyke 4, Joulukuu	332.979 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	2633.199 kWh

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA	
Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 4, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	20.53
1-2:	20.53
2-3:	11.22
3-4:	1.91
Ulkopinta:	-37.81
Ulkotila:	-38.00



KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

Vyöhyke 4, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m3):	KM (g/m3):	Kond. (g/m2):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.83	9.16 (RH=51.37%)	0.00
1-2:	17.83	0.21 (RH=1.19%)	0.00
2-3:	10.15	0.20 (RH=1.96%)	0.00
3-4:	5.53	0.18 (RH=3.27%)	0.00
Ulkopinta:	0.15	0.13 (RH=88.21%)	0.00
Ukotila:	0.15	0.13 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)

Liite 9. Uusi yläpohja 2 DOF-Lämpö-ohjelmalla saadut tulokset

4(4)

