

Eemeli Seppä

OMAKOTITALON LISÄERISTÄMINEN
rakenteiden kosteustekninen toiminta

Rakennustekniikan koulutusohjelma
2013

OMAKOTITALON LISÄERISTÄMINEN

Rakenteiden kosteustekninen toiminta

Seppä, Eemeli
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2013
Ohjaaja: Sandberg, Rauno
Sivumäärä: 24
Liitteitä: 13

Asiasanat: Kosteus, lämmöneristys, rakenne ja tiivistyminen

Tämä työ on tehty yksityishenkilön toimeksiannon pohjalta, jonka tavoitteena oli selvittää laskemalla, toimivatko ulkoseinän lisäeristämiset kosteusteknisesti oikein. Lisäeristys vaihtoehtoina oli kaksi ulkopuolista ja yksi sisäpuolinen toteutus tapa. Tavoitteena oli, että uusi seinärakenne vastaisi nykyaikaisia rakenteita. Eristevahvuudet valittiin siten, että uusi rakenne täyttää nykyiset Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 lämmöneristys lämmönläpäisykerroin vaatimuksen.

Laskelmien tulokset osoittavat ulkopuolisen lisäeristämisen toimivan kosteusteknisesti oikein. Nykyaikaisella tuuletus raolla varustettu uusi rakenne on energia tehokas ja kosteuden kertymisen vaaraa ei ole. Eli sillä on suora vaikutus rakennuksen käyttöikään.

Sisäpuolinen lisäeristäminen on helpompi ja halvempi vaihtoehto. Laskelmista voi kuitenkin nähdä merkkejä mahdollisista ongelmista ja eristämistavan onnistuminen onkin riippuvainen työnjäljestä.

Lopputulosten voidaan todeta olevan luotettavia ja niitä tukee teknillisen yliopiston tasoinen laaja tutkimus. Kaikki laskut on tehty Microsoft Office Excel 2007, johon itse laadein laskentaohjelman lämmönläpäisykerroimen sekä kosteusteknistä laskentaa varten.

ADDITIONAL INSULATION OF DETACHED HOUSE

The humidity properties of wall structure

Seppä, Eemeli

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in construction engineering

January 2013

Supervisor: Sandberg, Rauno

Number of pages: 24

Appendices: 13

Key words: Humidity, insulation, structure and accumulation

The purpose of thesis was to study the humidity properties of three different additional insulations. One of the goals was that the new wall structure will meet the requirement of new energy regulations that are taking effect in July 2012.

The results of this study show that additional insulation that's been done to the exterior of the wall structure works correctly. The new structure with modern ventilation space is energy efficient and there's no risk of accumulation of moisture inside the structure.

The study finds the inner additional insulation to be the most cost effective but it's more likely to cause problems in near future.

The outcome of this study can be considered reliable and major study done by the Tampere University of Technology supports it.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KOHTEEN JA RAKENTEIDEN ESITTELY	6
2.1	Vanha seinärakenne	6
2.2	Uusi seinärakenne 1	6
2.3	Uusi seinärakenne 2	7
2.4	Uusi rakenne 3	7
3	ILMAN KOSTEUS.....	7
3.1	Ulkoilman kosteus	8
3.2	Sisäilman kosteus.....	8
4	KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA.....	9
4.1	Ilmastolliset parametrit	11
4.2	Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen.....	11
4.2.1	Lämmönläpäisykertoimen laskenta.....	11
4.2.2	Korjatun lämmönläpäisykertoimen laskenta.....	14
4.2.3	Uuden seinärakenteen 1 lämmönläpäisykerroin	16
4.2.4	Uuden seinärakenteen 2 lämmönläpäisykerroin	16
4.2.5	Uuden seinärakenteen 3 lämmönläpäisykerroin	17
4.3	Rakenneosien vesihöyryn vastuksien määrittäminen.....	17
	Rakenneosien vesihöyryn vastukset	17
4.4	Lämpötilajakauma rakenteessa	18
4.5	Lämpötiloja vastaavat kyllästyspaineet	18
4.6	Vesihöyryn osapaineen jakauma rakenteessa	18
4.7	Kyllästyspaineiden ja osapaineiden vertailu.....	19
4.8	Tiivistyvän kosteuden määrä	19
4.9	Poistuvan kosteuden määrä.....	20
5	RAKENTEIDEN TOIMINTA.....	21
5.1	Vanha seinärakenne	21
5.2	Ulkopuolinen lisäeristäminen.	21
5.3	Sisäpuolinen lisäeristäminen.....	22
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	22
	LÄHTEET.....	24
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Lämmitysenergian kallistuminen on ollut nopeaa viime vuosina, siksi omakotitalon energiatehokkuus on tullut yhä tärkeämmäksi aiheeksi. Ulkoseinien lisäeristäminen on yksi monista vaihtoehdoista, joista kuluttaja voi valita itselleen mieluisimman. Tämän työn aiheena oli selvittää laskemalla toimivatko ulkoseinän, ulko- tai sisäpuoliset lisäeristämiset kosteusteknisesti oikein. Koska rakennuksesta pyritään tekemään mahdollisimman energia tehokas, eristepaksuudet valittiin siten että uuden rakenteen lämmönläpäisykerroin vastaa nykyisiä vaatimustasoja.

Nykyisessä Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on annettu ohjearvo, jonka mukaan sisäpinnan vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen tuulensuojaan verrattuna. Vinha (2004) on teettänyt Tampereen teknillisessä yliopistossa tutkimuksen puurunkoisen ulkoseinän kosteustekninen toiminta Suomen ilmasto-olosuhteissa. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon tarvitaan vesihöyrynvastusta puurunkoisen ulkoseinärakenteen sisäpinnassa, niin että seinärakenne toimii Suomen ilmastossa hyväksyttävästi. Tutkimuksia tehtiin 56 eri seinärakenteella, vuosina 2000 - 2004. Tutkimuksessa todetaan, että kriittisin kohta kosteusteknisestä näkökulmasta on ulkoseinärakenteessa tuulensuojalevyn sisäpinta. Tämä johtuu siitä, että sisäilmassa oleva vesihöyrymäärä pyrkii tasoittuvaan ulkoilman vesihöyrymäärän kanssa virtaamalla ulkoseinärakenteen läpi. Ulospäin pyrkivä vesihöyry kohtaa tuulensuojan sisäpinnassa lämmöneristettä tiiviimmän materiaalikerroksen ja tiivistyy vedeksi tähän pintaan. Tutkimuksen kokeissa tutkittiin, mitkä asiat vaikuttavat alentavasti kosteuspitoisuuteen tässä kohtaa rakennetta. Kokeet osoittivat että sisäpinnan vesihöyrynvastuksen kasvattaminen, tiettyyn rajaan asti, on tehokas menetelmä parantaa rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Riittävä vesihöyrynvastus saavutetaan nykyisillä ilmansulkumuoveilla. Vanhoissa ulkoseinärakenteissa käytetty bitumipaperi todettiin olevan riittämätön tähän tarkoitukseen ja rakenne on kosteutta läpäisevä. Oleellisin parannus tällaiselle rakenteelle on tuulensuojan lämmöneristävyyden parantaminen. Tutkimuksessa suositellaan käytettäväksi tällaisissa rakenteissa esimerkiksi 25 mm huokoista kuitulevyä tai 25 – 50 mm mineraalivillalevyä. (Vinha 2004, 1-2.)

2 KOHTEEN JA RAKENTEIDEN ESITTELY

Kohderakennus on omakotitalo joka on rakennettu 1973. Pohjan pinta-ala on 170 m², josta asuttavaa alaa on 150 m². Perustamistapana on maanvarainen reunavahvistettu kaksikerroksinen laatta. Talo on puurunkoinen. Ulkoseinien alajuoksupuut lähtevät ensimmäisen laatan päältä ja väliseinien toisen laatan päältä. Talossa on myös 1970 - luvun tyyppillinen valesokkeli rakenne. Julkisivumateriaalina on tiili ja lauta. Katto on loiva pulpettikatto, jossa vesikatteenä on huopa. Ilmanvaihto on painovoimainen ja lämmitysjärjestelmänä on öljylämmitys.

Rakennuksen julkisivu on kärsinyt vuosien varrella ja alkaa olla käyttöikänsä päässä. Suurin osa julkisivua on tiiliverhoiltu, mikä antaa loistavat lähtökohdat lisäeristämiseksi. Kun tiili poistetaan, ”vapautuu” tilaa lisäeristeelle ja uuden ulkoverhouksen nykyaikaiselle tuuletusraolle ilman että sokkeli jäisi liian kauaksi ns. seinään sisälle. Vertailun vuoksi yhdeksi tutkintavaihtoehdoksi otettiin seinärakenne jossa lisäeristäminen on toteutettu sisäpuolelle.

2.1 Vanha seinärakenne

Vanha seinärakenne on tyyppillinen 1970 -luvun ulkoseinärakenne. Seinän ainoa lämmöneriste on 100 mm mineraalivillaa ja ulkopinnassa on huokoinen 12 mm puukuitulevy, joka toimii tuulensuojana. Tuulensuojalevyn päälle on lyöty vinolaudoitus ja tiiliverhouksen takana on vaatimaton tuuletusrako. Rakenteen leikkauskuva liitteenä (1).

2.2 Uusi seinärakenne 1

Ensimmäisessä vaihtoehdossa on vanha julkisivu purettu pois ja siihen on lisätty 75 mm Isover Facade RKL-31 eristelevy. Ulkoverhous on vaihdettu puupaneeliksi ja tuuletusrako on hyvin tuulettuva. Rakenteen leikkaus kuva liitteenä (2).

2.3 Uusi seinärakenne 2

Toisessa vaihtoehdossa myös vanha tuulensuoja sekä vinolaidoitus on purettu pois ja tilalle on laitettu 100 mm Isover Fasade RKL-31 eristelevy. On hyvinkin todennäköistä että vanha rakenne saattaa olla näiltä osin pahoin kärsinyt. Näin saadaan myös aikaisempi yhtäläisempi rakenne, jossa tiiveysvaihteluita on vähän. Näin kosteuden kulku on paljon hallitumpaa. Leikkaus liite 3.

2.4 Uusi rakenne 3

Kolmas vaihtoehto on toteutettu sisäpuolisella eristeellä SPU-AL polyuretaani levyillä. Eristeen paksuus selvitetään laskemalla millä paksuudella se täyttää nykyiset U-arvo vaatimukset. Leikkaus liitteessä (4).

3 ILMAN KOSTEUS

Rakennetta ympäröivän ilman kosteus vaikuttaa rakenteen ja sen rakenneosien kosteuteen. Ulkoseinän kosteusteknisen toiminnan kannalta tärkein vaikutus syntyy seinän eri puolilla olevista erilaisista ilmankosteuksista. Kosteaa ilma koostuu kahdesta kaasusta, kuivasta ilmasta ja vesihöyrystä. Ilmassa olevan vesihöyryn määrä vaihtelee lämpötilan mukaan jatkuvasti. Ilma pystyy sisältämään vain tietyn määrän vesihöyryä tietyssä lämpötilassa. Tämä kyllästyskosteus on yhteydessä kyllästyspaineeseen, joka taas on suurin vesihöyryn aiheuttama osapaine tietyssä lämpötilassa. Eli kyllästyskosteus ja kyllästyspaine kasvavat lämpötilasta riippuen. Ilmassa olevan vesihöyryn määrä ilmoitetaan yleensä absoluuttisena kosteutena (kg/m^3) tai suhteellisenä kosteutena. Suhteellinen kosteus (RH) tarkoittaa tietyssä lämpötilassa olevan ilman kosteusmäärän suhdetta lämpötilan kyllästyskosteuteen. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 17-19.)

$$\phi = V/V_{\text{sat}}$$

tai vesihöyryn osapaineen suhdetta lämpötilan kyllästyspaineeseen

$$\phi = P/P_{v,\text{sat}}$$

Suhteellinen kosteus ilmaistaan yleensä prosentteina.

Sekä ulko- että sisäilman kosteuteen vaikuttaa vuodenaikojen ja säätilojen vaihtelut. Ulkoseinän kosteuskäyttäytymisen kannalta tärkeämpiä ovat pidempien ajanjaksojen keskiarvot. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 19.)

3.1 Ulkoilman kosteus

Suomessa ulkoilman keskimääräinen suhteellinen kosteus on korkeimmillaan talvella, noin 90% ja pienimmillään kesällä, noin 70%. Kuitenkin ilman absoluuttinen kosteussisältö on kesällä selvästi suurempi kuin talvella. Eri paikkakuntien suhteellisen kosteuden arvot ovat lähellä toisiaan. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 19.)

3.2 Sisäilman kosteus

Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttavat monet tekijät: ulkoilman kosteuspitoisuus, rakennuksen käyttötarkoitus, sisällä kehitetyn kosteuden määrä, ilmanvaihdon suuruus, rakennusaineiden kyky sitoa kosteutta sekä rakennuksen käyttäjän vedenkäyttötavat. Tavallisissa asuinrakennuksissa oletetaan sisäilmassa olevan 3-4 g/m³ enemmän vesihöyryä kuin ulkoilmassa. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 21.)

Tämän oletuksen kautta voidaan laskea sisäilman suhteellinen kosteus kaavalla:

$$RH_s = ((RH_u * V_{k,u}) + V_{k,l}) / V_{k,s}$$

RH_s = Sisäilman suhteellinen kosteus

RH_u = Ulkoilman suhteellinen kosteus

$V_{k,u}$ = Ulkoilman kyllästyskosteus

$V_{k,l}$ = Sisäilmankosteus lisä

$V_{k,s}$ = Sisäilman kyllästyskosteus

Tavanomaisissa asuinrakennuksissa sisäilman suhteellinen kosteus on yleensä suurimmillaan kesällä, 50-70% ja pienimmällään talvella, 20-40%. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 22.)

4 KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA

Koska ulkoseinärakenteen ulko- ja sisäpuolella vallitsee eri lämpötilat ja myös eri kosteuspitoisuudet, muodostuu täten sisä- ja ulkopuolen välille ilmanpaine-ero. Tämä paine-ero pyrkii tasoittumaan, muodostaen ilmavirtauksia eli konvektiota rakenteen läpi. Ilmavirtaukset kulkevat rakenteen läpi joko rakojen, reikien tai suotumalla huokaisen aineen lävitse. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 33.)

Ulkoseinän läpi kulkevasta ilmavirtauksesta osa tiivistyy vedeksi joutuessaan kosketuksiin sellaisen pinnan kanssa tai huokosseinämän kanssa, jonka lämpötila alittaa ilman kastepistelämpötilan. Kosteusvirrasta tiivistyy kyllästysvesimäärän ylittävä osuus. Kosteutta voi muodostua joko seinärakenteen pintaan tai rakenteen sisään. Mikäli pinnan imukyky on pieni, valuu pintaan tiivistynyt kosteus sitä pitkin tai tippuu siitä pois. Mikäli pinta imee kosteutta, kertyy kosteus lähelle sen pintaa. Lyhytaikainen tiivistyminen ei yleensä aiheuta vaurioita rakenteelle, mutta jos tiivistyminen on pitkäaikaista ja toistuvaa, voi seurauksena olla hometta tai muita haittoja. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 37.)

Diffuusiona siirtyvän kosteuden tiivistymistä voidaan arvioida yksinkertaisella käsilaskentamenetelmällä. Diffuusiolaskelmissa käytetään yleensä mitoitusilmaston lämpötilan ja kosteusmäärän kuukausikeskiarvoja. Laskelmat ovat yksinkertaistettuja joka saattaa vaikuttaa lopputuloksen tarkkuuteen. Laskelmissa ei esimerkiksi oteta huomioon aineiden kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta, muita kosteuden siirtymismuotoja, kosteuden- ja lämmönsiirtymisen vaikutusta toisiinsa eikä tuuletusrakojen

vaikutusta. Lisäksi ympäristön olosuhteet otetaan huomioon melko karkeasti. Laskentamenetelmä soveltuu pitkällä ajanjaksolla seinärakenteen keskimääräisten kosteusolosuhteitten tarkasteluun. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 38.)

Käsilaskennassa vuosi jaetaan kahteen osaan: tiivistymisjaksoon ja kuivumisjaksoon. Tiivistymisjakson pituudeksi valitaan 60 vrk ja ilmastoparametreiksi kahden kylmimmän kuukauden keskiarvot. Kuivumisjakso on yhtä pitkä ja siinä käytetään kahden lämpimimmän kuukauden keskiarvoja. Laskelmissa täytyy ilmetä kuinka paljon kosteutta tiivistyy tiivistymisjakson aikana ja mihin kohtaan. Vastaavan kosteus määrän tulee poistua kuivumisjakson aikana. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 38.)

Laskelmat tehdään seuraavassa järjestyksessä.

1. Valitaan käytettävät ilmastolliset parametrit: Lämpötilat ja vesihöyryn osapaineet rakenteen molemmilla puolin.
2. Selvitetään aineiden lämmönjohtavuudet ja vesihöyryn läpäisevyydet ja lasketaan tarvittavat vastukset.
3. Lasketaan lämpötilan jakauma rakenteessa.
4. Lasketaan lämpötiloja vastaavat vesihöyryn kyllästyspaineet.
5. Lasketaan vesihöyryn osapaineen jakauma rakenteessa.
6. Verrataan vesihöyryn kyllästyspaineen ja vesihöyryn osapaineen arvoja. Jos osapaineet ovat joka kerroksessa suurempia kuin kyllästyspaineet, tiivistymistä ei tapahdu. Jos taas osapaineet ovat suurempi kuin kyllästyspaineet, tiivistymistä tapahtuu ylittävän osan verran.
7. Tulos esitetään graafisesti, josta on helposti luettavissa tapahtuuko tiivistymistä vai ei.
8. Lasketaan tiivistyneen kosteuden määrä.
9. Lasketaan kuivumisjaksolla poistuvan kosteuden määrä.
10. Verrataan tiivistyneen kosteuden ja poistuneen kosteuden määriä. Poistuneen kosteuden määrä pitää tietysti olla selvästi suurempi kuin tiivistyneen kosteuden.

(Hyypöläinen & Pentti 1999, 40.)

4.1 Ilmastolliset parametrit

Ilmatieteenlaitos on julkaissut raportin, johon on tilastoitu Suomen ilmastoa 1981 lähtien. Taulukosta löytyi Porin Lentokentän säähavaintoaseman lukemat. Tiivistymiskauden ulkolämpötilaksi tuli -5 °C , suhteelliseksi kosteudeksi 87 % ja sisälämpötilaksi 21 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 35 %. Kuivumiskauden ulkolämpötilaksi vastaavasti tuli $+16,1\text{ °C}$, suhteelliseksi kosteudeksi 75 % ja sisälämpötilaksi 21 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 75 %. (Aalto, Karlsson, Kaukoranta, Pirinen, Ruuhela & Simola 2012, 24-25.)

4.2 Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa ”C4 Lämmöneristys” tuli voimaan 27.10.2012 ja sen ohjeet vastaavat voimassa olevissa SFS-EN-standardeissa esitettyä lämmönläpäisykertoimen laskentatapaa. Ohjeissa esitetään menetelmä rakenneosien ja rakenteiden korjatun lämmönläpäisykertoimen (U_c) laskemiseksi. U_c on rakennusosan lopullinen lämmönläpäisykerroin, jota käytetään rakennuksen määräysten mukaisuutta osoittaessa sekä rakennuksen energiankulutuslaskelmissa. (C4 Lämmöneristys 2012, 6.)

4.2.1 Lämmönläpäisykertoimen laskenta

Rakennusosan lämmönläpäisykerrointa (U) laskettaessa ainekerrosten lämmönjohtavuutena (λ) käytetään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja (λ_u). Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen (R_t) käänteisluku. (C4 Lämmöneristys 2012, 7.)

$$U = \frac{1}{R_t}$$

jossa

U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin $W/(m^2\text{ K})$
R_t	rakennusosan kokonaislämmönvastus $m^2\text{ K/W}$

Rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_t) sisältää lämmönvastuksen ja rakennusosan molempien puolien pintavastukset. Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus (R) lasketaan ainekerroksen paksuutta (d) ja lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvoa (λ_u) käyttäen. (C4 Lämmöneristys 2012, 7.)

$$R = \frac{d}{\lambda_u}$$

jossa

R	ainekerroksen lämmönvastus	$m^2 K/W$
d	ainekerroksen paksuus	m
λ_u	ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo	W/mK

Rakennusosan lämmönjohtavuudeltaan erilaiset ainekerrokset voivat olla lämpövirran suuntaan nähden peräkkäin tai rinnan. Lämpövirran suuntaan nähden peräkkäisistä ainekerroksista muodostuvan rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_t). (C4 Lämmöneristys 2012, 7.)

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

jossa

R_t	rakennusosan kokonaislämmönvastus	$m^2 K/W$
R_{si}	sisäpuolen pintavastus	$m^2 K/W$
R_1, R_2, \dots	rakennusosien lämmönvastukset	$m^2 K/W$
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	$m^2 K/W$

Kunkin yksittäisten peräkkäisen ainekerroksen lämmönvastus (R_1, R_2, \dots) lasketaan ainekerroksen paksuutta ja lämmönjohtavuutta käyttäen ja sijoitetaan edelliseen kaavaan. (C4 Lämmöneristys 2012, 7.)

Jos rakennusosassa on lämpövirran suuntaan nähden lämmönjohtavuudeltaan erilaisia rinnakkaisia ainekerroksia, rakennusosan kokonaislämmönvastukselle lasketaan ylälikiarvo (R_t') ja alaliikiarvo (R_t''). Rakennusosan kokonaislämmönvastus (R_t) on näiden arvojen keskiarvo. (C4 Lämmöneristys 2012, 7.)

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}$$

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvoa (R_T') laskettaessa rakennusosa jaetaan lämpövirran suuntaisiin, koko rakennusosan läpi ulottuviin itsenäisiin lohkoihin, jotka muodostuvat lämpövirran suuntaan nähden peräkkäin olevista lämmönjohtavuudeltaan erilaisista ainekerroksista. Lämmönjohtavuudeltaan erilaiset rinnakkaiset ainekerrokset sijoitetaan näin toisistaan riippumattomiin lohkoihin. Jokaisen näin muodostetun lohkon kokonaislämmönvastus lasketaan erikseen. Lopuksi lohkojen kokonaislämmönvastukset sijoitetaan yhtälöön rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvon (R_T') laskemiseksi. (C4 Lämmöneristys 2012, 8.)

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}}$$

jossa

R_T'	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo	$m^2 \text{ K/W}$
f_a, f_b, \dots	lohkojen a,b,... osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta.	
R_{Ta}, R_{Tb}, \dots	lohkojen a,b,... kokonaislämmönvastukset	$m^2 \text{ K/W}$

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvoa (R_T'') laskettaessa rakennusosa jaetaan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuoriin, koko rakennusosan läpi ulottuviin kerroksiin siten, että jokainen kerros on lämmönjohtavuudeltaan yhtenäinen lämpövirran suunnassa. Seuraavaksi kunkin kerroksen lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastukset yhdistetään kerros kerrallaan. (C4 Lämmöneristys 2012, 8.)

$$\frac{1}{R_j''} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}}$$

jossa

R_j''	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a,b,...yhteenlaskettu lämmönvastus	$m^2 \text{ K/W}$
f_a, f_b, \dots	rinnakkaisten lohkojen a,b,... osuudet rakennusosan	-

lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta.

$R_{ja}, R_{jb} \dots$	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a,b,... lämmönvastukset.	$m^2 \text{ K/W}$
------------------------	---	-------------------

Lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastuksen yhdistämisen jälkeen rakennusosan kokonaislämmönvastuksen lasketaan alalikiarvo (R_T''). (C4 Lämmöneristys 2012, 8.)

$$R_T'' = R_{si} + (R_1'' + R_2'' + \dots + R_j'') + (R_1 + R_2 + \dots + R_k) + R_{se}$$

jossa

R_T''	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo	$m^2 \text{ K/W}$
R_{si}	sisäpuolen pintavastus	$m^2 \text{ K/W}$
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	$m^2 \text{ K/W}$
R_1'', R_2'', \dots	yhdistetyt lämmönvastukset	$m^2 \text{ K/W}$
R_1, R_2, \dots	rakennusosan tasa-aineiden lämmönvastukset	$m^2 \text{ K/W}$

4.2.2 Korjatun lämmönläpäisykerroimen laskenta

Rakennusosan korjattu lämmönläpäisykerroin (U_c) saadaan lisäämällä laskettuun lämmön-läpäisykerroimen (U) arvoon lämmönläpäisykerroimen korjaustermi (ΔU). (C4 Lämmöneristys 2012, 9.)

$$U_c = U + \Delta U$$

jossa

U_c	rakennusosan korjattu lämmönläpäisykerroin	$W/(m^2K)$
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin	$W/(m^2K)$
ΔU	lämmönläpäisykerroimen korjaustermi	$W/(m^2K)$

Lämmönläpäisykerroimen korjaustermi (ΔU) lasketaan kaavalla:

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

jossa

U_c	lämmönläpäisykertoimen korjaustermi	W/(m ² K)
ΔU_f	mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä	W/ (m ² K)
ΔU_g	ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä	W/ (m ² K)
ΔU_r	käännettyistä katoista aiheutuva korjaustekijä	W/ (m ² K)

Jos lämmönläpäisykertoimen korjaustermi (ΔU) on vähemmän kuin 3 % rakennusosan lämmönläpäisykertoimen (U) arvosta, korjaustermiä ei tarvitse ottaa huomioon. Koska laskettavassa rakennusosassa ei ole eristeiden läpi ulottuvia ilmarakoja, eikä käännettyjä kattoja, jätetään ne huomioimatta. Kuitenkin eristeen osittain tai kokonaan läpäisevät mekaaniset kiinnikkeet ja muut säännölliset pistemäiset kylmäsilat huomioiva korjaustekijä voidaan laskea likimääräisesti. (C4 Lämmöneristys 2012, 10.)

$$\Delta u_f = \frac{\alpha \lambda_f A_f n_f}{d_0} * \left(\frac{R_{f0}}{R_T} \right)^2$$

jossa

ΔU_f	mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä	W/ (m ² K)
α	kerroin	-
λ_f	kiinnikkeen lämmönjohtavuus	W/(m ² K)
A_f	yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala	m ²
n_f	kiinnikkeiden lukumäärä neliometriä kohden	1/m ²
d_0	sen eristekerroksen paksuus jossa kiinnike on	m
R_{f0}	sen lämmöneristyskerroksen lämmönvastus, jossa kiinnike on	m ² K/W
R_T	Rakennusosan kokonaislämmönvastus ilman korjaustekijöiden vaikutusta.	m ² K/W

Kaavassa käytetty α kerroin lasketaan

$$\alpha = 0,8 \frac{d_{f0}}{d_0}$$

jossa

d_0	sen lämmöneristyskerroksen kokonaispaksuus, johon kiinnike on asennettu	m
d_{f0}	pituus jossa kiinnike kulkee lämmöneristeen sisällä	m

jos kiinnike läpäisee eristekerroksen kokonaan, kertoimena on 0,8 (C4 Lämmöneristys 2012, 11.)

Kaavassa käytetty R_{f0} lasketaan

$$R_{f0} = \frac{d_{f0}}{\lambda_0}$$

jossa

d_{f0}	pituus jonka kiinnike kulkee eristeessä	m
λ_0	sen lämmöneristyskerroksen lämmönjohtavuus jonka läpi kiinnike kulkee	W/(m ² K)

Vanhan seinärakenteen U_c -arvoksi tuli 0,343 W/m²K ja vastaa saman aikakauden rakenteiden arvoja. Koska mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä oli vain 2 % saadusta U -arvosta, voidaan se jättää huomioimatta. Tarkat laskelmat liitteessä (5).

4.2.3 Uuden seinärakenteen 1 lämmönläpäisykerroin

Uuden seinärakenteen U_c -arvoksi tuli 0,183 W/m²K, joka vastaa lähes nykyistä vaatimus tasoa 0,17 W/m²K. Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä oli 0,5 % saadusta U -arvosta joten se jätetään huomioimatta. Tarkat laskelmat liitteessä (6).

4.2.4 Uuden seinärakenteen 2 lämmönläpäisykerroin

Seinärakenteen U_c – arvoksi tuli 0,173 W/m²K. Rakenne vastaa nykyisiä vaatimuksia. Laskelmat liitteessä 7.

4.2.5 Uuden seinärakenteen 3 lämmönläpäisykerroin

Seinärakenteen U_c – arvoksi tuli 0,168 W/m²K. Rakenne vastaa nykyisiä vaatimuksia. Laskelmat liitteessä 8.

4.3 Rakenneosien vesihöyryn vastuksien määrittäminen

Vesihöyrynläpäisevyys δ_n on aineen ominaisuus, joka kuvaa sen kykyä päästää lävitseen vesihöyryä. Diffuusiolaskelmissa oletetaan vesihöyrynläpäisevyyden pysyvän vakiona, mutta todellisuudessa se muuttuu aineen kosteuden muuttuessa. (Siikanen 1996, 57.)

Vesihöyrynvastus Z_p kuvaa aineen kykyä vastustaa vesihöyrynvirtausta. Se on käänteinen suure vesihöyrynläpäisevyydelle ja se voidaan laskea. (Siikanen 1996, 57-58.)

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p}$$

Rakenneosien vesihöyryn vastukset

	d [m]	δ_p [kg/msPa]	Z_p [m ² Pa/kg]
Lastulevy	0,012	7,00E-12	1,70E+09
ilmansulku	-	-	4,00E+09
mineraalivilla	0,1	8,50E-11	1,20E+09
Huokoinen levy	0,01	2,00E-11	5,00E+08
Vino laudoitus	0,022	2,00E-12	1,10E+10
Isover Facade	0,075-0,1	-	5,88E+08
SPU – AL	0,07	-	5,8E+10

4.4 Lämpötilajakauma rakenteessa

Lämpötilarakenteen mielivaltaisessa kohdassa x saadaan laskettua.

$$t_x = t_s - \frac{\Sigma R_x}{\Sigma R} * (t_s - t_u)$$

t_x = Lämpötila kohdassa x (°C)

ΣR_x = Lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan x (m²°C/W)

ΣR = Koko rakenteen lämmönvastus (m²°C/W)

t_s, t_u = Sisä- ja ulkoilman lämpötilat (°C)

4.5 Lämpötiloja vastaavat kyllästyspaineet

Kyllästyspaineet voidaan laskea kaavalla:

$$P_k = 101,325 * 10^3 * e^{(70,4347 - 7362,7 / T + 6,95208 * 10^{-3} * T - 9 \ln T)}$$

4.6 Vesihöyryn osapaineen jakauma rakenteessa

Vesihöyryn osapaine rakenteen mielivaltaisessa kohdassa x saadaan:

$$p_x = t_s - \frac{\Sigma Z_x}{\Sigma Z} * (p_s - p_u)$$

p_x = Vesihöyryn osapaine kohdassa x (Pa)

ΣZ_x = Sisäpinnasta kohtaan x olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa (m²Pa/kg)

ΣZ = Koko rakenteen vesihöyryn vastus (m²Pa/kg)

p_s, p_u = Vesihöyryn osapaine sisä- ja ulkoilmassa (Pa)

4.7 Kyllästyspaineiden ja osapaineiden vertailu

Vanhassa seinärakenteessa vesihöyrynosapaine ylittää kyllästyspaineen lämmöneristeen jälkeen, joka tarkoittaa että kosteutta tiivistyy rakenteen sisälle. Tämä tarkoittaa että seuraavaksi täytyy laskea, kuinka paljon kosteutta tiivistyy tiivistymiskauden aikana ja kuinka paljon siitä poistuu kuivumiskauden aikana.

Uusissa seinärakenteissa 1 ja 2, eli ulkopuolisessa lisäeristämässä, vastaavaa ei esiinny. Vaihtoehdossa 3, jossa lisäeristäminen on toteutettu sisäpuolelle, kyllästyspaineet ja vesihöyrynosapaineet käyvät todella lähellä toisiaan mutta eivät leikkaa toisiaan.

4.8 Tiivistyvän kosteuden määrä

Rakenteeseen jäävää kosteuden g_{tiiv} (kg/m²s) määrä kohdassa x voidaan laskea kaavalla:

$$g_{tiiv} = \frac{p_s - p_x}{\Sigma Z_x} - \frac{p_x - p_u}{\Sigma Z - \Sigma Z_x}$$

p_x = Vesihöyryn osapaine kohdassa x (Pa)

p_s, p_u = Vesihöyryn osapaineet sisä- ja ulkoilmassa (Pa)

ΣZ = Koko rakenteen vesihöyryn vastus (m²Pa/kg)

ΣZ_x = Sisäpinnasta kohtaan x olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa (m²Pa/kg)

Tiivistymispinnassa vesihöyryn osapaine on kyseisen lämpötilan mukainen kyllästyspaine. Kaavan ensimmäinen termi kuvaa sisältä rakenteeseen tulevaa ja tiivistyvää kosteutta. Jälkimmäinen termi taas kosteusmäärää, joka diffundoituu tiivistymiskohdasta ulos. Termien erotus kuvaa rakenteeseen jäävää kosteusvirtaa. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 39-40.)

Tiivistymisjaksona t_{tiiv} seinärakenteeseen kerääntynyt kosteus määrä G_{tiiv} [kg/m²] on:

$$G_{\text{tiiv}} = g_{\text{tiiv}} * t_{\text{tiiv}}$$

g_{tiiv} = rakenteeseen aikayksikössä kerääntyvä kosteus (kg/m²s)

t_{tiiv} = tiivistymisjakso (s)

4.9 Poistuvan kosteuden määrä

Kuivumiskautena rakenteesta poistuva kosteus g_{kuiv} (kg/m²s) saadaan kaavalla:

$$g_{\text{kuiv}} = \frac{p_x - p_u}{\Sigma Z - \Sigma Z_x} + \frac{p_x - p_s}{Z_x}$$

p_x = vesihöyrynsapaine kohdassa x (Pa)

p_s, p_u = vesihöyryn sisä- ja ulkoilmassa (Pa)

ΣZ = koko rakenteen vesihöyryn vastus (m²sPa/kg)

ΣZ_x = sisäpinnasta kohtaan x olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa (m²sPa/kg)

Ensimmäinen termi kuvaa kuivumista tiivistymiskohdasta ulospäin, jälkimmäinen kuivumista tiivistymiskohdasta sisäänpäin. Jos sisäilma on kuivumiskautenakin kosteampaa kuin tiivistymispinnan lämpötilaa vastaava kyllästyskosteus, kosteus kulkeutuu sisältä tiivistymispintaan päin. (Hyypöläinen & Pentti 1999, 40.)

Kuivumisjakson t_{kuiv} aikana poistuva kosteus määrä G_{kuiv} (kg/m²) saadaan kaavalla:

$$G_{\text{kuiv}} = g_{\text{kuiv}} * t_{\text{kuiv}}$$

g_{kuiv} = rakenteesta aikayksikössä poistuva kosteus (kg/m²s)

t_{kuiv} = kuivumisjakso (s)

5 RAKENTEIDEN TOIMINTA

5.1 Vanha seinärakenne

Laskelmat osoittavat, että vanhaan seinärakenteeseen kerääntyy kosteutta tiivistymiskauden aikana. Tulos ei yllätä ja sitä tukee tulokset bitumipaperin riittämättömyydestä ilmansuluksi. Kuitenkin vastaavasti kuivumiskaudella rakenteesta poistuu huomattavasti suurempi määrä kosteutta. Oletettavaa kuitenkin on, että tuulensuojana toimiva puukuitulevy ei pysty siirtämään kosteutta laskelmien oletusten tapaan. Tämä tarkoittaa, että vuosien mittaan levyn kosteuspitoisuus on kasvanut ja on voinut johtaa home tai kosteusvaurioihin. Myös tuuletusväli on olemattoman pieni, joten rakenne tuskin kuivuu kunnolla edes kuivumiskauden aikana. Rakenteen kosteustekniset laskut tarkemmin liitteessä 9.

On selvää että vanha seinärakenne ei toimi halutulla tavalla ja on muutenkin riskialtis alajuoksupuun sijainnista johtuen. Välttämättömänä korjaustoimenpiteenä pitäisi tehdä alajuoksupuun korvaaminen pilarikengillä. Tällöin mahdollisten kosteusvahinkojen varaa saataisiin tiputettua. Korjaus aloitetaan purkamalla sisäpuolelta lastulevyt. Tämän jälkeen villa poistetaan seinän alaosasta siten että alajuoksupuun pääsee helposti käsiksi. Sitten runkotolpat tuetaan toisiinsa siten että naulataan 50x100 puu vakaan niihin kiinni. Nyt runko tolpat voidaan katkaista yksi kerrallaan ja korvata alajuoksupuun säädettävällä pilarikengillä. Samalla puretaan vinolaudoitus sekä puukuitulevy pois valesokkelin yläpintaan asti ja asennetaan solumuovieriste. Rakennus kierretään aina yhteen suuntaan, vaikka myötöpäivään. Lopuksi valetaan syntynyt kolo betonilla. Valmiista korjaustoimenpiteestä leikkauskuva liitteessä 13.

5.2 Ulkopuolinen lisäeristäminen.

Uusien rakenteiden 1 ja 2 laskelmien tuloksista nähdään kuinka lisälämmöneriste aiheuttaa lämpötilojen tasaantumisen rakenteen sisällä. Tämä taas tarkoittaa kyllästyspainneiden tasaantumista, jolloin rakenteeseen ei muodostu tiivistymisvyöhykkeitä. Tuloksia tukee Tampereen teknillisen yliopiston teettämä tutkimus. Molemmissa

vaihtoehtoissa U-arvo vastaa nykypäivän vaatimuksia ja rakenteet ovat varteen otettavia vaihtoehtoja lisäeristämistä suunniteltaessa.

Kuitenkin 2 vaihtoehto nousee vertailussa paremmaksi. Vaihtoehto 2 puuttuu kaikkiin vanhan seinärakenteen ongelmiin, eikä eristeiden väliin jää ylimääräisiä tiivistymispintoja. Kustannuksiltaan vaihtoehdot ovat samaa luokkaa. Vaihtoehto 2 maksaa noin 600 € enemmän. Rakenteiden kosteustekniset laskut liitteissä 10 ja 11.

5.3 Sisäpuolinen lisäeristäminen

Kolmas tutkinta vaihtoehto oli sisäpuolinen lisäeristäminen SPU – AL polyuretaani-levyillä. Sisäpuolisessa lisäeristämisessä on todella tärkeää, että tulevan eristeen vesihöyrynvastus on suuri. Lisäeriste tulee toimimaan nykyaikaisen höyrynsulun tilalla seinässä ja tiputtaa vesihöyrynsapaineet heti niin alas, ettei tiivistymisvyöhykettä pääse muodostumaan. Vaikka rakenteen U-arvo oli joukon parhain ja on halvin ratkaisu, se ei aina ole paras vaihtoehto. Sisäpuolinen lisäeristäminen ei korjaa seinärakenteen olemassa olevia teknisiä ongelmia, vaan pikemmin siirtää niiden korjausta eteenpäin. Kyllästyspaineiden ja vesihöyrynsapaineiden käyrät käyvät myös todella lähellä toisiaan tuulensuojan kohdalla, mikä voi johtaa ongelmiin tulevaisuudessa. Varsinkin kun tämän tyylisissä eristämisisä täytyy olla tarkka tiiveyden suhteen. Rakenteen kosteustekniset laskut liitteessä 12.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli laskemalla selvittää toimiiko ulkoseinän lisäeristäminen kosteusteknisesti oikein. Tulokset osoittavat, että lisäeristäminen oikein toteutettuna, toimii oikein. Uskon tuloksien olevan luotettavia ja niitä tukee teknillisen yliopiston tasoinen laaja tutkimus. Tuloksista nähdään myös se, että lisäeristäminen täytyy suunnitella tarkasti jotta välttyttäisiin kosteus ja home ongelmilta.

Tutkittavista rakenteista, parhaana pidän vaihtoehto 2. Nykyaikainen lämmöneriste sekä tarpeeksi suuri tuuletusrako, tekevät rakenteesta energiatehokkaan ja varmatoimi-

sen. Lisäksi tämän tyylinen peruskorjaus antaa rakennukselle monta lisävuotta ja nostaa rakennuksen arvoa.

Ulkoseinien lisäeristäminen on varteenotettava vaihtoehto kun ryhdytään parantamaan talon energiatehokkuutta. Uskon, että tämän kaltaiset lisäeristämiset yleistyvät lähivuosien aikana. Vaikka pelkkien seinien lisäeristäminen ei ratkaise kaikkia lämmitykseen liittyviä ongelmia, seinän U – arvon paraneminen lähes puolella vaikuttaa varmasti energiankulutukseen tuntuvasti ja näkyy pienentyneinä lämmityskustannuksina.

LÄHTEET

Aalto, J., Karlsson, P., Kaukoranta, J-P., Pirinen, P., Ruuhela, P. & Simola, H. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010. Viitattu: 4.1.2013.

<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/2012nro1.pdf?sequence=1>

Hyypönen, T. & Pentti, M. 1999. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnitelu. Tampere: Rakennustekniikan osasto

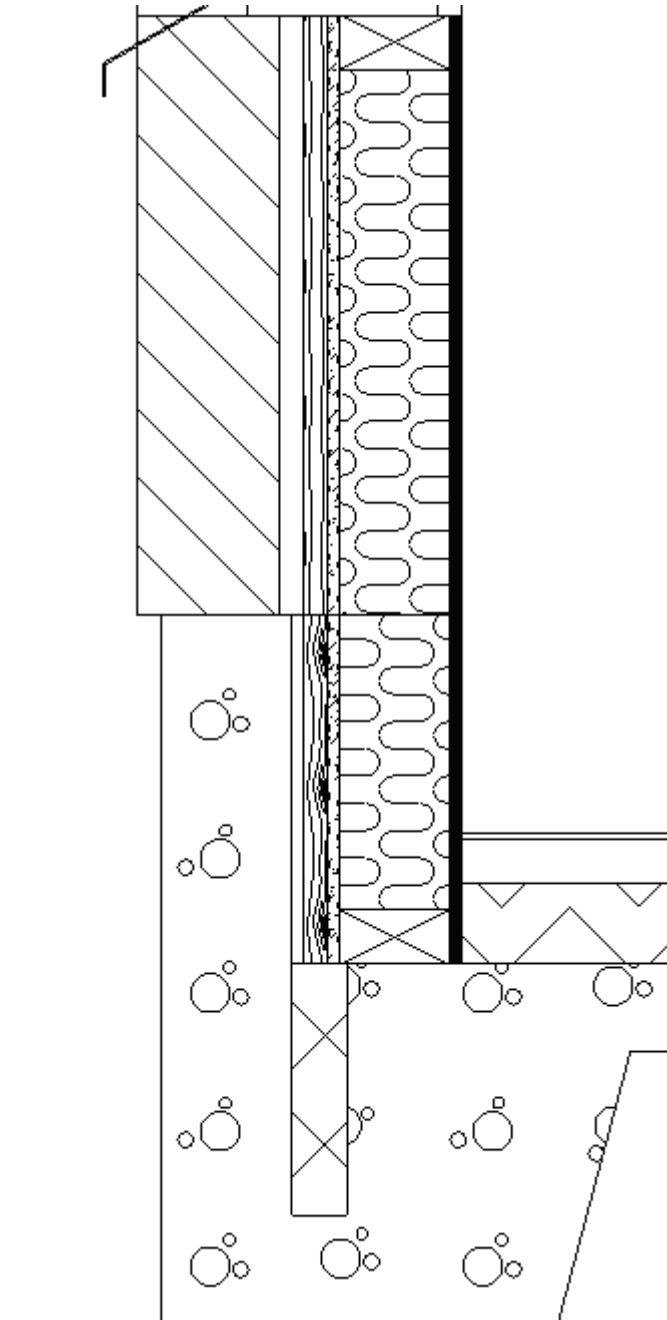
Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka: Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Suomen RakMK C4. 2012. Lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.

Vinha, J. 2.11.2004. Puurunkoisen ulkoseinän kosteustekninen toiminta Suomen ilmasto-olosuhteissa. Viitattu: 30.12.2012.

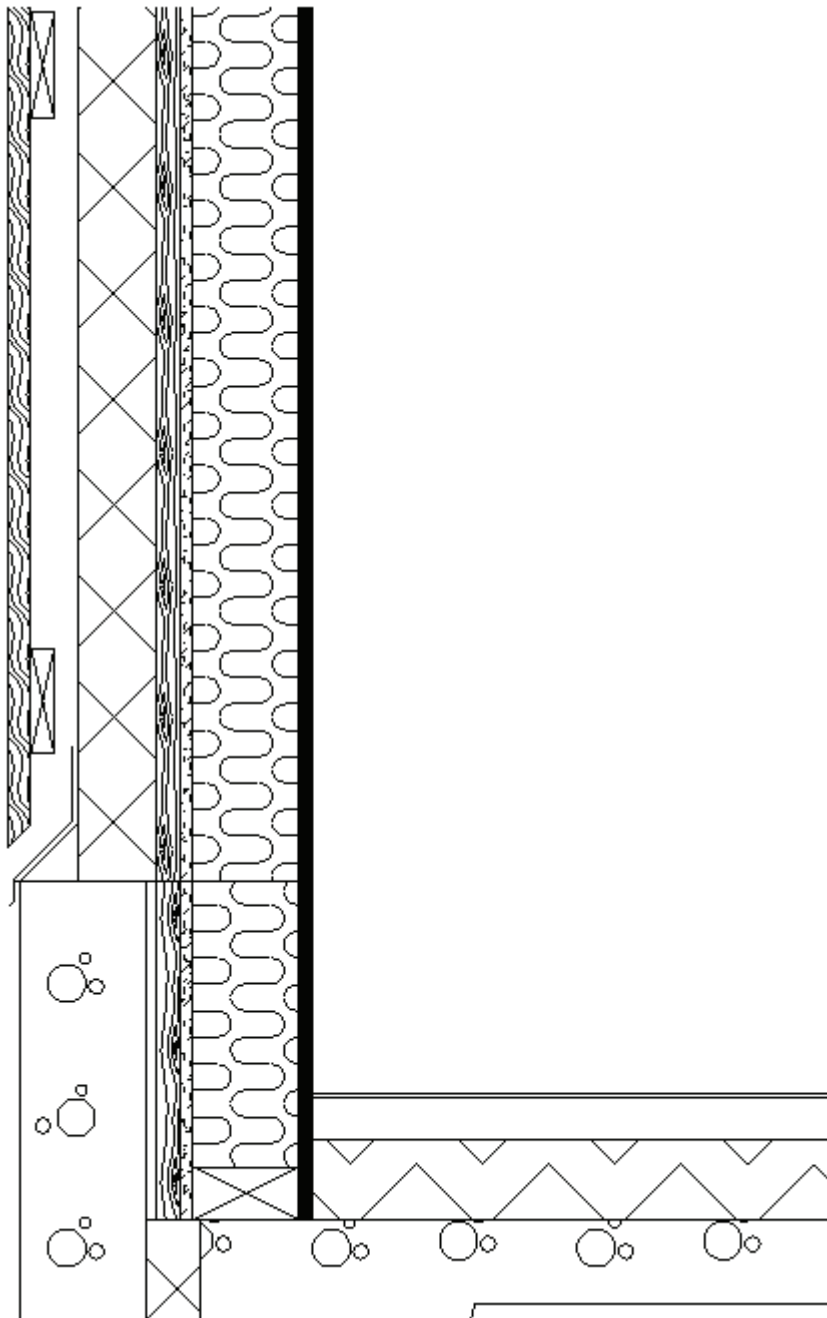
http://customers.evianet.fi/woodfocus/data.php/200411/033333200411021233_13_Vinha_Juha.pdf

Vanha seinärakenne



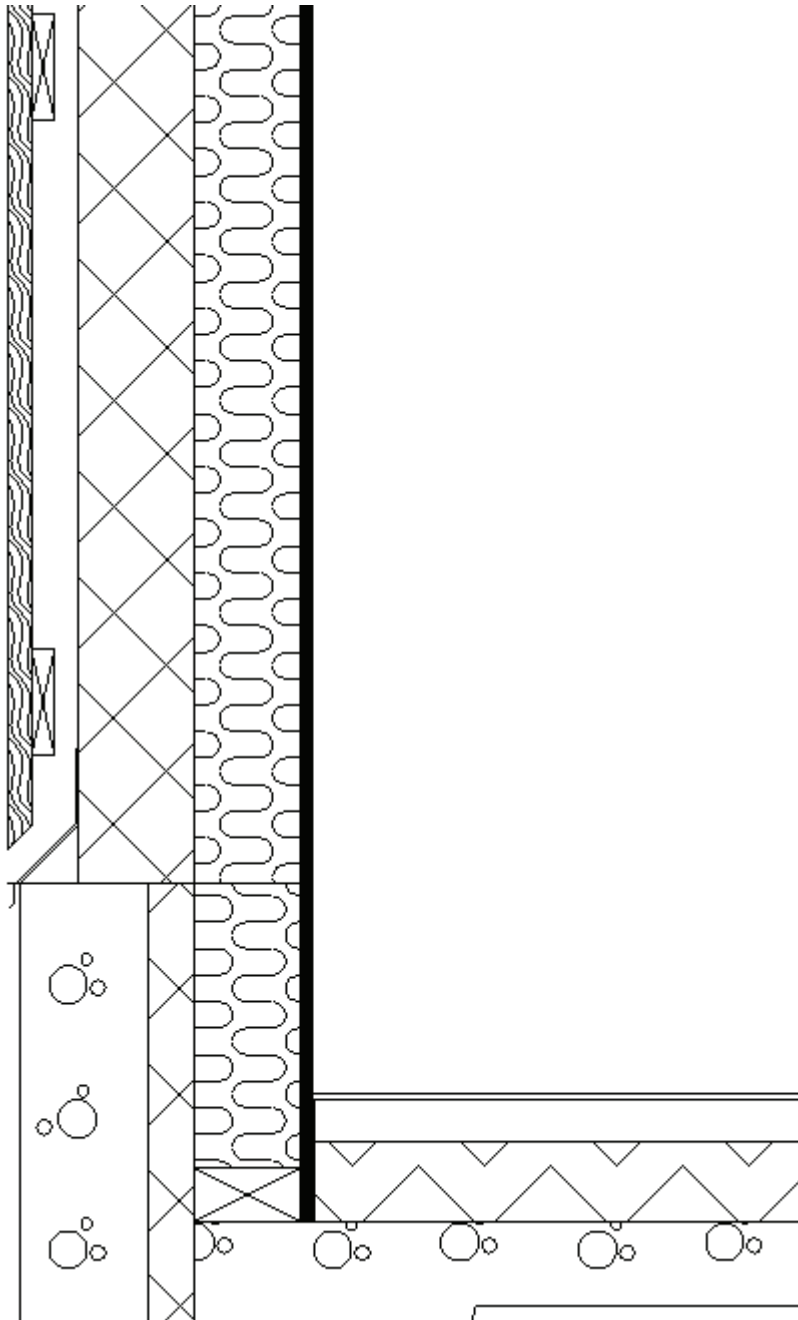
- | | |
|------------|---------------|
| 1 | Lastulevy |
| 2 | Höyrinsulku |
| 3 | Villa |
| 3,1 | Runko |
| 4 | Villa Rkl |
| 5 | Vinolaudoitus |

Uusi seinärakenne 1



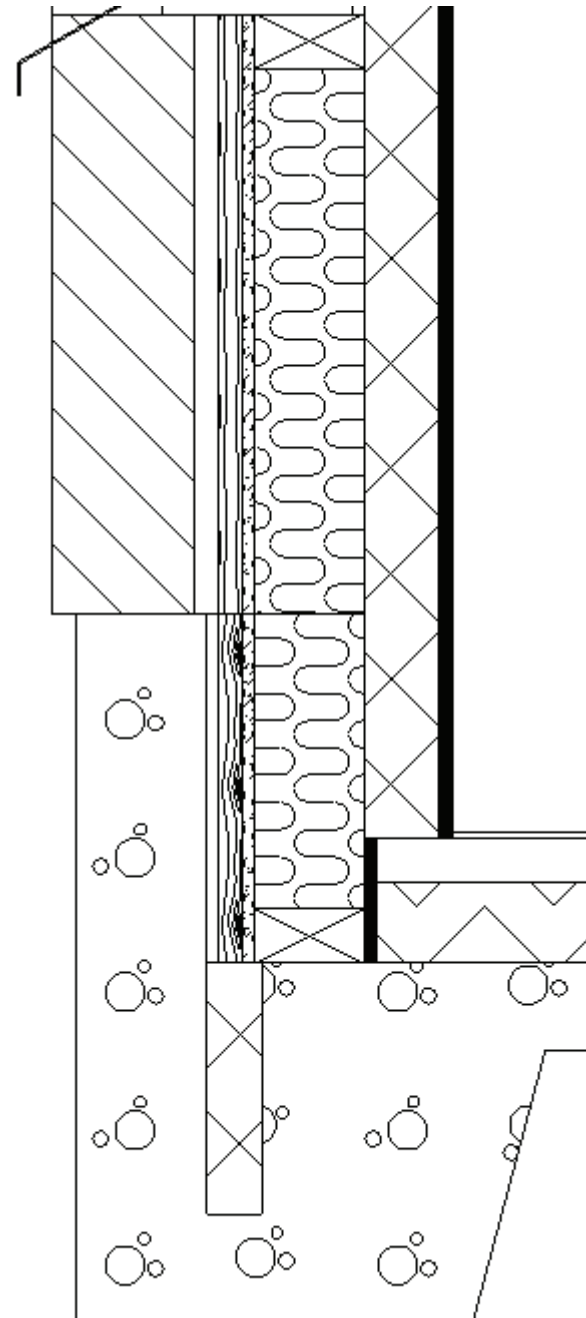
- | | |
|------------|-------------------------|
| 1 | Lastulevy 12 mm |
| 2 | Höyrinsulku |
| 3 | Villa 100 mm |
| 3,1 | Runko 100 mm |
| 4 | Villa Rkl 10 mm |
| 5 | Vinolaudoitus 22 mm |
| 6 | Isover facade rkl 75 mm |

Uusi seinärakenne 2



- | | |
|------------|--------------------------|
| 1 | Lastulevy 12 mm |
| 2 | Höyrinsulku |
| 3 | Villa 100 mm |
| 3,1 | Runko 100 mm |
| 4 | Isover facade rkl 100 mm |

Uusi seinärakenne 3



- | | |
|------------|---------------------|
| 1 | Lastulevy 12 mm |
| 2 | SPU-AL 70 mm |
| 3 | Höyrinsulku |
| 4 | Villa 100 mm |
| 4,1 | Runko 100 mm |
| 5 | Villa Rkl 10 mm |
| 6 | Vinolaudoitus 22 mm |

Vanhan seinärakenteen lämmönläpäisykerroin

R	Materiaali	d	λ	R
1	Lastulevy	0,012	0,14	0,086
2	Höyrynsulku	0,0002	0,005	0,040
3	Villa	0,1	0,045	2,222
3,1	Runko	0,1	0,12	0,833
4	Villa Rkl	0,01	0,07	0,143
5	Vinolaudoitus	0,022	0,12	0,183
Rsi		0,050	0,070	0,130
Rse		0,050	0,120	0,040

Ylälikiarvo:	$\frac{1}{R't}$	=	$\frac{fa + fb + fc + fd}{Rta + Rtb + Rtc + Rtd}$
Rta =	Rsi + R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + Rse		fa = $\frac{550 \cdot 550}{600 \cdot 600} = 0,840$
Rta =	2,844		
Rtb =	Rsi + R1 + R2 + R3,1 + R4 + R5 + Rse		fc = $\frac{50 \cdot 550}{600 \cdot 600} = 0,076$
Rtb =	1,455		
R't =	2,874		

Alaliikiarvo:	$R''t$	=	Rsi + R1 + R2 + R''3 + R4 + R5 + Rse
R''3 =	$\frac{1}{f_{3,1} + f_3}$	=	$\frac{1}{\frac{50}{600} + \frac{550}{600}}$
	$\frac{1}{R_{3,1} + R_3}$		$\frac{1}{0,833 + 2,222}$
R''t =	2,961		

RT =	$\frac{R't + R''t}{2,000}$	=	2,918
------	----------------------------	---	-------

U =	$\frac{1}{RT}$	=	0,343
-----	----------------	---	-------

$$\alpha = \frac{df_0}{0,8 \cdot d_0} = 0,8$$

$$Rf_0 = \frac{df_0}{\lambda_0} = 0,098102$$

$$\Delta U_f = \frac{\alpha, \lambda, Af, nf}{d_0} \frac{(Rf_0)^2}{(RT)^2} = 0,00721$$

$$\% = 2,104$$

Uusi seinärakenne 1

R	Materiaali	d [m]	λ [W/mK]	R [m2K/W]
1	Lastulevy	0,012	0,14	0,086
2	Höyrynsulku	0,0002	0,005	0,040
3	Villa	0,1	0,045	2,222
3,1	Runko	0,1	0,12	0,833
4	Villa Rkl	0,01	0,07	0,143
5	Vinolaudoitus	0,022	0,12	0,183
6	Isover facade rkl	0,075	0,031	2,419
Rsi				0,130
Rse				0,040

Ylälikiarvo:

$$R'_{t} = \frac{1}{R_{ta} + R_{tb} + R_{tc} + R_{td}}$$

R_{ta} =	Rsi + R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + Rse	fa =	$\frac{550 \cdot 550}{600 \cdot 600}$	=	0,840
R_{ta} =	5,263 m2K/W				
R_{tb} =	Rsi + R1 + R2 + R3,1 + R4 + R5 + Rse	fb =	$\frac{50 \cdot 550}{600 \cdot 600}$	=	0,076
R_{tb} =	3,875 m2K/W				
R'_t =	5,575 m2K/W				

Alaliikiarvo:

$$R''_{t} = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + R''_{3} + R_4 + R_5 + R_6 + R_{se}}$$

R''₃ =	$\frac{1}{f_{3,1} + f_3}$	=	$\frac{1}{\frac{50}{600} + \frac{550}{600}}$	=	1,951
	R _{3,1} + R ₃		0,833 + 2,222		m2K/W
R''_t =	4,992 m2K/W				

$$RT = \frac{R'_{t} + R''_{t}}{2,000} = 5,284 \text{ m2K/W}$$

$$U = \frac{1}{RT} = 0,189 \text{ W/m2K}$$

$$\alpha = 0,8 \cdot \frac{df_0}{d_0} = 0,8$$

$$Rf_0 = \frac{df_0}{\lambda_0} = 0,02881636$$

$$\Delta U_f = \frac{\alpha, \lambda, Af, nf}{d_0} \frac{(Rf_0)^2}{(RT)^2} = 0,000870498$$

$$\% = 0,460$$

Uusi seinärakenne 2

R	Materiaali	d [m]	λ [W/mK]	R [m2K/W]
1	Lastulevy	0,012	0,14	0,086
2	Höyrynsulku	0,0002	0,005	0,040
3	Villa	0,1	0,045	2,222
3,1	Runko	0,1	0,12	0,833
4	Villa Rkl	0,01	0,07	0,000
5	Vinolaudoitus	0,022	0,12	0,000
6	Isover facade rkl	0,1	0,031	3,226
Rsi				0,130
Rse				0,040

Ylälikiarvo:	$\frac{1}{R't}$	=	$\frac{fa +}{Rta +}$	$\frac{fb +}{Rtb +}$	$\frac{fc +}{Rtc +}$	$\frac{fd}{Rtd}$
Rta =	$Rsi + R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + Rse$		fa =	$\frac{550 \cdot 550}{600 \cdot 600}$	=	0,840
Rta =	5,744 m2K/W		fb =	$\frac{50 \cdot 550}{600 \cdot 600}$	=	0,076
Rtb =	$Rsi + R1 + R2 + R3,1 + R4 + R5 + Rse$					
Rtb =	4,355 m2K/W					
R't =	6,104 m2K/W					

Alaliikiarvo:	$R''t$	=	$Rsi + R1 + R2 + R''3 + R4 + R5 + R6 + Rse$
R''3	$\frac{1}{f3,1 + f3}$	=	$\frac{1}{\frac{50}{600} + \frac{550}{600}}$
R''3	$\frac{1}{R3,1 + R3}$	=	$\frac{1}{0,833 + 2,222}$
R''3		=	1,951 m2K/W
R''t =	5,473 m2K/W		

RT =	$\frac{R't + R''t}{2,000}$	=	5,788 m2K/W
-------------	----------------------------	---	-------------

U =	$\frac{1}{RT}$	=	0,173 W/m2K
------------	----------------	---	-------------

LIITE 7 (2)

$$\alpha = 0,8 * \frac{df0}{d0} = 0,8$$

$$Rf0 = \frac{df0}{\lambda0} = 0,024635762$$

$$\Delta Uf = \frac{\alpha, \lambda, Af, nf}{d0} \frac{(Rf0)^2}{(RT)^2} = 0,000572603$$

$$\% = 0,331$$

Uusi seinärakenne 3

R	Materiaali	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Lastulevy	0,012	0,14	0,086
2	SPU-levy	0,07	0,023	3,043
3	Höyrynsulku	0,0002	0,005	0,040
4	Villa	0,1	0,045	2,222
4,1	Runko	0,1	0,12	0,833
5	Villa Rkl	0,01	0,07	0,143
6	Koolaus	0,022	0,12	0,183
Rsi				0,130
Rse				0,040

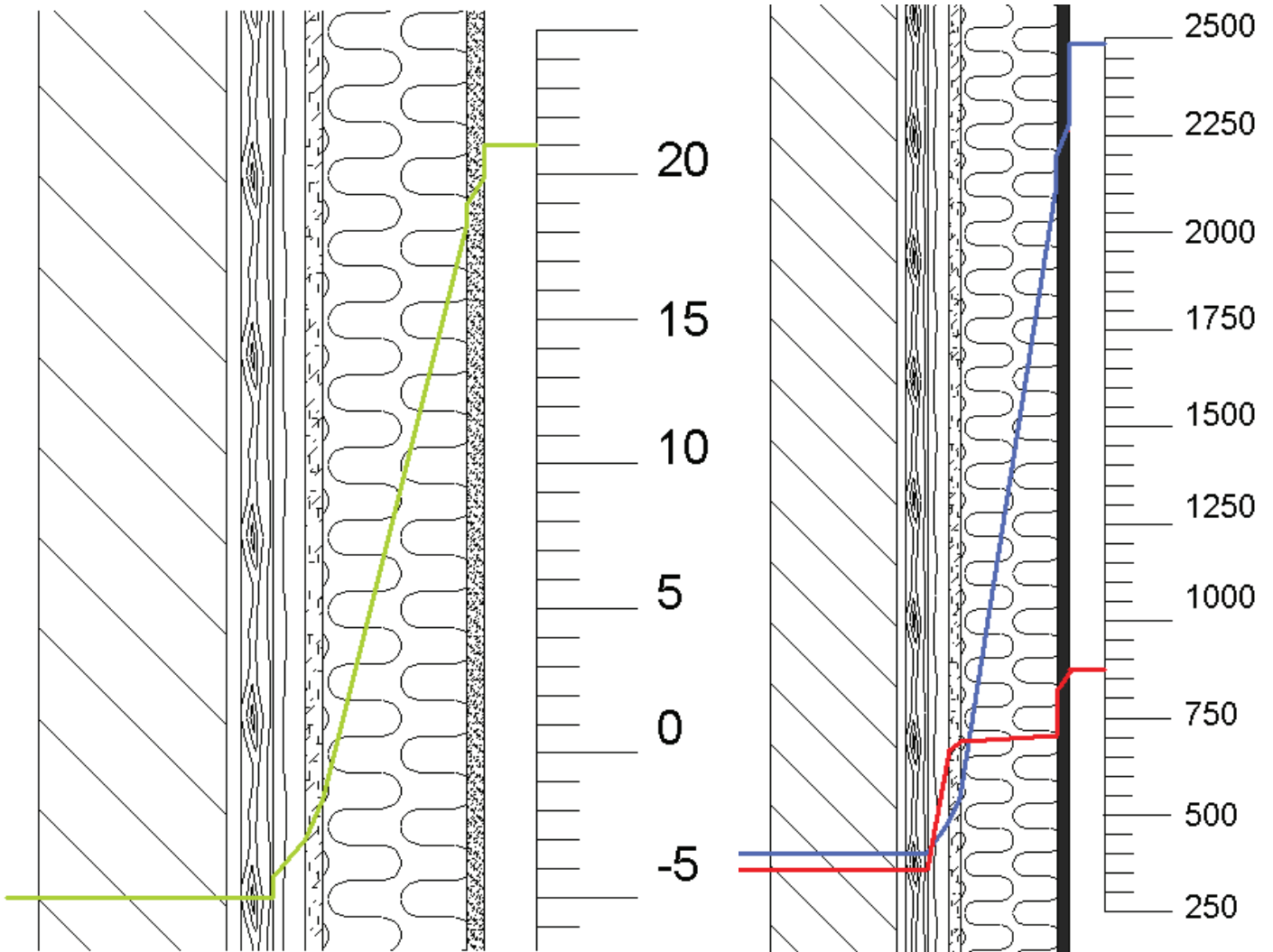
Yläikiarvo:	$\frac{1}{R't}$	=	$\frac{f_a +}{R_{ta} +}$	$\frac{f_b +}{R_{tb} +}$	$\frac{f_c +}{R_{tc} +}$	$\frac{f_d}{R_{td}}$
Rta	= Rsi + R1 + R2 + R3 + R4+R5 + Rse			fa =	$\frac{550*550}{600*600}$	= 0,840
Rta	= 5,888 m ² K/W					
Rtb	= Rsi + R1 + R2 + R3,1 + R4 +R5+ Rse			fb =	$\frac{50*550}{600*600}$	= 0,076
Rtb	= 4,499 m ² K/W					
R't =	6,262 m ² K/W					

Alalikiarvo:	$R''t$	=	$Rsi + R1 + R2 + R''3 + R4+R5+R6 + Rse$
R''3	$\frac{1}{f_{3,1} + f_3}$	=	$\frac{1}{\frac{50}{600} + \frac{550}{600}}$
	$R_{3,1} + R_3$		$0,833 + 2,222$
R''t	= 5,617 m ² K/W		m ² K/W

RT =	$\frac{R't + R''t}{2,000}$	=	5,939 m ² K/W
-------------	----------------------------	---	--------------------------

U =	$\frac{1}{RT}$	=	0,168 W/m ² K
------------	----------------	---	--------------------------

Vanhan seinärakenteen kosteustekninen toiminta



Vanha Rakenne

RT = 2,844 m²K/W

Sisälämpötila = 21 C

Ulkolämpötila = -5 C

				kyllästyspaine	Vesihöyryn vastus	Vesihöyryn osapaine
		T	[Pa]	Z *10 ⁹	kerroksen rajassa [Pa]	
Ts		21,00	2486	-		870,2
Rsi	0,13	Tp = 19,81	2310	-		870,2
R1	0,086	T1 = 19,03	2200	1,7E+09		823,2
R2	0,04	T2 = 18,66	2150	4,0E+09		713,7
R3	2,222	T3 = -1,65	541	1,2E+09		681,5
R5	0,143	T5 = -2,96	491	5,0E+08		667,8
R6	0,183	T6 = -4,63	433	1,1E+10		366,7
Rse	0,04	Tup = -5,00	421			366,7
Tu		-5	421	1,8E+10		

Tiivistyneen kosteuden määrä.

$$g_{\text{tiiv}} = \frac{p_s - p_x}{\Sigma Z_x} - \frac{p_x - p_u}{\Sigma Z - \Sigma Z_x}$$

p_s	=	745,9	Pa
p_u	=	366,7	Pa
p_x	=	491	Pa
ΣZ_x	=	6,90E+09	m ² Pa/kg
ΣZ	=	1,80E+10	m ² Pa/kg

$$\begin{aligned} g_{\text{tiiv}} &= 2,57E-08 \\ &= 0,133456 \text{ kg / m}^2 \\ &= 13,345602 \text{ g / m}^2 \end{aligned}$$

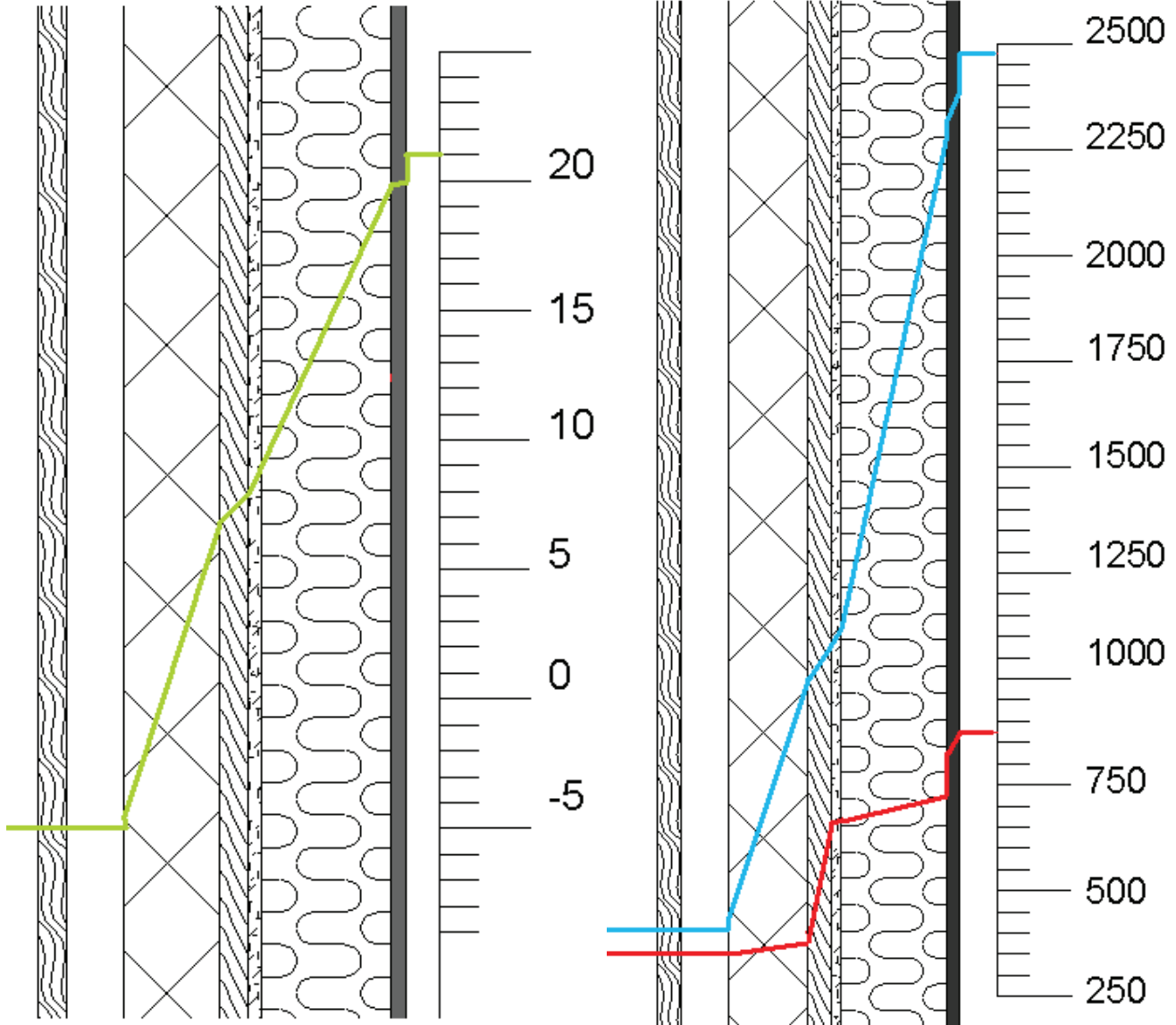
Poistuvan kosteuden määrä.

$$g_{\text{kuiv}} = \frac{p_x - p_u}{\Sigma Z - \Sigma Z_x} + \frac{p_x - p_s}{Z_x}$$

p_s	=	870,2	Pa
p_u	=	1371,9	Pa
p_x	=	1071,9	Pa
ΣZ_x	=	6,90E+09	m ² Pa/kg
ΣZ	=	1,80E+10	m ² Pa/kg
Z_x	=	5,0E+08	m ² Pa/kg

$$\begin{aligned} g_{\text{kuiv}} &= 3,76E-07 \\ &= 1,9511175 \text{ kg / m}^2 \\ &= 195,11175 \text{ g / m}^2 \end{aligned}$$

Uuden seinärakenteen 1 kosteustekninen toiminta



Uusi Rakenne 1

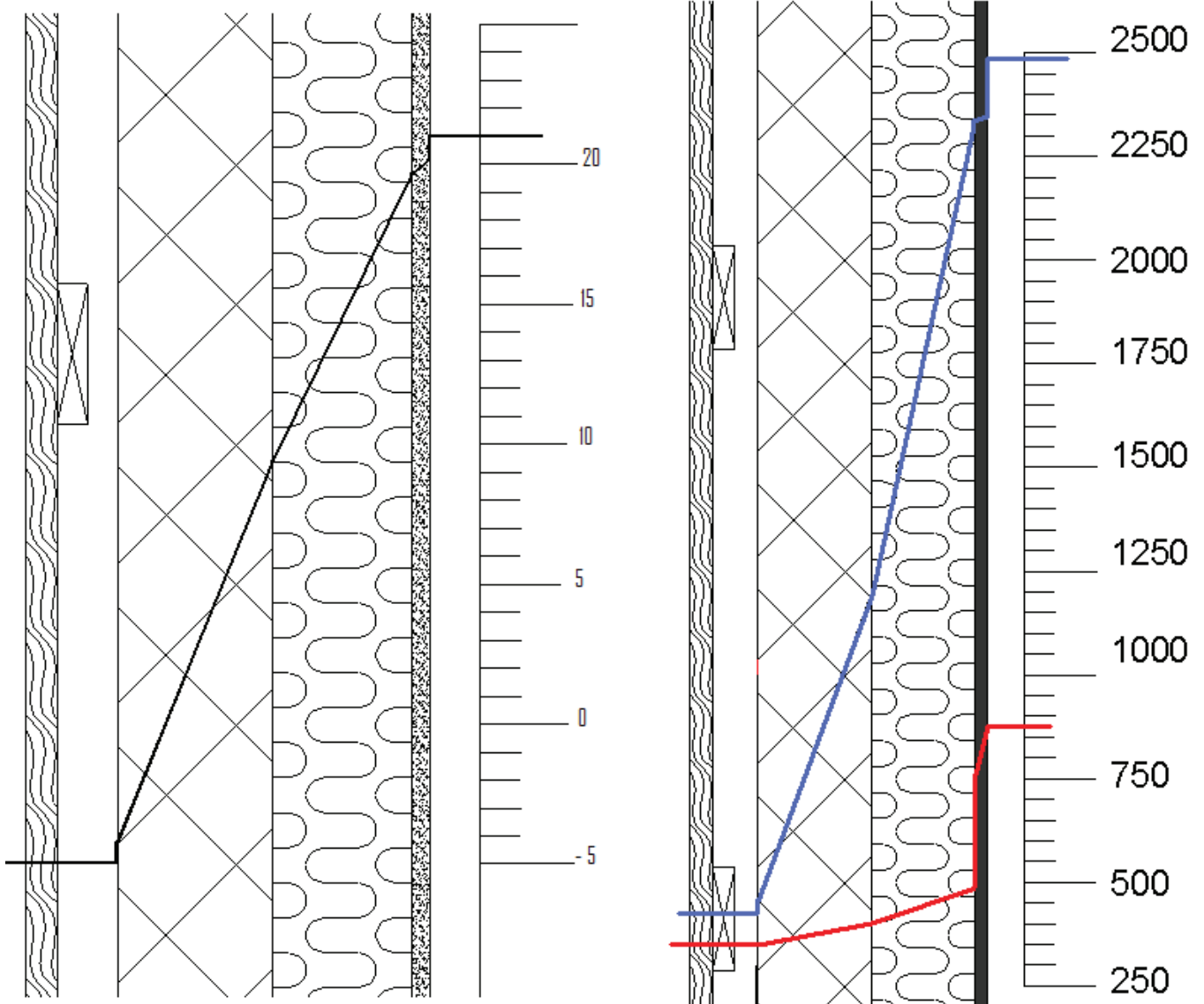
RT = 5,263 m²K/W

Sisälämpötila = 21 C

Ulkolämpötila = -5 C

				kyllästyspaine [Pa]	Vesihöyryn vastus Z *10 ⁹	Vesihöyryn osapaine kerroksen rajassa [Pa]
Ts			21,00	2486	-	870,2
Rsi	0,13	Tp	= 20,36	2390	-	870,2
R1	0,086	T1	= 19,93	2328	1,7E+09	825,1
R2	0,04	T2	= 19,74	2299	4,0E+09	719,0
R3	2,222	T3	= 8,76	1129	1,2E+09	687,2
R4	0,143	T5	= 8,05	1076	5,0E+08	673,9
R5	0,183	T6	= 7,15	1012	1,1E+10	382,3
R6	2,419	T7	= -4,80	428	5,88E+08	366,7
Rse	0,04	Tup	= -5,00	421		366,7
Tu			-5	421	1,9E+10	

Uuden seinärakenteen 2 kosteustekninen toiminta



Uusi Rakenne 2

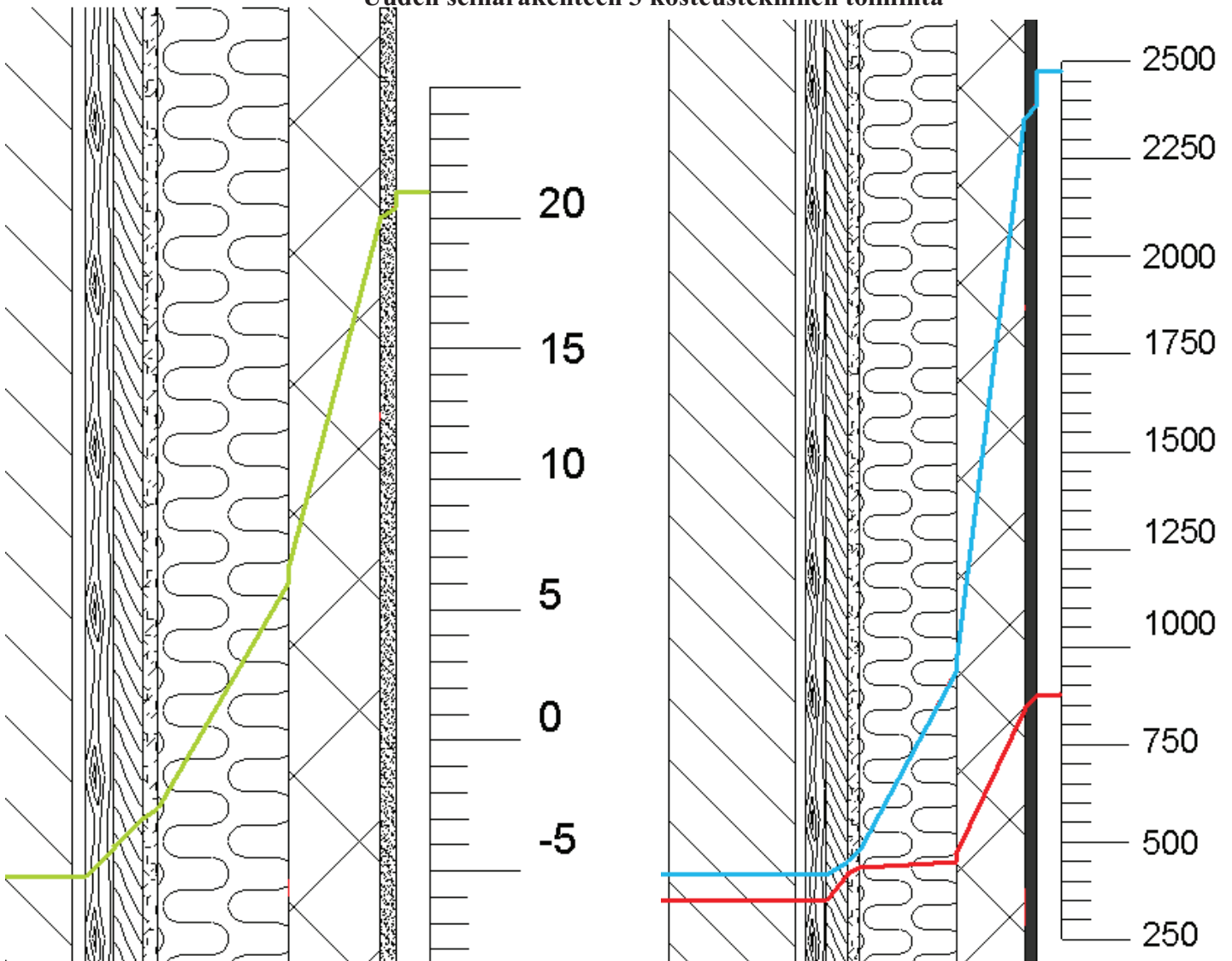
RT = 5,744 m²K/W

Sisälämpötila = 21 °C

Ulkolämpötila = -5 °C

				kyllästyspaine	Vesihöyryn vastus	Vesihöyryn osapaine	
				[Pa]		kerroksen rajassa [Pa]	
Ts			=	21,00	2486	-	870,2
Rsi	0,13	Tp	=	20,41	2398	-	870,2
R1	0,086	T1	=	20,02	2341	1,7E+09	755,9
R2	0,04	T2	=	19,84	2315	4,0E+09	486,9
R3	2,222	T3	=	9,78	1210	1,2E+09	406,2
R4	3,226	T7	=	-4,82	427	5,88E+08	366,7
Rse	0,04	Tup	=	-5,00	421		366,7
Tu				-5	421	7,5E+09	

Uuden seinärakenteen 3 kosteustekninen toiminta



Uusi Rakenne 3

RT = 5,888 m²K/W

Sisälämpötila = 21 C

Ulkolämpötila = -5 C

				kyllästyspaine	Vesihöyryn vastus	Vesihöyryn osapaine kerroksen rajassa
				[Pa]		[Pa]
Ts			=	21,00	2486	870,2
Rsi	0,13	Tp	=	20,43	2400	870,2
R1	0,086	T1	=	20,05	2344	859,0
R2	3,043	T2	=	6,61	975	476,3
R3	0,04	T3	=	6,43	963	450,1
R4	2,222	T4	=	-3,38	476	442,2
R5	0,143	T5	=	-4,01	454	438,9
R6	0,183	T6	=	-4,82	427	366,8
Rse	0,04	Tup	=	-5,00	422	366,8
Tu				-5	421	366,8

Alajuoksupuun korjausehdotus

