

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Jaakko Mehtonen

VIIVAMAISET KYLMÄSILLAT CLT-RAKENTEISEN KERROSTA-
LON SISÄÄNVEDETYISSÄ PARVEKKEISSA

Opinnäytetyö
Tammikuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
013 260600

Tekijä
Jaakko Mehtonen

Nimeke
Viivamaiset kylmäsilat CLT-rakenteisen kerrostalon sisäänvedetyissä parvekkeissa
Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin CLT-rakenteisen kerrostalon sisäänvedettyä parvekettä, jonka ympäröivät rakenteet voivat muodostaa kylmäsiltoja. Tämä 6-kerroksinen kerrostalo sijaitsee Joensuun Penttilässä ja valmistui vuonna 2017. Rakennus valittiin tutkimuksen kohteeksi, sillä kylmän ja lämpimän tilan läpi kulkee yhtenäinen rakenne, mikä monesti luokitellaan riskirakenteeksi. Parvekkeen lisäksi tutkimukseen otettiin mukaan myös muita rakenteita, jotka voivat osoittautua ongelmakohteiksi.

Tutkimus tehtiin opinnäytetyön tekohetkellä valmisteilla olevasta kohteesta, jonka rakennepiirustukset sekä energialaskelmat saatiin projektissa mukana olleelta henkilöltä. Rakenteet mallinnettiin AutoCAD-ohjelmistolla ja lämpöliikkeen laskelmat Comsol 5.2 -ohjelmistoa käyttäen. Tulokset ovat niin tarkkoja kuin saatavilla olevasta materiaalista oli mahdollista.

Saatujen tuloksien mukaan CLT-elementin käyttö osoittautui hyväksi vaihtoehdoksi lämpimän ja kylmän tilan yhdistävänä rakenteena. Puun luonnolliset ominaisuudet mahdollistivat sen, ettei lisäeristystä tarvita ja kylmäsiltojen vaikutus osoittautui merkityksettömän pieneksi. Opinnäytetyössä ei oteta juurikaan huomiota puun elämisen vaikutuksiin, mitkä vaatisivat lisätutkimuksia.

Kieli
suomi

Sivuja 31
Liitteet 1
Liitteiden sivut 3

Avainsanat

Kylmäsilta, CLT, sisäänvedetty, parveke, lämpöliike, puu, elementti, lisäkonduktanssi



THESIS
January 2018
Degree Programme in structural engineering
Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
013 260600

Author
Jaakko Mehtonen Karelia University of Applied Sciences

Title
Linear thermal bridges in the recessed balcony of a CLT-structured apartment building
Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The target of this thesis is a retracted balcony of a CLT-structured apartment building and its surrounding structures which may form thermal bridges. This six-storey apartment building is in Penttilä, Joensuu and the construction was completed in 2017. The building is selected for the study because there is a unified structure that is connecting cold and warm areas. In addition to the balcony, a few other structures were chosen for the research for they can also prove to be problematic.

At the time of making this thesis, the building was also being made. All the material for the research were received from a person who was involved in the designing of the building. The structures were modeled using AutoCAD and the calculations for thermal activity were made with Comsol 5.2 -software. The results are as accurate as it's possible with the given material.

The results confirmed that using CLT-elements as a structure connecting cold and warm areas is a well working option. There was no need for additional insulation because of the natural thermal resistance of wood and the effect of the thermal bridges was insignificantly small. The effects of the wood swelling or shrinking are not considered, for it would require another, more extensive, research.

Language Finnish	Pages 31 Appendices 1 Pages of Appendices 3
----------------------------	--

Keywords
Thermal, bridge, cross, laminated, timber, element, recessed, balcony, wood, conductance

Sisällys

1	Johdanto.....	5
2	Tutkimuksen tavoitteet	6
3	Termodynaamisten ominaisuuksien määritelmät	6
3.1	Johtumislämpöhäviö	6
3.2	Lämmönläpäisykerroin	8
3.3	Kylmäsilat	9
3.4	Lisäkonduktanssi	12
3.5	Viivamaisen lisäkonduktanssin määrittely	12
4	CLT	13
5	Tutkittavat rakenteet.....	14
5.1	Välipohja.....	15
5.2	Kantava väliseinä	18
5.3	Ulkoseinä.....	21
6	Rakenteiden mallintaminen	22
6.1	Välipohjan ja ulkoseinän välisen liitoksen mallinnus.....	23
6.2	Kantavan väliseinän mallinnus	24
6.3	Ulkoseinän mallinnus.....	26
7	Tulokset.....	27
7.1	Ulkoseinän johtumislämpöhäviö	27
7.2	Kantavan väliseinän muodostama kylmäsilta	28
7.3	Välipohjan muodostama kylmäsilta	29
8	Pohdinta	29
	Lähteet.....	31

Liitteet

Liite 1 Rakennuksen energiasimulointi

1 Johdanto

Jatkuvasti tiukemmat vaatimukset rakennusten energiatehokkuudelle asettavat uusia haasteita rakentamiselle. Rakennuksista halutaan mahdollisimman vähän energiaa kuluttavia ja samalla niiden kustannustehokkuuden täytyy pysyä hyvänä. Tällä hetkellä teräsbetoni on hallitsevassa asemassa Suomen rakennusteollisuudessa, varsinkin isojen rakennusten kohdalla. Sen ominaisuudet tunnetaan hyvin, ja pitkän kokemuksen ja kehitystyön kautta rakentamiseen käytetty aika on saatu suhteellisen pieneksi. Betonissa on sen suuresta suosiosta huolimatta monia ongelmia, muun muassa kuivumisaikojen ja sen muokkauksen hankaluudessa. Tämän vuoksi betonin rinnalle yritetään tuoda varteenotettavaa kilpailijaa myös kerrostalo- ja hallirakentamisessa.

CLT eli Cross laminated timber on 1990-luvulla kehitetty massiivipuulementtirakenne. Sen käyttö on Suomessa vielä vähäistä, mutta Keski-Euroopassa ja Kanadassa CLT:stä rakentaminen on yleisempää. Tämä ratkaisu mahdollistaa suurten puuelementtien valmistuksen ja antaa vaihtoehdon betonielementeille.

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen aiheena ovat kerrostalon sisäänvedetyn parvekkeen rakenteet. Mallina käytetään CLT-rakenteista kerrostaloa, joka valmistui Joensuuhun vuonna 2017. Tavoite oli selvittää rakenneratkaisujen vaikutus asumisviihtyvyyteen ja energian kulutukseen sekä mahdolliset riskirakenteet.

Rakenteet mallinnetaan AutoCad 2016 -ohjelmistolla, josta mallit syötetään lämpöliikettä laskevaan Comsol Multiphysics 5.2 -ohjelmistoon. Saatujen tulosten pohjalta arvioidaan kyseisen parvekeratkaisun mahdollisia riskirakenteita, kylmäsiltojen muodostumista sekä kosteuden tiivistymisen mahdollisuutta rakenteiden pinnoille.

2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkittavat rakenteet ovat epätavanomaiset aiempaan rakentamiseen verrattuna, joten niiden tarkemmalla tutkimuksella saadaan paremmin selville, kuinka ne käyttäytyvät Suomen talviolosuhteissa. Rakenteiden tutkiminen energiasäädösten tiukentuessa on ensiarvoisen tärkeää, jottei rakennuksiin jää huomioimattomia kylmäsiltoja, jotka vaikuttaisivat rakennuksen energiankulutukseen. Huomaamatta jääneet kylmäsiltoja voivat myös aiheuttaa vaurioita rakenteisiin halkeamien tai kosteuden tiivistymisen muodossa.

Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa kyseisen kerrostalon kriittiset lämpövuotokohdat ja riskirakenteet. Alkuperäisessä energiaselvityksessä kylmäsiltojen on arvioitu olevan niin pieniä, ettei niillä ole merkittävästi vaikutusta rakennukseen. Rakennusratkaisut ovat niin uusia, ettei perustavaa tutkimusta ole tehty. Mikäli rakenteista löytyy merkittäviä kylmäsiltoja, tulisi nämä kohdat korjata kohteessa, ja ottaa tulevaisuudessa huomioon. Jos alkuperäiset arviot kylmäsiltojen merkittävyydestä pitävät paikkaansa, voidaan tämän tutkimuksen avulla osoittaa niiden paikkansapitävyys.

Tutkimuksessa keskitytään rakenteiden läpi kulkevan lämpövirran suuruuteen ja sen vaikutuksiin arvioiduissa ongelmakohtissa. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, kuinka hyvin yksinkertainen ja kevyt CLT-parvekerakenne toimii ja missä mahdolliset ongelmakohdat sijaitsevat.

3 Termodynaamisten ominaisuuksien määritelmät

3.1 Johtumislämpöhäviö

Termodynamiikan nollannen lain mukaan kappale pyrkii tasapainolämpötilaan ympäristön kanssa. Lämpö siirtyy kappaleessa jatkuvasti pyrkien tasapainotilaan ja lämmön kulkusuunta on aina lämpimämmästä kylmempään. Siirtyminen voi tapahtua kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla, eli kuljetuksen avulla. Kylmäsiltojen osalta kyseessä on johtuminen.

Jokaiselle materiaalille on määritetty oma lämmönjohtavuus (W/mK), joka ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen. Lämmönjohtavuuden arvo on sitä suurempi, mitä tiheämpi aine on, sillä tiheässä aineessa lämmön johtuminen molekyylistä toiseen on helpompaa molekyylien pienen etäisyyden vuoksi. Tähän ilmiöön perustuu eristeenä käytettävän huokoisen villan toimivuus. Rakennusmääräyskokoelmassa C4 on lueteltu yleisimpien rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuksia. [1.]

Johtumislämpöhäviön laskennassa on otettava huomioon kaikki rakennuksessa käytettävät materiaalit ja niiden lämmönjohtavuudet. Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi lasketaan rakennusosittain kaavalla 1. [2 s. 15.]

$$Q_{joht} + Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{muu} + Q_{kylmäsilat} \quad (1)$$

missä

Q_{joht}	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, [kWh]
$Q_{ulkoseinä}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, [kWh]
$Q_{yläpohja}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, [kWh]
$Q_{alapohja}$	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, [kWh]
Q_{ikkuna}	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, [kWh]
Q_{ovi}	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, [kWh]
Q_{muu}	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, [kWh]
$Q_{kylmäsilat}$	kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, [kWh].

Ulkoilmaan rajoittuvat rakenneosat lasketaan kaavalla 2 [2 s.16].

$$Q_{rakosa} = \sum \frac{U_i A_i (T_s + T_u) \Delta t}{1000} \quad (2)$$

missä

Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, [kWh]
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, [W/(m ² K)]
A_i	rakennusosan i pinta-ala, [m ²]
T_s	sisäilman lämpötila, [°C]
T_u	ulkoilman lämpötila, [°C]
Δt	ajanjakson pituus, [h]
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

3.2 Lämmönläpäisykerroin

Rakenteen lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo, lasketaan rakennusaineen paksuuden, lämmönjohtavuuden sekä sisä- ja ulkopuolisten pintavastuksien avulla. Lämmönjohtavuuden arvoina voidaan käyttää EN-standardien mukaan määritettyjä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja (λ_n). [1, s. 4.]

U-arvon suuruus kertoo, kuinka hyvin lämpö pääsee virtaamaan rakenteen läpi eli mitä pienempi U-arvo on, sitä paremmin rakenne eristää lämpöä. U-arvo lasketaan rakennusosan kokonaislämmönvastuksen avulla kaavalla 3. [1, s. 5.]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

missä

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

Rakennusosan kokonaislämmönvastus lasketaan kaikkien rakenteessa olevien ainekerrosten lämmönvastuksen ja pintavastuksien summana kaavan (4) avulla

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (4)$$

missä

R_T	rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön, [$\text{m}^2\text{K/W}$]
R_{si}	sisäpuolinen pintavastus, [$\text{m}^2\text{K/W}$]
$R_1 + R_2 + \dots + R_n$	rakenteessa olevien ainekerroksien lämmönvastusten summa, [$\text{m}^2\text{K/W}$]
R_{se}	ulkopuolinen pintavastus, [$\text{m}^2\text{K/W}$]

Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus lasketaan ainekerroksen paksuuden ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon avulla kaavan (5) mukaan

$$R = \frac{d}{\lambda_u} \quad (5)$$

missä

R	ainekerroksen pintavastus, [$\text{m}^2\text{K/W}$]
d	ainekerroksen paksuus, [m]
λ_u	aineen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, [W/mK]

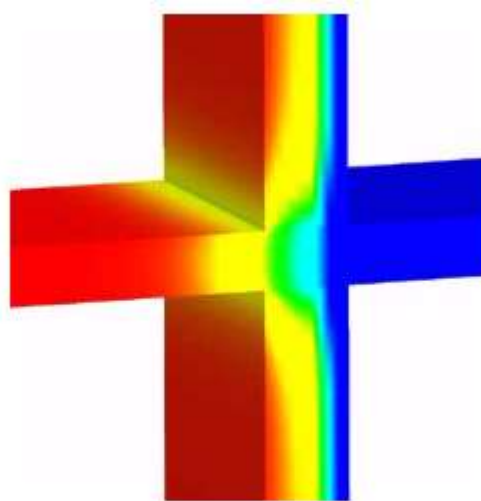
3.3 Kylmäsillat

Kylmäsilloja muodostuu rakenteisiin paikallisesti kohdissa, joissa syntyy suuri lämpöhäviö. Tämä ilmiö jaetaan kahteen eri luokkaan, geometrisiin kylmäsilloihin, ja materiaalista johtuviin kylmäsilloihin. Geometrinen kylmäsilta johtuu rakenteen epätasaisesta muodosta, esimerkiksi nurkkien vaikutuksesta, ja materiaalista johtuva kylmäsilta syntyy, kun rakenteessa käytetään materiaaleja, joilla on suuri lämmönjohtavuus. [3.]

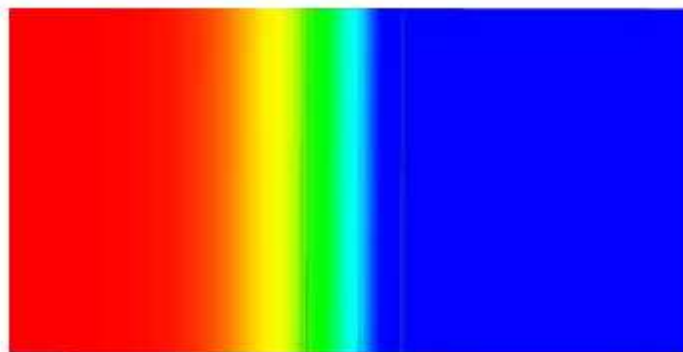
Kylmäsillojen kohdalla rakenteen paikallinen lämpötila on ympäröivään rakenteeseen verrattuna poikkeava. Lämpötilaero voi johtaa rakennuksen sisällä lämmitysenergiatarpeen lisäykseen ja pahimmassa tapauksessa kosteuden tiivistymiseen rakenteen sisäpintaan tai syvemmälle rakenteeseen. Kylmäsillan ulottuessa

höyrynsulun rajapintaan saakka kosteuden tiivistyminen ja sitä kautta aiheutuva mikrobikasvuston leviäminen sisäpuolisiin rakenteisiin on mahdollista. [1, s. 5.]

Viivamaiset kylmäsilat ovat poikkeamia rakennuksen ulkovaipassa, josta lämpö pääsee kulkemaan tehokkaammin kuin ympäröivästä rakenteesta. Viivamainen kylmäsilta muodostuu rakenneosien välille liitoskohtiin tyypillisesti nurkkiin, ulkoseinien liitoksiin ala- ja yläpohjassa sekä ikkunanpieliin. Kuvassa 1 on kuvattu tilannetta, johon parvekkeen ja ulkoseinän liitokseen muodostuu viivamainen kylmäsilta, jonka vaikutus ulottuu rakennuksen lämpimälle puolelle. Kylmäsiltaa kutsutaan viivamaiseksi, kun sen aiheuttama lämpöhäviö on sama koko liitoksen pituudella (kuva 2). [4, s. 6; 5, s. 9.]

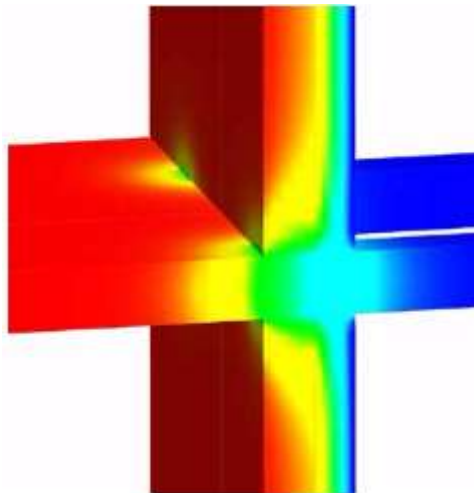


Kuva 1. Parvekelaatan ja ulkoseinän väliin muodostuva viivamainen kylmäsilta, jonka vaikutus ulottuu rakennuksen lämpimälle puolelle. Kuvassa punainen väri kuvastaa lämmintä, ja sininen kylmää puolta.

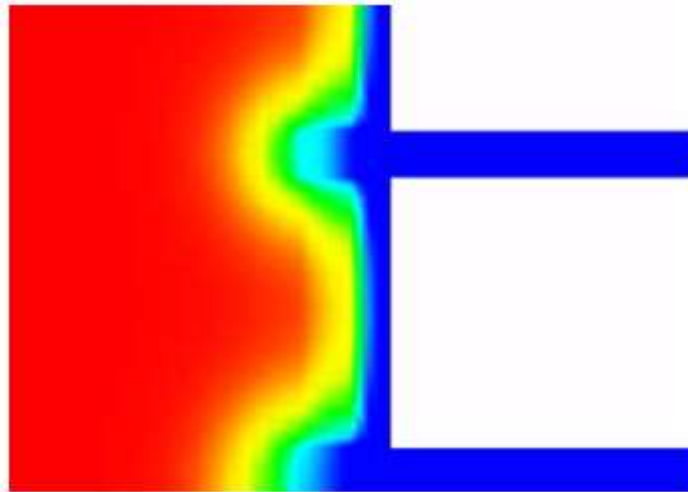


Kuva 2. Kuvan 1 liitos ylhäältäpäin kuvattuna. Kuvasta näkee, kuinka lämpöhäviön suuruus jatkuu samanlaisena koko liitoksen pituudelta.

Pistemäinen kylmäsilta on rakenteessa paikallinen, esimerkiksi metallinen jäykiste tai side, ja sillä ei ole rakenteen pinnan suunnassa jatkuvaa samanlaisena pysyvää poikkileikkausta [4 s. 6]. Kuvassa 3 on lämpömallinnettu esimerkki pistemäisestä kylmäsilta. Viivamaiseen kylmäsiltaan verrattuna kyseinen kylmäsilta vaikuttaa vain teräspalkkien kohdalta, eikä koko liitoksen pituudelta. Saman liitoksen lämpöhäviön pistemäisyyden näkee selvästi ylhäältäpäin katsotussa kuvassa 4 [5 s. 9].



Kuva 3. Parvekeliitoksen aiheuttama pistemäinen kylmäsilta. Tässä tapauksessa liitos on tehty ulkoseinään kiinnitettävien teräspalkkien avulla.



Kuva 4. Kuvan 3 liitoksen poikkileikkaus ylhäältäpäin kuvattuna. Kuvasta näkyy pistemäisen kylmäsilan luonne eli se ei ole samanlainen läpi rakenteen vaan johdetaan selvästi kahdesta ulkoseinään kiinnitetystä palkista.

3.4 Lisäkonduktanssi

Kylmäsilat aiheuttavat rakenteelle lisäkonduktanssin, eli lisäyksen rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen [4 s. 6]. Tämä aiheuttaa rakennuksen sisällä lämpöhäviön, joka heikentää rakennuksen energiatehokkuutta. Lisäkonduktanssi voi olla joko pistemäinen tai viivamainen.

Yksinkertaisemmin termein lisäkonduktanssi on arvo, joka ilmoittaa kuinka paljon enemmän rakenteen läpi lämpöä kulkee. Arvon ollessa suuri, lämpöä kulkee enemmän kyseessä olevalla alueella.

3.5 Viivamaisen lisäkonduktanssin määrittäminen

Viivamaiselle lisäkonduktanssille on olemassa ympäristöministeriön määräämät ohjearvot, joita voi käyttää laskettaessa tilojen lämmitysenergian nettotarvetta. Nämä arvot ovat kuitenkin vain suuntaa antavia ja tarkkuudet on standardissa SFS-EN ISO 14683 esitetty välille 0-50 %. Ohjeelliset arvot on luotu rakennuksen

kokonaisenergiankulutuksen laskemisen helpottamiseksi. Numeerisella laskennalla voidaan päästä ± 5 %:n tarkkuuteen. [3 s. 11.]

Tietyn kylmäsillan aiheuttaman lisäkonduktanssin arvon numeeriseen laskentaan vaaditaan aina elementtimenetelmää (finite element method eli FEM) tai muuta vastaavaa tietokonelaskelmaa [5 s. 8]. Rakennusten yksityiskohtaista lisäkonduktanssien laskentaa ei yleensä tehdä, vaan energiatarpeen laskennassa käytetään ympäristöministeriön määrittämiä ohjearvoja. Menetelmän valinnassa on syytä ottaa huomioon kylmäsilloista johtuvan lämpöhäviön osuus rakennuksessa tai huonetilassa. [4 s. 11.]

4 CLT

CLT-levyt ovat massiivipuulevyjä, jotka valmistetaan ristikkäin liimatuista puulevykerroksista. Kerroksia levyssä voi olla useita, tavallisimmin kolme tai viisi rakenteellisista vaatimuksista riippuen. Jokaisen kerroksen lapheet liimataan ja puristetaan yhtenäiseksi levyksi. Lappeiden lisäksi myös lamellien syrjät voidaan liimata toisiinsa, mikä vaatii myös syrjän suuntaisen puristuksen. [6 ; 7 ; 8 ; 9.]

Tällä hetkellä Suomessa on kaksi CLT-elementtejä valmistavaa tehdasta, Kuhmossa sijaitseva CrossLam ja Hoiskossa sijaitseva Hoisko Oy. CrossLamin tehtaalla elementin valmistukseen käytettävät laudat kiinnitetään toisiinsa käyttäen vain lapeliimausta. Hoiskon tehtaalla laudat liimataan myös syrjäpuolelta. [6, 10.]

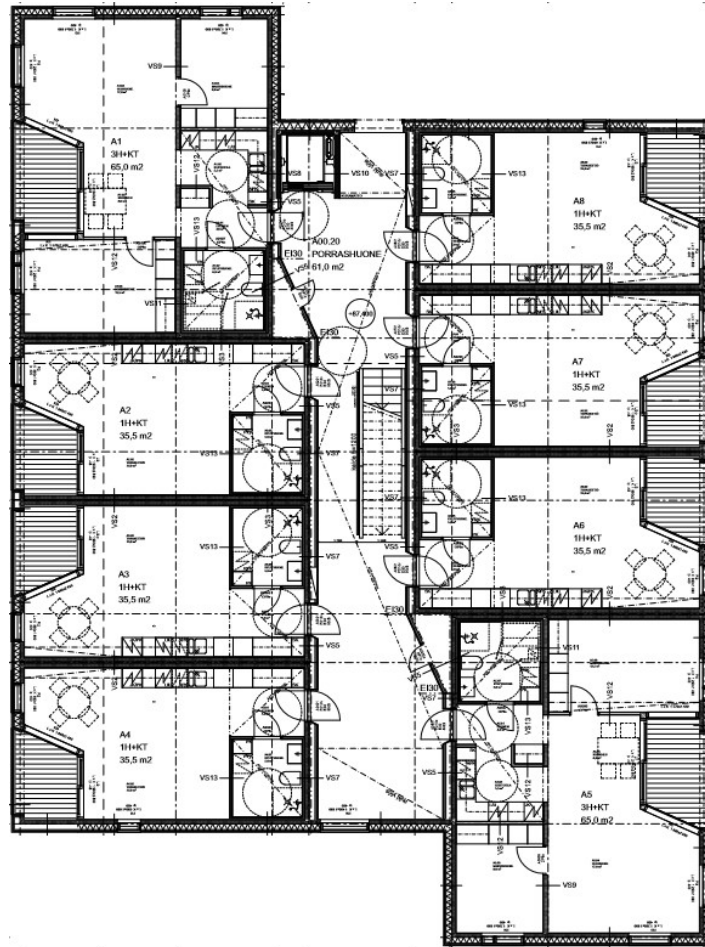
Puun luonnollisten ominaisuuksien vuoksi CLT-elementeistä saadaan erittäin lujia, hyvin paloa kestäviä sekä muihin materiaaleihin verrattuna kevyitä rakennuslevyjä. Tehdasolosuhteista johtuen levyistä rakentaminen on nopea, kuiva sekä mittatarkka (± 1 mm) rakennusmenetelmä. Työmaalla asennus ja työstettävyys on helppoa, eikä betonirakentamisen tapaan työtä keskeyttäviä kuivumisaikoja vaadita. Varsinkin talvirakentamisessa tämä ominaisuus pääsee arvoonsa kun rakennusta ei tarvitse lämmittää jäätymisen estämiseksi. [10.]

CLT sopii käyttötarkoitukseltaan kantavaksi ja jäykistäväksi rakenteeksi niin seinissä kuin välipohjissakin, eikä erillistä höyrynsulkua tarvita. Levy voidaan pinnoittaa sekä sisä- että ulkopuolelta, mutta ainoastaan ulkopuolella pinnoitus on pakollinen.

5 Tutkittavat rakenteet

Tutkimukseen valitut rakenteet ovat poikkeuksellisia perinteiseen rakentamiseen verrattuna, sillä ne jatkuvat yhtenäisenä rakennuksen sisäpuolelta ulkopuolelle. Tämä rakenneratkaisu on yksinkertaisempi erilliseen runkorakenteeseen verrattuna, ja täten nopeampi ja helpompi toteuttaa. Mikäli kylmäsiltojen osuus rakennuksen vaipan läpi kulkevasta lämpövirrasta osoittautuu suureksi, voi se aiheuttaa rakenteissa odottamattomia vaurioita kuten halkeilu tai kosteuden tiivistyminen rakenteen sisälle.

Kuvassa 5 on esitetty tutkittavan rakennuksen yhden kerroksen pohjapiirros. Tutkittava kohta (asunto A6) rakennuksesta valittiin sillä perusteella, että siinä on parvekelaatan lisäksi väliseinärakenne, joka jatkuu yhtenäisenä rakennuksen sisäpuolelta ulkopuolelle.

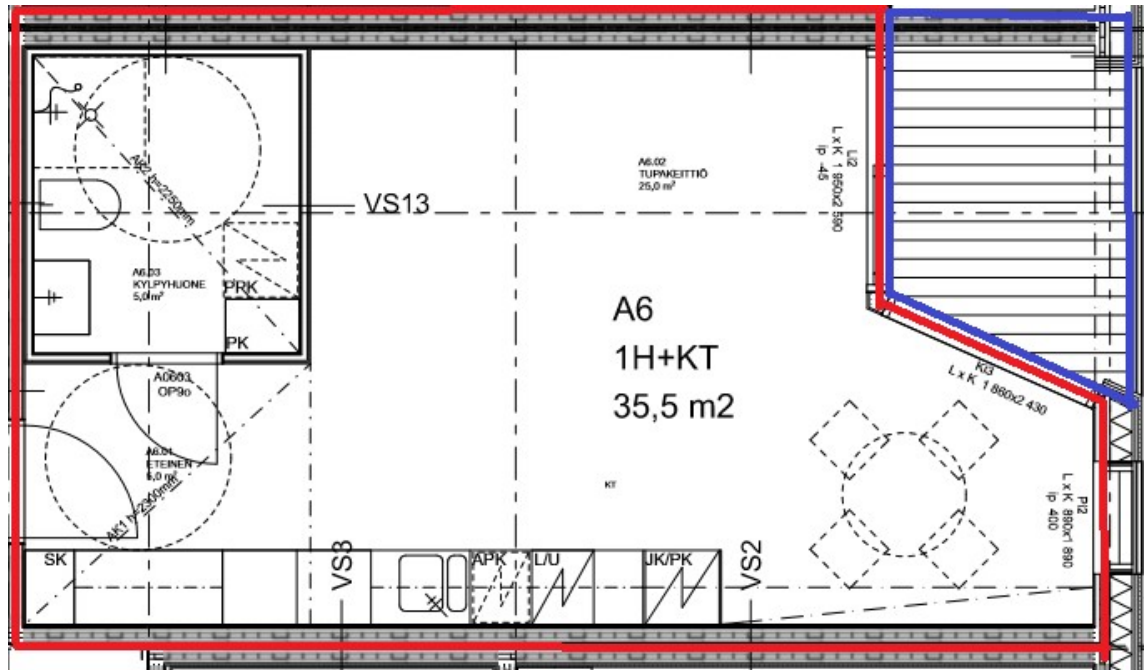


Kuva 5. Tutkittavan kohteen yhden kerroksen pohjapiirros

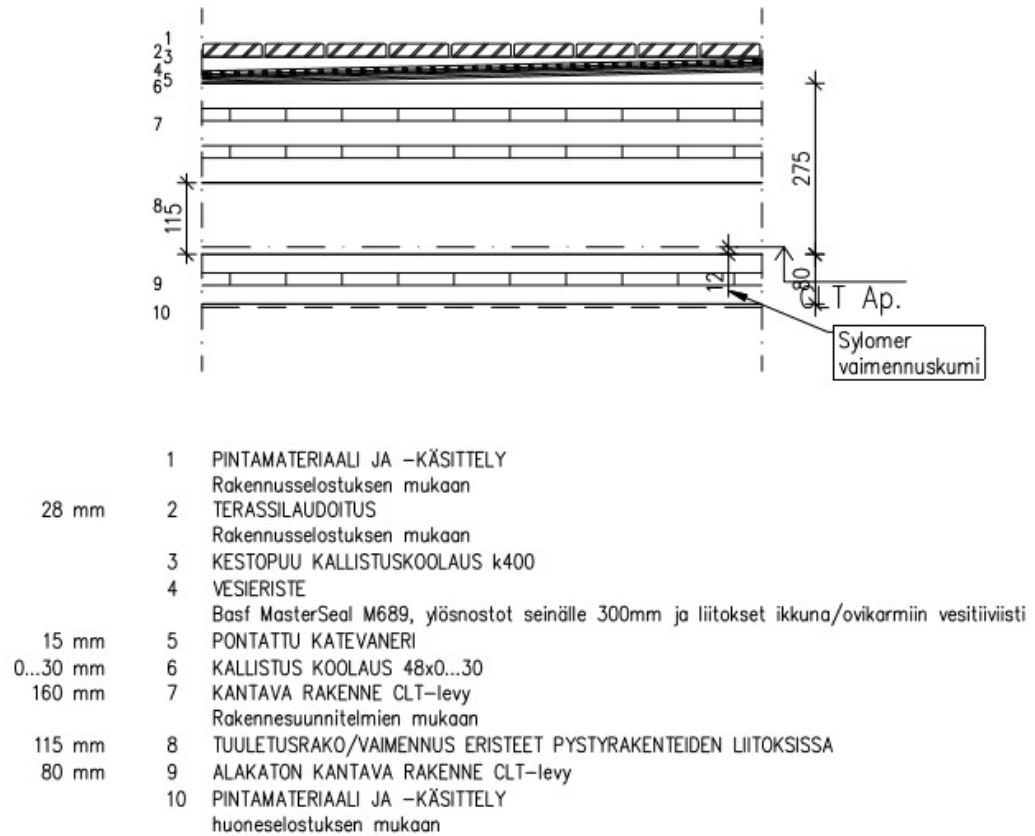
5.1 Välipohja

Rakennuksen välipohja on toteutettu CLT-laatoista, jotka jatkuvat yhtenäisenä huoneiston lämpimästä tilasta parvekkeen kylmään tilaan ja voivat muodostaa täten kylmäsilan seinärakenteeseen (kuva 6). Rakenne muuttuu tilojen välillä vain pintamateriaalin ja eristyksen osalta. Huoneiston kohdalla välipohjaan on laitettu kuituvahvistettu sementtipohjainen tasoite, lattialämmitys, sekä askeleenieriste mineraalivillasta. Välipohjan rakenne sekä huoneiston että parvekkeen kohdalta on havainnollistettu leikkauskuvilla kuvissa 7 ja 8.

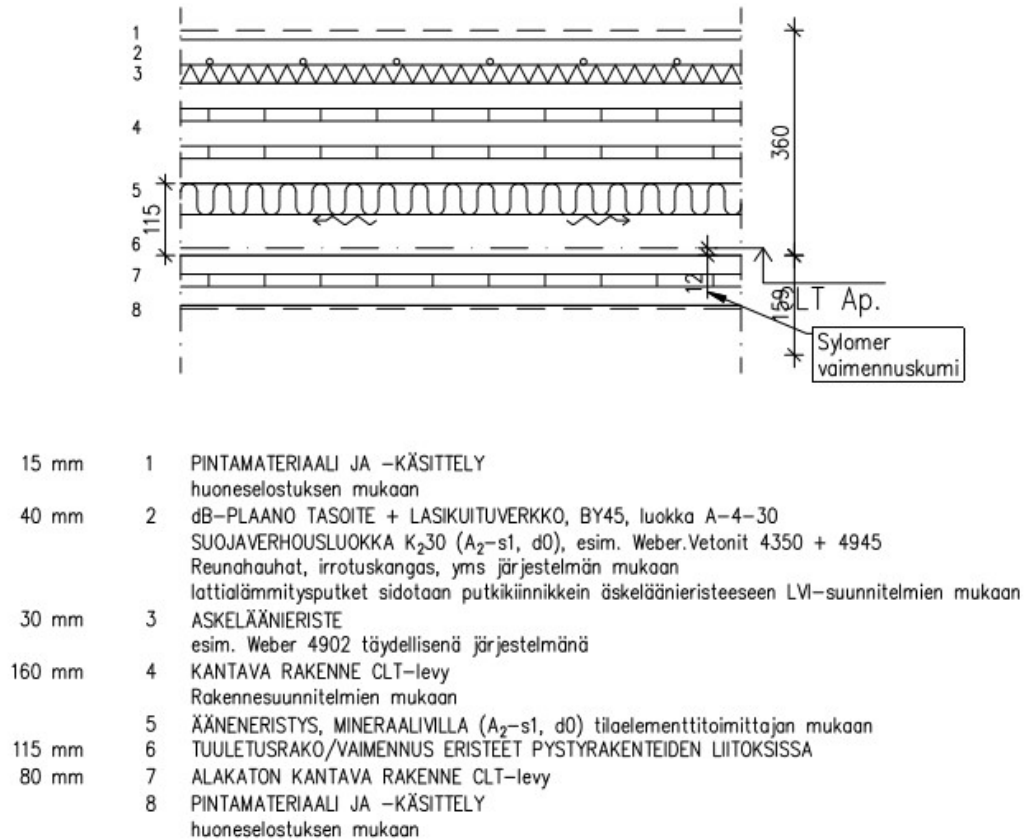
Välipohjan kantava rakenne muodostuu kahdesta erillisestä CLT-laatasta, joista paksumpi (160mm) on lattian, ja ohuempi (80mm) sisäkaton kantava rakenne. Laattojen välissä on ilmarako. Rakenteen kokonaispaksuus on n. 440mm.



Kuva 6. Pohjapiirros kerrostalon huoneistosta. Kuvassa punaisella kehystetty on lämmitetty alue ja sininen alue lämmittämätön parvekkeen alue. Välipohjan kantava rakenne on toteutettu yhtenäisellä CLT-laatalla.



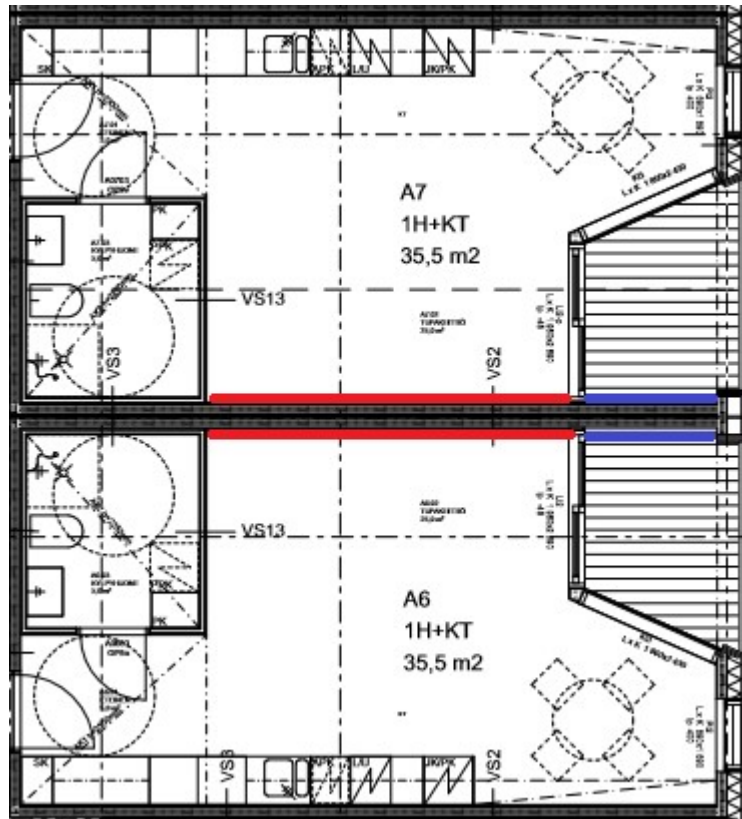
Kuva 7. Välipohjan leikkauskuva parvekkeen kohdalta



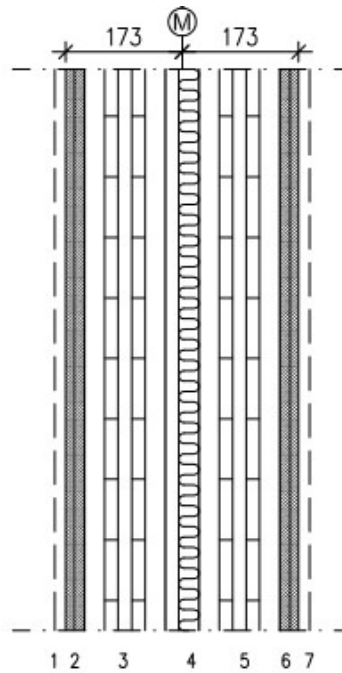
Kuva 8. Välipohjan leikkauskuva huoneiston alueelta

5.2 Kantava väliseinä

Tutkimuksen kohteeksi valittu väliseinä on kahta huoneistoa erottava kantava väliseinä. Seinä jatkuu laatan tavoin yhtenäisenä lämpimältä alueelta kylmälle alueelle ja voi muodostaa välipohjan tavoin kylmäsilan ulkoseinä rakenteeseen (kuva 8). Kantavana rakenteena toimii kaksi CLT-levyä, joiden paksuus riippuu kerroskorkeudesta. Tässä tapauksessa tarkastelussa ovat 4.–6. kerroksissa olevat seinät ja ovat täten paksuudeltaan 100 mm. Piirroksista poiketen parvekkeen puoleisen seinän osion pintamateriaali valmistuneessa kohteessa on paljasta CLT-levyä. Kuvissa 9 ja 10 rakenne on näkyvissä kylmän ja lämpimän tilan osalta tarkemmin leikkauskuvilla.

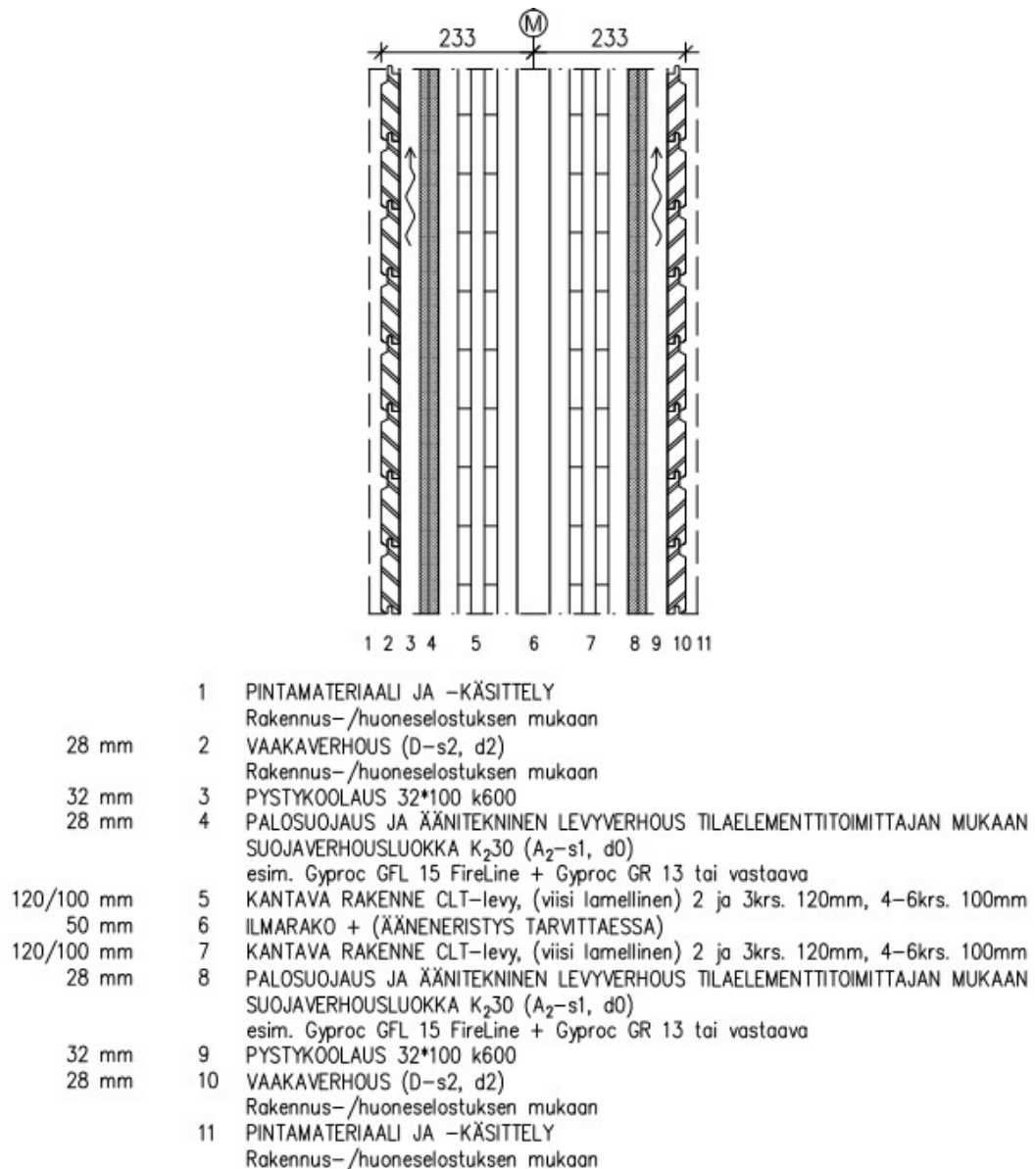


Kuva 9. Pohjapiirros kahdesta huoneistosta. Punaisella kehystetty väliseinän osio on lämmintä aluetta ja sinisellä kehystetty osio parvekkeen puoleista kylmää aluetta. Seinän kantava rakenne jatkuu yhtenäisenä alueiden molemmin puolin.



- | | | |
|------------|---|--|
| | 1 | PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY
Rakennus-/huoneselostuksen mukaan |
| 28 mm | 2 | PALOSUOJAUS JA ÄÄNITEKNINEN LEVYVERHOUS TILAELEMENTTITOIMITTAJAN MUKAAN
SUOJAVERHOUSLUOKKA K ₂ 30 (A ₂ -s1, d0)
esim. Gyproc GFL 15 FireLine + Gyproc GR 13 tai vastaava |
| 120/100 mm | 3 | KANTAVA RAKENNE CLT-levy, (viisi lamellinen) 2 ja 3 krs. 120mm, 4-6 krs. 100mm |
| 50 mm | 4 | ILMARAKO + ÄÄNENERISTYS, MINERAALIVILLA 30mm (A ₂ -s1, d0) |
| 120/100 mm | 5 | KANTAVA RAKENNE CLT-levy, (viisi lamellinen) 2 ja 3 krs. 120mm, 4-6 krs. 100mm |
| 28 mm | 6 | PALOSUOJAUS JA ÄÄNITEKNINEN LEVYVERHOUS TILAELEMENTTITOIMITTAJAN MUKAAN
SUOJAVERHOUSLUOKKA K ₂ 30 (A ₂ -s1, d0)
esim. Gyproc GFL 15 FireLine + Gyproc GR 13 tai vastaava |
| | 7 | PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY
Rakennus-/huoneselostuksen mukaan |

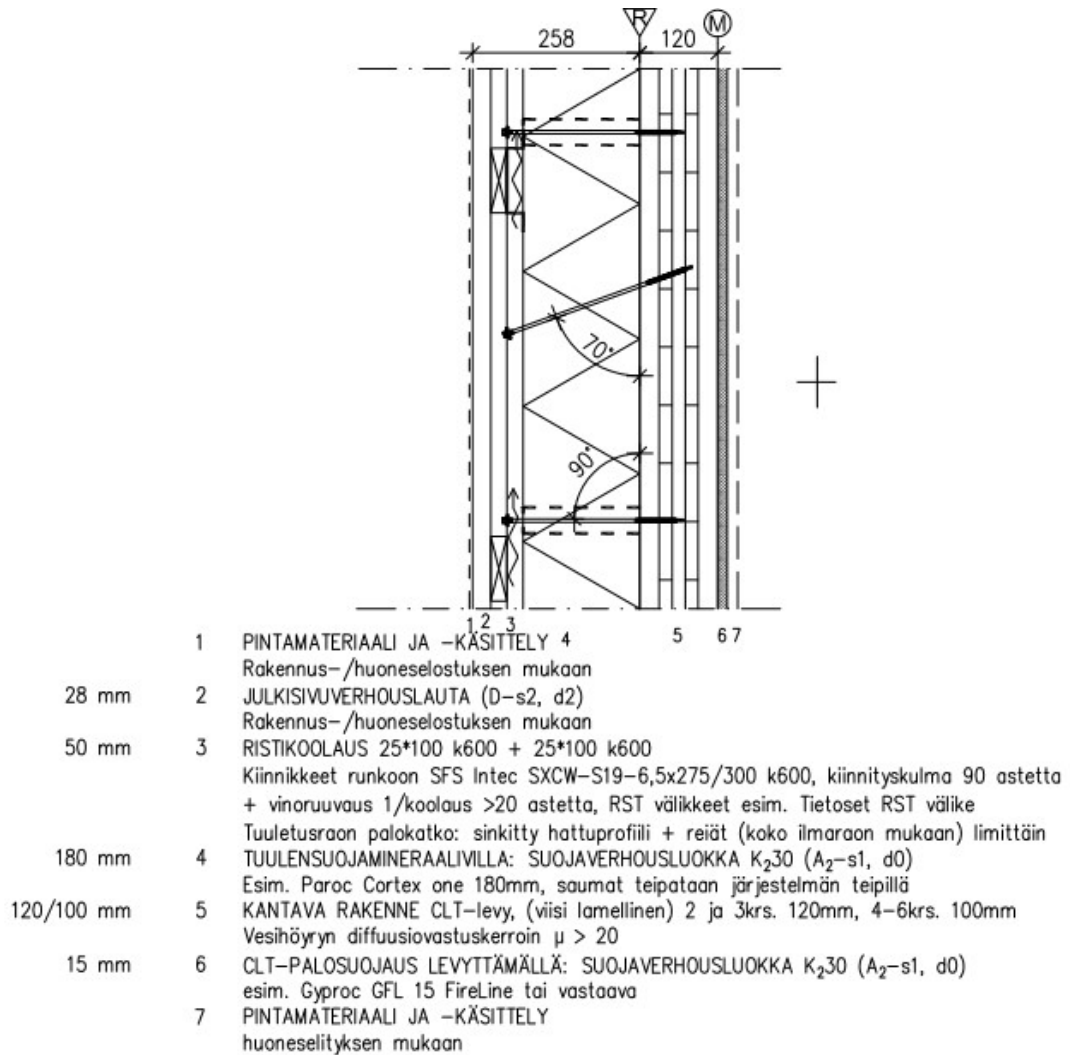
Kuva 10. Leikkaus kantavasta väliseinästä huoneistojen kohdalla kuivissa sisätiloissa. Tutkimuksessa käytetyt CLT-levyt ovat paksuudeltaan 100mm.



Kuva 11. Leikkaus kantavasta väliseinästä parvekkeiden kohdalla. Kuvasta poiketen kohteessa on käytetty pintamateriaalina paljasta CLT-levyä, jolloin kuvassa näkyvät verhousmateriaalit ja kipsilevyt on jätetty rakenteesta pois.

5.3 Ulkoseinä

Rakennuksen ulkoseinä otettiin tutkimukseen mukaan siinä käytetyn koolauksen kiinnityksen vuoksi. Kiinnityksessä on käytetty pitkiä ruuveja, jotka varsinkin 4.-6. kerroksien ohuemmassa CLT-levyssä voi muodostaa viivamaisia kylmäsiltoja (kuva 12).



Kuva 12. Leikkaus ulkoseinän rakenteesta, jossa koolauksen kiinnitykseen käytetyt ruuvit ulottuvat pitkälle CLT-levyyn. Muiden rakenteiden tapaan tutkimuksessa käytetty CLT-levyn paksuus on 4.-6. kerroksien mukainen (100mm).

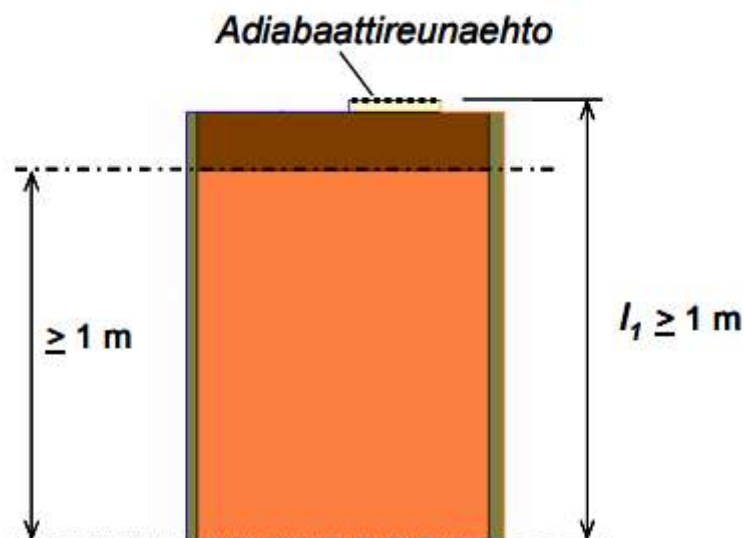
6 Rakenteiden mallintaminen

Rakenteiden mallintamiseen käytettiin Autocad-ohjelmistoa ja niiden sisällä tapahtuvan lämpöliikkeen mallintamiseen Comsol Multiphysics 5.2-ohjelmistoa. Rakenteet ovat oikean kerrostalon rakentamiseen käytetyistä suunnitelmista. Joidakin rakenteita on yksinkertaistettu Rakennusmääräyskokoelma C4:n sallimien rajojen mukaan.

Lämpöliikkeen mallintamiseen käytetyt materiaaliominaisuudet ovat suunnitelmissa suositeltujen materiaalien mukaisia. Laskenta on toteutettu stationäärisellä mallilla, mikä tarkoittaa että ulko- ja sisäpuolen olosuhteet säilyvät vakiona ajasta riippumatta. Tällä menetelmällä laskenta helpottuu huomattavasti ja käytetyt arvot voidaan määrätä vastaamaan pahinta mahdollista tilannetta. Mikäli rakenteissa ei ilmene riskejä näissä olosuhteissa, voidaan olettaa ettei ongelmia synny muissakaan tilanteissa.

6.1 Välipohjan ja ulkoseinän välisen liitoksen mallinnus

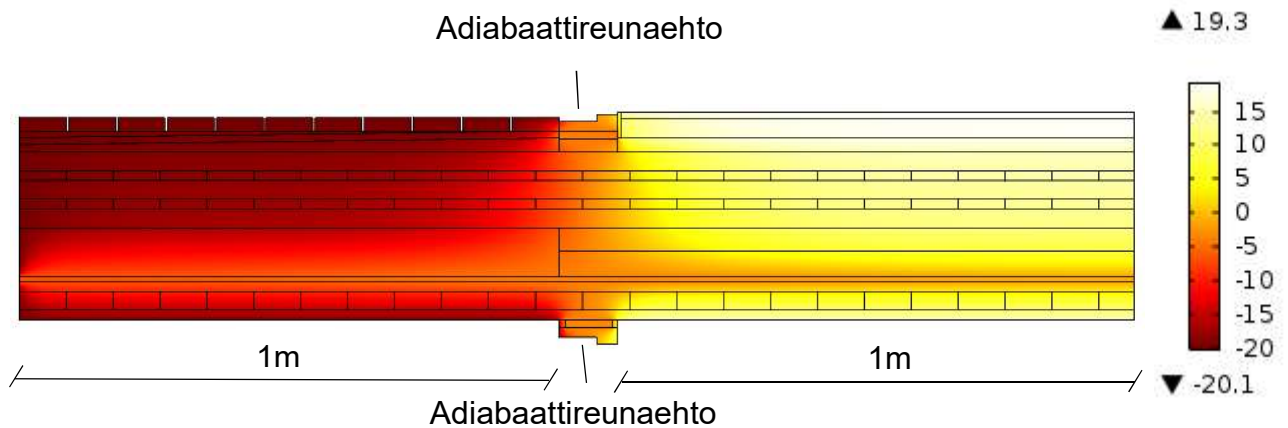
Välipohjan ja ulkoseinän välisen liitoksen mallintamiseen käytettiin adiabaattireunaehto [4 s.26-28]. Oppaan mukaan ikkunaliitoksen laskentaa voidaan yksinkertaistaa jättämällä ikkuna pois kokonaan laskenta-alueesta ja asetetaan ikkunan karmin kohdalle adiabaattireunaehto, eli täydellinen lämpöeristys (kuva 13). Myös karmin syvyyttä tulee pienentää ikkunatyypistä riippuen. Tässä sitä on sovellettu lasiseen ulkoseinään, jonka liitoksen mallintaminen tarkasti ei olisi onnistunut puuttuvien tietojen vuoksi. Adiabaattireunaehdon avulla laskenta yksinkertaistuu huomattavasti, mutta tulokset eivät ole niin tarkkoja kuin kokonaisella mallilla.



Kuva 13. Yksinkertaistettu menettely ikkunan liitoksen laskentaan, missä ikkuna korvataan adiabaattireunaehdolla ja karmin syvyytenä käytetään laskennallista

karmin syvyyttä. Tässä työssä tätä menettelyä on sovellettu ulkoseinän liitoksen yksinkertaistamiseen.

Kaksiulotteisen mallin avulla voidaan havaita välipohjan läpi kulkeva lämpövirta ulkoa sisälle. Ulkopuolen lämpötilaksi on asetettu -20°C ja sisäpuolen lämpötilaksi $+20^{\circ}\text{C}$. Kuvasta 14 voidaan havaita lämpötilan olevan matala välipohjan tuulettuvassa ilmatilassa, mutta puun luonnollisten ominaisuuksien vuoksi lämpö ei virtaa huolestuttavissa määrin sisältä ulos. Lattian lämpötila pysyy hyvin lähellä $+20^{\circ}\text{C}$:tta ja sisäkaton lämpötila n. $+10^{\circ}\text{C}$, mikä on normaalia. Katon lämpötila on alhaisempi, sillä lämpö pääsee liikkumaan helpommin yhtenäisen rakenteen läpi.

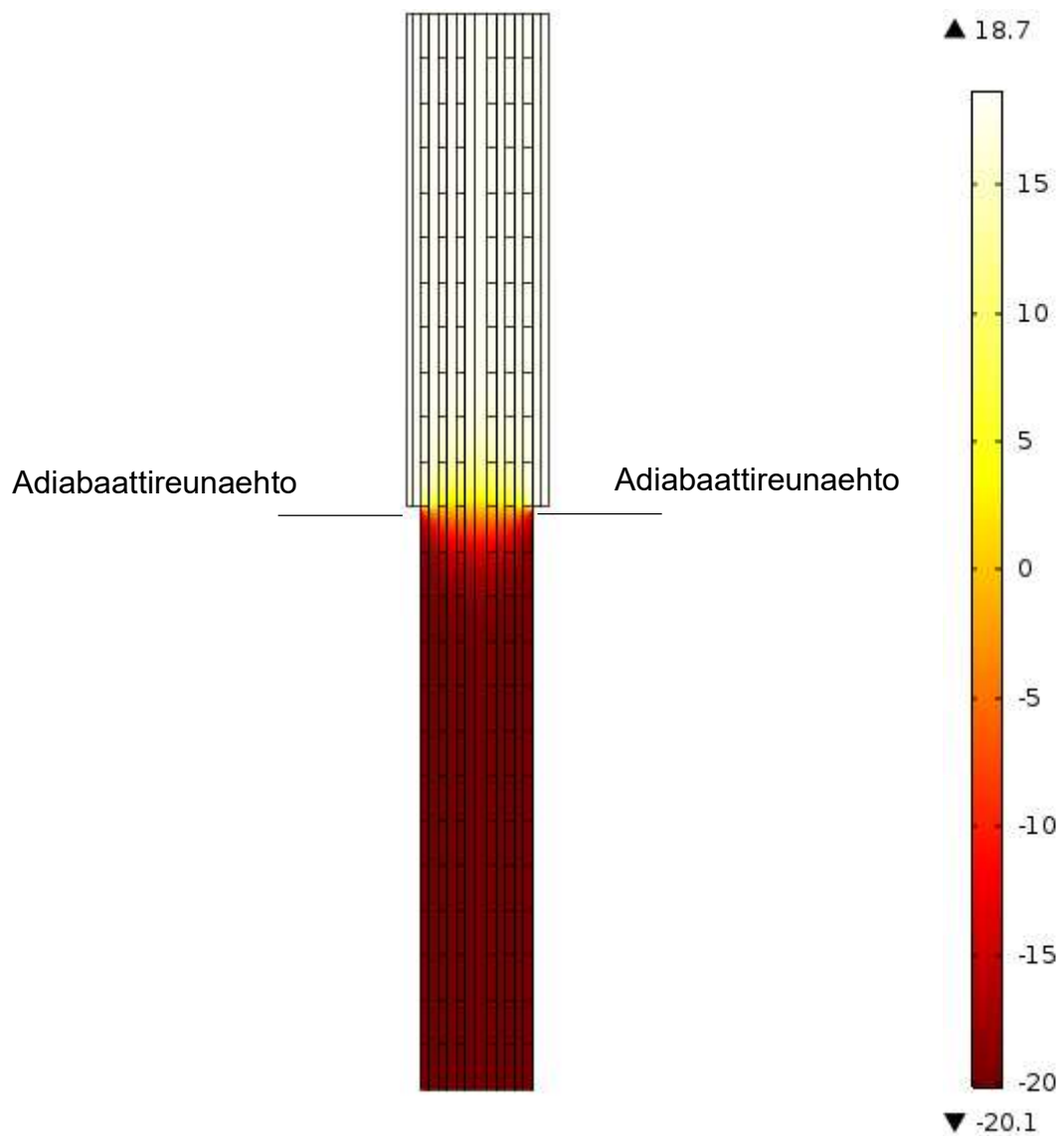


Kuva 14. Kaksiulotteinen malli välipohjan liitoksesta. Karmin kohdalla on käytetty adiabaattireunaehtoä välipohjan molemmin puolin. Kuvassa rakenteen läpi kulkeva lämpövirta on havainnollistettu väriskaalalla. Arvot ovat celsiusasteita.

6.2 Kantavan väliseinän mallinnus

Väliseinän mallinnus oli hyvin samankaltainen kuin välipohjan mallinnus. Olosuhteet pidettiin samana, ja kylmää ja lämmintä osiota erottava lasiseinä korvattiin adiabaattireunaehdolla. Erona tavanomaiseen kantavaan väliseinään, tässä ei ole kylmän ja lämpimän osion katkaisevaa eristystä, vaan rakenne jatkuu katkeamattomana sisältä ulos. Ainoa eristävä materiaali rakenteessa on 30mm:n ääneneristysvilla. Eristykseksi on arveltu riittävän puun luonnollinen lämmöneristävyyttä.

Kuvasta 15 nähdään kuinka puun luonnolliset ominaisuudet toimivat hyvin eristeenä pysäyttäen lämmön siirtymisen nopeasti, eikä huomattavia lämpövuotoja synny. Kylmän ja lämpimän osion katkon näkee niin lämpötiloista, kuin myös sisätiloissa olevien kipsilevyjen sijainnista.

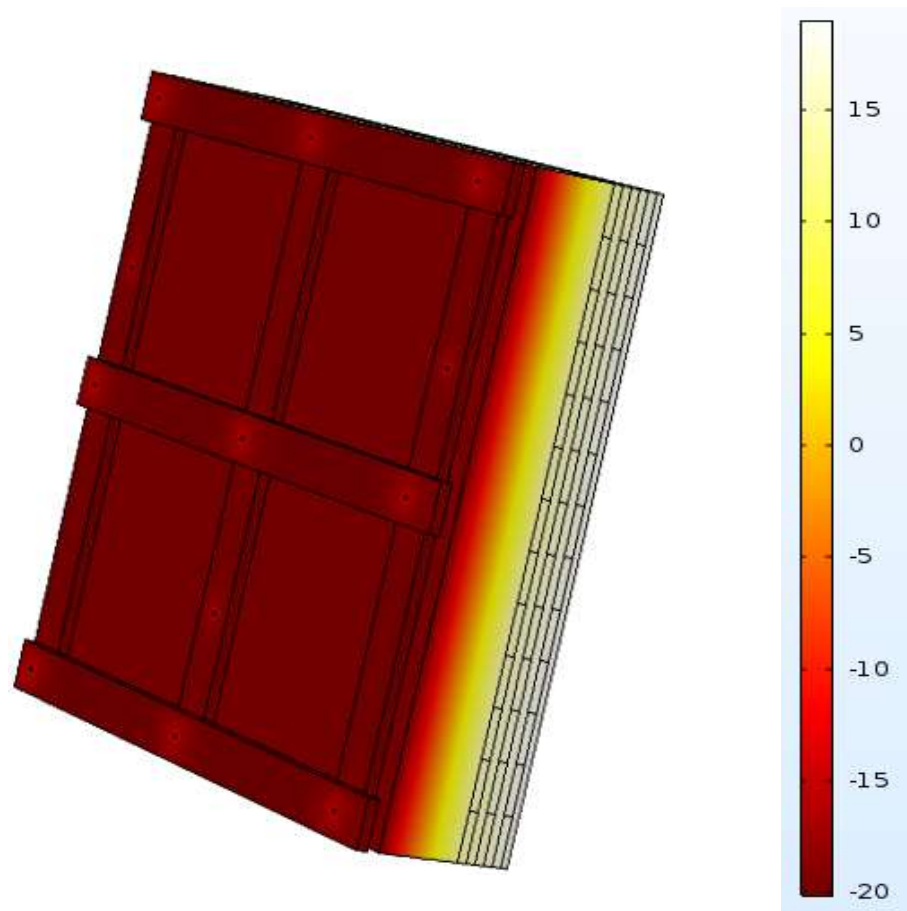


Kuva 15. Kantavan väliseinän kaksikulotteinen malli ylhäältä päin. Kuvassa rakenteen läpi kulkeva lämpövirta on havainnollistettu väriskaalalla. Arvot ovat celsiusasteita.

Laskennan apuna käytettiin mallia, jossa myös lasiset parvekelasit ovat molemmien puolin mukana. Väliseinän aiheuttaman kylmäsilian arvo saatiin vertaamalla kahta rakenneratkaisua keskenään, joista toisessa kantavan lasiseinän osuus korvattiin lasisella parvekeseinällä.

6.3 Ulkoseinän mallinnus

Ulkoseinän mallinnukseen käytettiin kolmiulotteista mallia (kuva 16), jotta mahdollisia kylmäsiltoja aiheuttavat kiinnikkeet saatiin piirrettyä asianmukaisella tavalla. Erityistä huomiota tuli ottaa kiinnikkeisiin, jotka eivät olleet kohtisuoraan seinää kohti. 70°:een kulmaan määrätyt ruuvit olivat pidempiä kuin muut koolauksen kiinnitykseen käytetyt ruuvit ja näin kylmäsilian muodostuminen on todennäköisempää niiden kohdalla. Mallista jätettiin yksinkertaistamiseksi ulkoverhous-paneeli pois ja ulkopinnan pintavastus korvattiin sisäpinnan vastuksella.



Kuva 16. Ulkoseinän kolmiulotteinen malli. Näkyvä puoli on ulkopuoli, missä päällimmäisenä näkyvät vaaka- ja pystykoolaus. Mallista on jätetty ulkoverhouspaneeli pois, jotta kiinnikkeiden vaikutus näkyy myös ulkopuolella. Vaakakoolauksessa olevat kiinnikkeet ovat seinään nähden kohtisuorassa ja vain pystykoolauksessa olevat kiinnikkeet ovat 70:en asteen kulmassa. Kuvassa rakenteen läpi kulkeva lämpövirta on havainnollistettu väriskaalalla. Arvot ovat celsiusasteita.

Tästä mallista nähdään, että ruuvien lähettyvillä on jonkin verran lämpövuotoja. Ulkoseinän muun pinnan lämpötilan ollessa -20°C , ruuvien kohdalla lämpötila on hieman korkeampi. Kohtisuoraan kiinnitettyjen ruuvien pään lämpötila on -14°C ja vinoon ruuvattujen ruuvien lämpötilan hieman alle -13°C .

7 Tulokset

Mallien avulla saadaan selville lämpövirran määrä rakenteen läpi, mistä voidaan laskea lämpöhäviön arvo. Laskenta on suoritettu Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaan mukaan. Tuloksien avulla voidaan arvioida kylmäsiltojen osuus rakenteiden läpi kulkevasta lämpövirrasta.

Saatujen tuloksien perusteella voidaan arvioida, mitä toimenpiteitä rakenteisiin tulisi tehdä, jotta kylmäsiltojen mahdolliset haittavaikutukset saadaan minimoitua. Mikäli kylmäsiltoja ei kuitenkaan pääse muodostumaan, voidaan todeta rakenteen olevan onnistunut suunnitteluvaiheessa.

7.1 Ulkoseinän johtumislämpöhäviö

Ulkoseinän ilmoitettu U-arvo on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä tarkoittaa, että jokaista neliometriä kohden seinän läpi kulkema lämpövirta $0,17 \text{ W}$ yhden asteen lämpötilaerolla. Tähän arvoon on otettu huomioon kylmäsiltojen Suomen rakentamismääräyskokoelma C4:n ohjeiden mukaan, jotka ohjeistavat kasvattamaan lämmönläpäisykerrointa kiinnikkeiden materiaalin ja määrän mukaan. Ulkoseinän U-arvoksi ilman kylmäsiltojen huomioon ottamista saatiin $0,155 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä tarkoittaa, että alkuperäisessä laskennassa kylmäsiltojen aiheuttaman lämpöhäviön arvoksi on saatu $0,015 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Laskennassa käytetty malli on pinta-alaltaan 1,69 m² ja 40 celsiusasteen lämpötilaerolla rakenteen läpi kulkevan lämpövirran arvo oli Comsolin laskelman mukaan 12,22 W. Näiden arvojen avulla seinän U-arvo voidaan laskea kaavan 2 sovelluksella. Laskutoimituksen arvosta haluttiin ajasta riippumaton ja yksiköksi (W/m²K), joten ajan yksikkö ja tuloksen kilowateiksi muuttava kerroin (1000) jätettiin pois.

$$\sum U_{ulkoseinä} = \frac{Q}{A * (T_s + T_u)}$$

$$\sum U_{ulkoseinä} = \frac{12,22W}{1,69m^2 * (20 - (-20))^{\circ}C} = 0,18 W/m^2^{\circ}C$$

Pistemäisen kylmäsillan aiheuttama johtumislämpöhäviö saadaan lasketun U-arvon ja ilman kylmäsiltoja huomioon ottavan U-arvon erotuksella, mistä tulokseksi saadaan 0,025 W/m²°C. Tämä tulos kertoo kiinnikkeiden yhteenlasketun lämpöhäviön mallinnetun kappaleen pinta-alalla, joka on 0,01 W/m²K eli 60% suurempi kuin alkuperäisen laskennan mukaan saatu tulos.

7.2 Kantavan väliseinän muodostama kylmäsilta

Väliseinän muodostaman kylmäsillan laskentaan on käytetty energiaselvityksessä ilmoitettua U-arvoa (liite 1) väliseinän molemmiin puolin jatkuvalla parvekkeen lasiseinälle, joka on arvoltaan 0,8 W/m²°C. Parvekkeen lasiseinälle ei ollut saatavilla tarkkaa mallia, joten se korvattiin kappaleella, jolla on sama U-arvo ja liitoksia lukuun ottamatta antaa samat laskennan arvot.

Lämpövirran suuruudet kahden vertailtavan rakenteen välillä olivat hyvin lähellä toisiaan, väliseinän omaavan rakenteen lämpövirran suuruuden ollessa 71,938 W ja ilman väliseinää olevan rakenteen ollessa 71,768 W. Näiden tuloksien avulla

kylmäsilälle saadaan arvo, joka on hyvin lähellä nollaa ($0,0008 \text{ W/m}^2\text{°C}$), joten sen vaikutus voidaan olettaa mitättömän pieneksi. Tämä tulos johtuu siitä, että puisen väliseinän lämmönläpäisykerroin on miltei täysin samanarvoinen kuin lasisen parvekeseinän. Kylmäsiltaa ei siis muodostu.

7.3 Välipohjan muodostama kylmäsilta

Välipohjan kylmäsilan laskennassa käytettiin väliseinän tavoin samanlaista ympäröivää parvekkeen lasiseinärakennetta. Laskennassa välipohjan sekä parvekelasin läpi kulkevan lämpövirran suuruudeksi rakenteen keskikohdalta saatiin $91,571 \text{ W}$.

Laseinän läpi kulkevan lämpövirran osuus saadaan laskennallisesti kaavalla 2, jolloin

$$Q_{\text{laseinä}} = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{°C} * 2,6 \text{ m}^2 * (20 - (-20)) \text{°C} = 83,2 \text{ W}$$

Näin ollen välipohjan läpi kulkevan lämpövirran suuruudeksi jää kokonaisvirran ja lasiseinän läpi kulkevan lämpövirran erotus, joka on suuruudeltaan ($91,52\text{W} - 83,2\text{W}$) $8,371 \text{ W}$. Tämän saadun tuloksen avulla voidaan laskea välipohjan osuudelle U-arvo

$$U_{\text{välipohja}} = 8,371\text{W} / (0,572\text{m}^2 * (20 - (-20)) \text{°C} = 0,366\text{W/m}^2\text{°C}$$

Tämä laskelma osoittaa, että välipohjan lämmönläpäisykyky on miltei kaksi kertaa huonompi kuin lasiseinän, joten välipohjaan ei muodostu kylmäsiltaa. Laskennan tuloksissa on otettava huomioon, että lämpövirran kulku on kohtisuoraan lasiseinää, ja välipohjan osalta se on rakenteen pituussuunnan mukaisesti.

8 Pohdinta

Näiden tuloksien perusteella rakenteet toimivat odotetulla tavalla. Rakenteisiin ei muodostu huomattavia kylmäsiltoja, eikä näin lämpövuotoja tai kosteuden tiivis-

tymistä tapahdu. Rakenteisiin voi muodostua halkeamia saman levyn kosteus-erojen vuoksi, mikä on hyvin yleistä CLT-rakenteissa. Niiden vaikutusta, kosmeettisia haittoja lukuun ottamatta, on kuitenkin vaikea arvioida.

Kokonaisuudessaan rakenneratkaisu vaikuttaa hyvin toimivalta, ja sen yksinkertaisuuden vuoksi sitä tullaan varmasti myös jatkossa käyttämään. Moniin muihin rakennustapoihin verrattuna tämä on hyvin yksinkertainen ja halpa ratkaisu (esimerkiksi betonista kyseinen rakentaminen ei onnistuisi näin yksinkertaisesti sen painon ja lämpöteknisten ominaisuuksien vuoksi). Se pystytään tekemään myös hallituissa tehdasolosuhteissa valmiiksi, joten työmaalla tapahtuva elementtien työstö jää vähäiseksi. Näin myös työmaalla tapahtuvat virheet saadaan minimoitua, ja elementtien laatu pystytään pitämään tasaisena.


Tutkimuksen alkaessa rakenteet näyttivät siltä, että niihin muodostuu helposti ongelmakohtia. Ympäröivän rakenteen (parvekkeen lasiseinä) ollessa lämpötekniisesti paljon normaalia ulkoseinää huonompi, ei kylmäsiltaa pääse kuitenkaan muodostumaan.


Tarkempien tietojen saamiseksi kohteesta voitaisiin tehdä lisätutkimuksia muutamaa vuotta rakennuksen valmistumisen jälkeen. Siinä ajassa säävaihteiluista johtuvat halkeamat ovat päässeet syntymään rakenteisiin, mikäli ne ovat haljetakseen. Ajan myötä rakenteet myös painuvat jonkin verran, minkä vaikutusta tässä vaiheessa on hyvin vaikea arvioida. Tutkimuksen kohteena on uusi rakennus, joka ei ole vielä ollut sääolosuhteiden armoilla, joten muutaman vuoden päästä lämpöliikkeen laskennan tulokset voivat poiketa paljonkin. Kaikki tähän asti saadut tiedot ja tulokset kuitenkin osoittavat, että tämän kerrostalon parvekerakenteet käyttäytyvät uutena suunnitellusti.

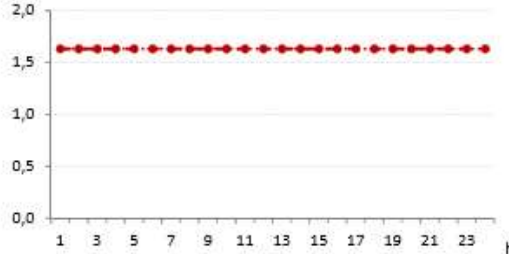
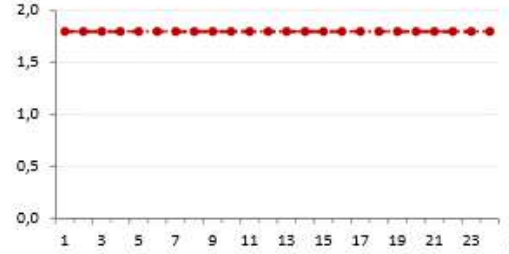
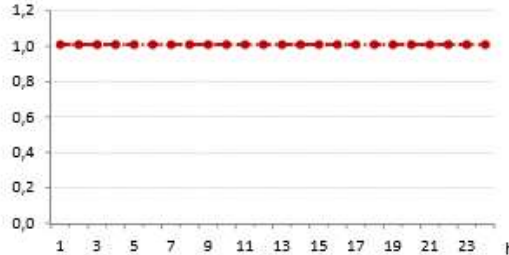
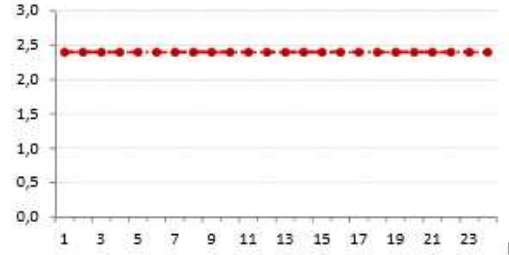
Lähteet

1. Ympäristöministeriö. C4 Suomen rakennusmääräyskokoelma: Lämmöneristys. 2003.
2. Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakennusmääräyskokoelma: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012.
3. Schöck Bauteile GmbH. Kylmäsiilat. 2015. [Viitattu 30.3.2016]. Saatavissa: <http://www.schoeck.fi/fi/tuotteet/laempoeeristys-2>
4. Ympäristöministeriö. Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas: Ohje rakennusosien välisten liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaan. 2012.
5. Schöck Bauteile GmbH. Rakennusfysiikan käsikirja, rakennusten kylmäsiilat. 2015. [Viitattu 13.12.2017] Saatavissa: <http://docplayer.fi/2715273-Rakennusfysiikan-kasikirja-rakennusten-kylmasiilat.html>
6. Oy CrossLam Kuhmo Ltd. CLT-elementtien tuotanto Suomessa. 2014. [Viitattu 13.12.2017] Saatavissa: http://www.karelia.fi/puurakentaminen/files/CLT-elementtien_tuotanto.pdf
7. Stora Enso Oyj. Rakentamisen ratkaisut, CLT-Cross laminated timber. 2013. [Viitattu 13.12.2017] Saatavissa: <http://www.clt.info/fi/tuote/>
8. Puuinfo. CLT ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber). 2011. [Viitattu 13.12.2017] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>
9. CLT-Kiintopuu. Perustietoa CLT:stä. 2017. [Viitattu 13.12.2017] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/fi/etusivu/mika-clt-perustietoa-cltsta.html>
10. CLT Finland Oy. Hoisko CLT-tekniikka. 2017. [Viitattu 13.12.2017] Saatavissa: <http://www.hoisko.fi/fi/rakentaminen/clt-tekniikka/>

Liite 1 Rakennuksen energiasimulointi

		RAKENNUKSEN ENERGIASIMULOINTI E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT			
As Oy Joensuun Pihapetäjä Energiakonsultointi Honkapolku 4 80220 Joensuu		Asiakirja n:o Projekti n:o J00297.P000 Pvm. Laatija/Tark. Viim. muutos Laadittu 29.4.2016 HeP			
Rakennuksen käyttötarkoitus Rakennusvuosi Lämmitetty nettoala		Muut asuinkeuhkot 2016 2 525,4 m ²			
Ilmanvuotoluku q50		1,0 m ³ /(h·m ²)			
Rakennusvaipan umpiosat		A m ²	U W/(m ² ·K)	U A W/K	%
Ulkoseinät		1 200,2	0,17	207,17	24,1
Yläpohja		449,7	0,09	41,61	4,8
Alapohja		467,5	0,13	62,19	7,2
Ikkunat		648,1	0,67	434,44	50,6
Ulko-ovet		0,0	0,00	0,00	0,0
Kylmäsilat				113,95	13,3
Ikkunat ilmansuunnittain		A m ²	U-lasiosa W/(m ² ·K)	U-ikkuna W/(m ² ·K)	g-arvo -
Pohjoinen		137,9	0,68	0,68	0,4
Koillinen		0,0	0,00	0,00	0,0
Itä		160,8	0,67	0,67	0,4
Kaakko		22,9	0,60	0,60	0,5
Etelä		143,2	0,68	0,68	0,4
Lounas		0,0	0,00	0,00	0,0
Länsi		160,4	0,67	0,67	0,4
Luode		22,9	0,60	0,60	0,5
Kattoikkunat		0,0	0,00	0,00	0,0
		648,1			
Ilmanvaihtojärjestelmä		Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s)/(m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpö- tilasuhde -	Jäätymisen esto °C
Asunnot		0,72 0,72	1,50	80	-2
Yhteiset tilat		0,26 0,26	1,50	80	-10
Ilmanvaihtojärjestelmä		0,98 0,98	1,50		
Lämmitysjärjestelmä		Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovut. hyötysuhde	Lämpökerroin ¹	Apulaitteiden sähkökäyttö ² W
Tilojen ja IV:n lämmitys		0,99	0,84	0,00	718,0
LKV:n valmistus		0,97	0,97	0,00	200,0
¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle ² lämpöpumpujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen					
Jäähdytysjärjestelmä		Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin, - 2,50			
LKV:n käyttö		m ³ /(m ² ·a)	yht. m ³ /a		
		0,600	1515		
Sisäiset lämpökuormat		Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²	Käyttöaste -
		3	4	8,6	0,6/0,1
Päiväys	Allekirjoitus		Nimen selvennys		

		RAKENNUKSEN ENERGIASIMULOINTI E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET			
As Oy Joensuun Pihapetäjä Energiakonsultointi Honkapolku 4 80220 Joensuu		Asiakirja n:o Projekti n:o J00297.P000 Pvm. Laatiija/Tark. Viim. muutos Laadittu 29.4.2016 HeP			
Rakennuksen käyttötarkoitus Rakennusvuosi Lämmitetty nettoala		Muut asuinkerrostalot 2016 2 525,4 m ²			
E-luku		100 kWh/(m²·a) (kWh lämmitettyä nettoalaa kohti)			
E-luvun erittely		Ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
		kWh/a	-	kWh/a	kWh/(m ² ·a)
Sähkö		88 434	1,70	150 339	60
Kaukolämpö		144 214	0,70	100 950	40
Kaukojäähdytys		0	0,40	0	0
Uusiutuva polttoaine		0	0,50	0	0
Fossiilinen polttoaine		0	1,00	0	0
Yhteensä		232 649		251 289	100
Uusiutuva omavaraisenergia		kWh/a	kWh/(m ² ·a)		
Aurinkosähkö		9 826	4		
Aurinkolämpö		0	0		
Tuulisähkö		0	0		
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia		0	0		
Rakennusten teknisten järjestelmien energiankulutus		Sähkö	Lämpö	Kaukojäähdytys	
		kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	
Lämmitysjärjestelmä		-			
Tilojen lämmitys ¹		2,5	22,2		
Tuloilman lämmitys		2,1	0,0		
Lämpimän käyttöveden valmistus		0,7	36,9		
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		5,1	-		
Jäähdytysjärjestelmä		0,0		0,0	
Kuluttajalaitteet ja valaistus		28,5	-		
Yhteensä		38,9	59,1	0,0	
¹ Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen					
Energian nettotarve		kWh/a	kWh/(m ² ·a)		
Tilojen lämmitys ²		47 001	18,6		
Ilmanvaihdon lämmitys ²		5 377	2,1		
Lämpimän käyttöveden valmistus		88 389	35,0		
Jäähdytys		0	0,0		
² sisältää vuotilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa ³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa					
Lämpökuormat		kWh/a	kWh/(m ² ·a)		
Aurinko		43 664	17,3		
Ihmiset		39 821	15,8		
Kuluttajalaitteet		53 094	21,0		
Valaistus		18 889	7,5		
Lämpimän käyttöveden häviöenergiat		4 871	1,9		
Laskentatyökalun nimi ja versio numero		RIUSKA 5.0.20			
Päiväys		Allekirjoitus		Nimen selvennys	

Tila: 602, 3h			
LÄHTÖTIEDOT		Simulointi 1	Simulointi 2
SISÄILMAN LAATUTASO			
Tilan lämpötila, max. / asetusarvo	°C	27,0 / 26,9	
Tilan lämpötila, min. / asetusarvo	°C	21,0 / 21,0	
ILMANVAIHTO			
Järjestelmä		CAV	
Ilmavirta	dm ³ /(s·m ²)	0,66	
Lämpötila-asetus talvi/kesä	°C	18,0 / 16,0	
Jäähdytyspatterit (on/ei)		ei	
Aikataulu		00-24	
Yötuuletus (T) / Yöjäähdytys (J)			
Lämpötilakerrostuma	K/m	0,400	
Vuotoilmakerroin	1/h	0,047	
HUONEYKSIKÖT			
Jäähdytysteho (ei sis. ilmanvaihtoa)	W/m ²	0,0	
RAKENTEET			
Ulkoseinä	rakenne / U-arvo	W/(m ² ·K)	US 01/0,17
Yläpohja	rakenne / U-arvo	W/(m ² ·K)	YP 01/0,09
Alapohja	rakenne / U-arvo	W/(m ² ·K)	
IKKUNAT ULKOSEINISSÄ JA KATOISSA			
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy	%	34,0; 50,4	
U-arvo (lasiosa)	W/(m ² ·K)	0,80; 0,60	
Lasiosan ala ja suuntaus	m ²	4,58 (POH); 11,93 (ITÄ); 8,97 (ETE)	
Rakenne		Suncool70/35+clear+OptilamTherm53, 6+4+8.8; Optitherm+Clear, 4+4+4mm	
Suojaus		Vas.sivulippa; Ylälippa; Oik.sivulippa; Sälekaihtimet; Peittolevy	
SISÄISTEN KUORMIEN AIKATAULUT			
Ihmiset, lkm		Ihmiset, W/m²	
			
Valaistus, W/m²		Laitteet, W/m²	
			
Sarjat: Ilman merkkejä oleva on mitoituspäivän aikataulusta. Merkein varustettu on energia-aikataulusta ja valitulla tarkasteluperiodilla.			