

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka / korjausrakentaminen ja rakennusrestaurointi

Heikki Rongas

EPÄSÄÄNNÖLLISTEN KYLMÄSILTOJEN AIHEUTTAMA LÄMPÖHÄVIÖ

Opinnäytetyö 2012

## TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

RONGAS, HEIKKI

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Toukokuu 2012

Avainsanat

Epäsäännöllisten kylmäsiltojen aiheuttama lämpöhäviö

24 sivua + 1 liitesivu

lehtori Ilkka Paajanen

päätoiminen tuntiopettaja Jani Pitkänen

Wise Group Finland Oy

kylmäsilta, lisäkonduktanssi, rakennuksen lämpöhäviö,  
rakentamismääräysten uudistus 2012

Tämän Wise Group Finland Oy:n tilaaman opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mistä rakentamismääräysten uudistuksissa 2012 on kysymys ja mitä uusia lisävaatimuksia suunnitteluun niiden myötä tulee. Erityistä huomiota kohdistetaan rakennuksen epäsäännöllisten kylmäsiltojen tarkasteluun ja niiden lämpöhäviöiden määrittämiseen, mikä uutena asiana joudutaan ottamaan huomioon rakennusten energialaskelmissa 1.7.2012 lähtien. Tarkoituksena on myös selvittää, mille suunnittelualalle kylmäsiltojen tarkastelu kuuluu. Tietoa on koottu mm. uudistuksen alla olevista rakentamismääräyskokoelman osista, ympäristöministeriön VTT:llä teettämistä oppaista ja asiantuntijahaastatteluista.

Opinnäytetyön yhteydessä on tuotettu myös erillinen Excel-laskentapohja rakennusosien välisen lisäkonduktanssien mahdollisimman yksinkertaiseen määrittämiseen. Ne perustuvat rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettuihin ohjeavotaulukoihin. Tällä laskentapohjalla määritetyt lämpöhäviöt täyttävät lain vaatiman tarkkuuden, ja vaikka ne monessa tapauksessa antavatkin tarkkaan mallinnetun rakenteen numeeriseen laskentaan nähden hieman epäedullisen arvon, on erotus todennäköisesti niin pieni, että siitä aiheutuva haitta kompensoituu säästetyssä suunnitteluajassa.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

RONGAS, HEIKKI

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

May 2012

Keywords

Heat Transfer via Irregular Thermal Bridges

24 pages + 1 page of appendices

Ilkka Paajanen, Lecturer

Jani Pitkänen, Lecturer

Wise Group Finland Oy

thermal bridge, cold bridge, linear thermal transmittance

The aim of this thesis, commissioned by Wise Group Finland Oy, is to explain the reformations in building regulations 2012, especially the determination of heat transfers via irregular thermal bridges, which will become mandatory in Finland, starting from 1.7.2012. The division of new designing tasks related to these reformations is also studied and discussed. Information has been gathered from the building regulations, guides and interviews of consultants and experts i.a.

An Excel calculation table related to this thesis was also produced to simplify the determination of heat loss due to irregular thermal bridges. The table has been created based on the default values given in part D5 of the National Building Code of Finland. Although the default values might in many cases be disadvantageous, the difference is likely so insignificant that it will be fairly compensated by the reduced amount of time spent for using the Excel table instead of designing the detailed structures for much more sophisticated simulation software.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## MÄÄRITELMIÄ

1	JOHDANTO	7
2	STANDARDIT	8
3	RAKENTAMISMÄÄRÄYSTEN UUDISTAMINEN 2012	10
	3.1 E-luku	12
	3.2 Kenen tehtäviin energiatehokkuuden laskenta kuuluu	13
4	JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖ	13
	4.1 Rakennusosien välinen viivamainen lisäkonduktanssi	14
	4.2 Pistemäinen lisäkonduktanssi	14
5	LASKENTAMENETELMÄT	14
	5.1 Laskentaohjelmat	15
	5.2 Viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaperiaate	16
	5.3 Ohjeelliset taulukkoarvot	18
6	TULOKSET	18
	6.1 Excel-laskentapohja	18
	6.2 Erilaiset liitostapaukset	19
7	LOPPUYHTEENVETO	21
8	LÄHTEET	22

## LIITTEET

Liite 1. Lisälämpöhäviön infosivu

## MÄÄRITELMIÄ

### **E-luku, energialuku** (kWh/(m<sup>2</sup> a))

Energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen netto-ostoenergian laskennallinen kulutus rakentamismääräyskokoelmissa annetuilla säännöillä ja lähtöarvoilla laskettuna lämmitettyä nettoalaa kohden (D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012).

### **Ilmoitettu lämmönjohtavuus** $\lambda_D$ (W/(mK))

Arvo, joka on voimassa olevan SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaisesti määritetty ja joka perustuu yleensä 10 °C keskilämpötilassa suoritettuihin lämmönjohtavuuden mittauksiin sekä mittaustulosten tilastolliseen käsitelyyn. Ilmoitettua lämmönjohtavuutta käytetään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon lähtötietona (D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012).

### **Kylmäsilta**

Kylmäsilta on sellainen talon vaipan kohta, josta lämpöä vuotaa ulos selvästi enemmän kuin ympäröivästä rakenteesta. Kylmäsiltoja tulee erityisesti nurkkiin sekä seinän ja lattian liitoskohtiin. (Seuna 2011.)

### **Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo** $\lambda_U$ (W/(mK))

Arvo, joka on SFS-EN-standardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan määritetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, SFS-EN-standardissa esitetty taulukoitu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, näissä ohjeissa annettu lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo tai muulla tavalla määritetty, rakennusosalle soveltuva lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo (esimerkiksi tyyppihyväksytty arvo), jota käytetään rakenteiden lämpöteknisissä laskelmissa (D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012).

### **Lämmönläpäisykerroin** $U$ (W/(m<sup>2</sup>K))

Lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen (C4 Lämmöneristys 2012).

**Lämmönvastus  $R$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )**

Termisessä jatkuvuustilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastus ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien isothermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen (C4 Lämmöneristys 2012).

**Lämpötekninen kytkentäkerroin  $L_{2D}$ , ja  $L_{3D}$  ( $\text{W}/(\text{mK})$ )**

Tarkasteltavan rakenteen läpäisevä lämpövirta, jonka aiheuttaa rakenteen eri puolilla vallitsevien olosuhteiden välinen lämpötilaero (C4 Lämmöneristys 2012).

**Pistemäinen kylmäsilta**

Kylmäsilta, joka on rakenteessa paikallinen ja jolla ei ole rakenteen pinnan suunnassa jatkuvaa samanlaisena pysyvää poikkileikkausta (Heikkinen, Hemmilä, Kouhia, Leivo & Rantala. 2011).

**Pistemäinen lisäkonduktanssi  $X$  ( $\text{W}/\text{K}$ )**

Pistemäisestä kylmäsilta (esim. teräside) aiheutuva lisäys jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen (Heikkinen ym. 2011).

**Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus  $R_{si}$  ja  $R_{se}$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )**

Rakennusosan pinnan ja sisä- tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastus (Heikkinen ym. 2011).

**Viivamainen kylmäsilta**

Kylmäsilta, jonka poikkileikkaus on rakenteen pinnan suuntaan jatkuvana samanlainen (Heikkinen ym. 2011).

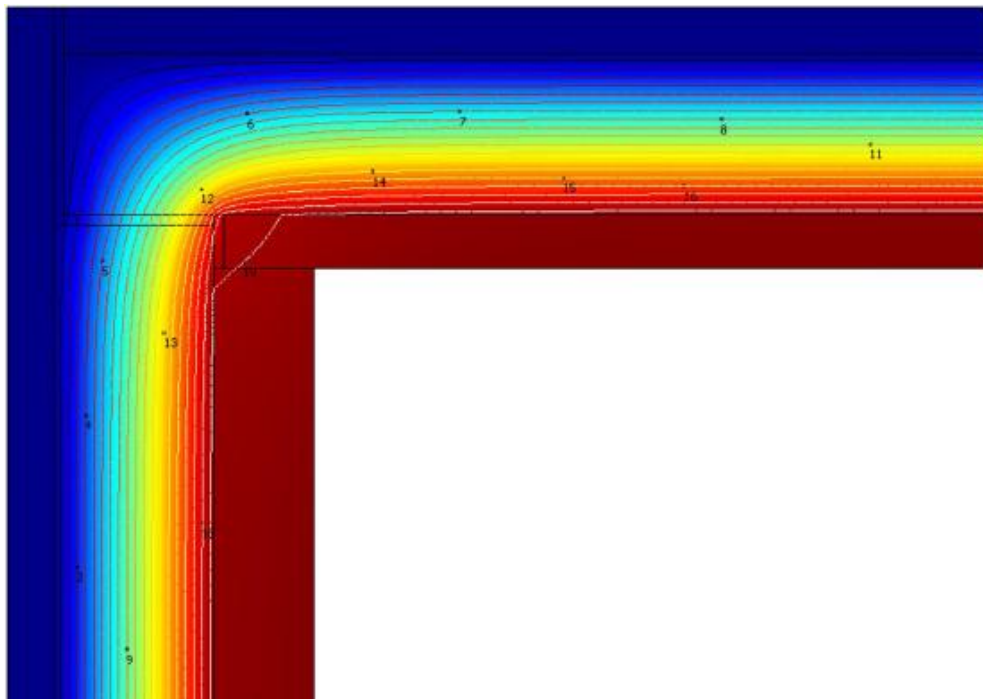
**Viivamainen lisäkonduktanssi  $\Psi$  ( $\text{W}/(\text{mK})$ )**

Rakennusosassa oleva pituusyksikön mittaisen viivamaisen kylmäsilta aiheuttama lisäys jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen (Heikkinen ym. 2011).

## 1 JOHDANTO

Kylmäsilat ovat rakennuksen vaipan paikallisia rakenneosia, joissa syntyy korkea lämpöhäviö. Ne voidaan jakaa kahteen luokkaan. *Geometrinen kylmäsilta* on sellainen rakennuksen kohta, joka poikkeaa tasaisesta muodosta johtaen sen vuoksi enemmän lämpöä. *Materiaalista johtuva kylmäsilta* on sellainen vaipan kohta, jossa on paikallisesti käytetty materiaaleja, joilla on suuri lämmönjohtavuus. (Kylmäsilat. 2011.)

Tämä opinnäytetyö käsittelee erityisesti rakennusosien välisiä epäsäännöllisiä kylmäsiltoja rakentamismääräysten uudistusten 2012 pohjalta. Kylmäsiltoista johtuva lämpöhäviö otetaan 1.7.2012 alkaen huomioon rakennuksen energiatehokkuuden laskennassa rakentamismääräyskokoelman osien D3, C4 ja D5 mukaisesti. Säännölliset kylmäsilat, kuten pystyrunko ja koolaukset, on sisällytetty jo entuudestaan rakennusosan pinta-alan U-arvoon. Tässä työssä tarkastellaan rakennusosien liitoskohtiin, kuten nurkkiin (kuvat 1 ja 2) tai alapohjaliitoksiin (kuva 7), muodostuvien viivamaisten lisäkonduktanssien laskennan periaatetta ja luodaan ohjeellinen Excel-laskentapohja näiden lämpöhäviöiden laskemiseksi. Lyhyesti käsitellään myöskin pistemäisiä lisäkonduktansseja, joita ilmenee esimerkiksi sandwich-elementtien nostolenkkien kohdalla. Ansaat useimmiten sisällytetään U-arvoon. (Heikkinen 2011; Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu 2011.)



Kuva 1. Betoniulkoseinän nurkkaliitoksen lämpötilakäyrät (Heikkinen 2011)

Rakennuksen lämpöhäviöiden pienetessä kylmäsiltojen merkitys johtumislämpöhäviöissä kasvaa, jos suunnittelussa ei kiinnitetä riittävästi huomiota kylmäsiltoja aiheuttaviin rakennedetaljeihin. Kylmäsiltoja voivat aiheuttaa energiahukan lisäksi paikallisia, asumista häiritseviä pintalämpötilojen muutoksia, josta voi seurata pinnan likaantumista ja kosteuden tiivistymistä rakenteeseen. Tässä insinööriyössä ei tarkastella tarkemmin näitä seikkoja. (Asumisterveysohje 2003; Heikkinen ym. 2011; Kylmäsiltoja 2012.)

Kylmäsiltoja käsitellään seuraavissa Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa:

D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012.

C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2012.

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012.

Edellä mainituista osista D5 ja C4 ovat tätä kirjoitettaessa vielä luonnosasteella, joten on mahdollista, että niiden sisältö vielä ennen julkaisua muuttuu.

Työtä ovat valvoneet ja ohjanneet Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puolesta lehtori, arkkitehti SAFA Ilkka Paajanen ja lehtori, RI Jani Pitkänen sekä tilaajan, Wise Group Finland Oy:n, puolesta kehityspäällikkö, RI Timo Ahti.

Wise Group Finland Oy on suomalainen yritys, joka tuottaa talonrakennusalan konsultointi-, suunnittelu- ja rakennuttamispalveluja Suomessa, Venäjällä ja Baltian maissa. Yrityksen tarpeiden mukaista oli selvittää ja omaksua uusien energiamääräysten vaikutus suunnittelutyöhön. (Wise Groupin esittely 2012.)

## 2 STANDARDIT

Kylmäsiltojen lämpöhäviöihin liittyvät eurooppalaiset standardit ovat seuraavat:

SFS-EN ISO 14683 (2008) "Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values". Tässä käsitellään lineaarista rakennusten johtumislämpöhäviötä, niiden yksinkertaistettuja laskentamenetelmiä ja niiden ohjeellisia taulukkoarvoja. (SFS-EN ISO 14683.)



SFS-EN ISO 10211 (2008) “Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations”. Tässä standardissa käsitellään tarkemmin rakennuksen osien lämpövirtoja ja pintalämpötiloja. (SFS-EN ISO 10211.)

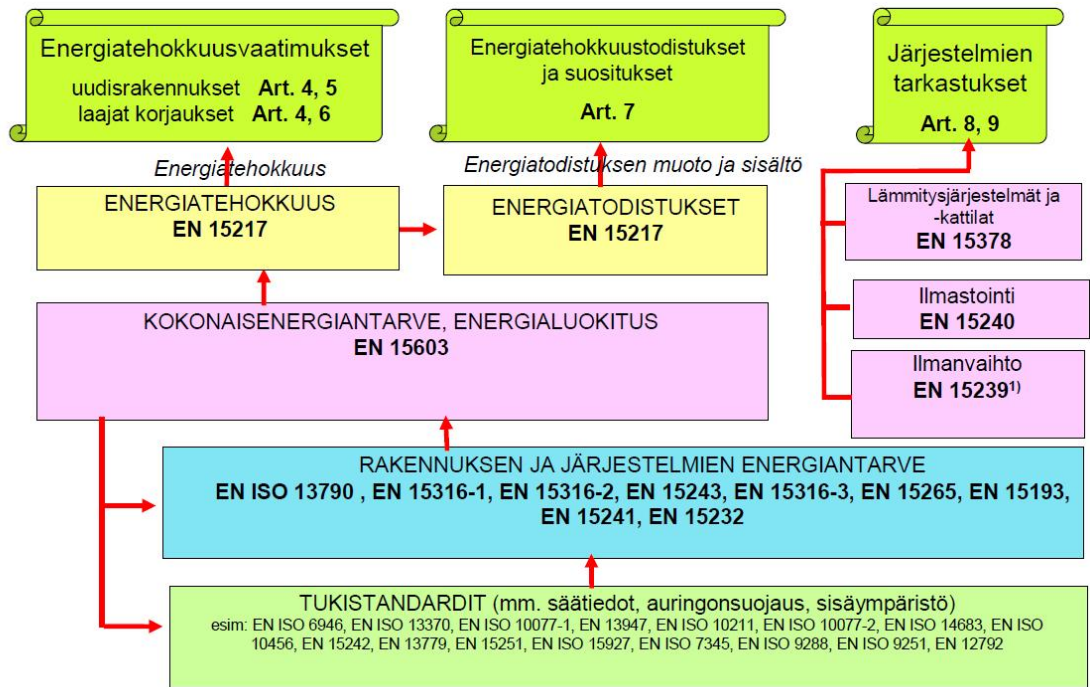
SFS-EN ISO 13370 (2008) “Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods”. Tässä käsitellään maaperän kautta siirtyvien lämpövirtojen laskentamenetelmiä. (SFS-EN ISO 13370.)

SFS-EN ISO 6946 (2008) “Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method”. Tämä standardi sisältää rakennusosien lämmönvastuksen ja lämmönläpäisyn laskentamenettelyjä. (SFS-EN ISO 6946.)

SFS-EN ISO 10456 (2007) “Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values”. Tässä selvitetään rakennuksen lämpömuutosten vaikutuksia kosteusominaisuuksiin ja annetaan sovellettavissa olevia taulukoituja suunnitteluarvoja. (SFS-EN ISO 10456.)

SFS-EN ISO 10077-2 (2007) “Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames”. Tämä standardi käsittelee ovien ja ikkunoiden lämmönläpäisyyttä sisältäen myös numeeristen laskentamenetelmien osuuden. (SFS-EN ISO 10077-2.)

Kuvassa 2 on esitetty energialaskentaan liittyvien standardien jakautuminen aiheittain.

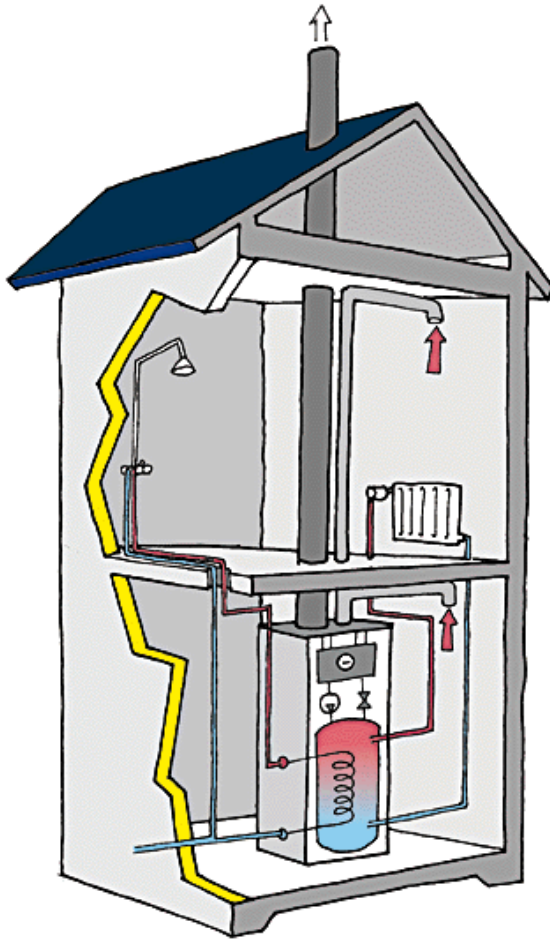


1): ei suoraan velvoitetta itse direktiivistä

Kuva 2. CEN-EPBD-standardit (Heikkinen, Rantala 2011.)

### 3 RAKENTAMISMÄÄRÄYSTEN UUDISTAMINEN 2012

Suomessa siirrytään 1.7.2012 voimaan astuvissa rakentamismääräyksissä käyttämään kokonaisenergiatarkastelua yleisenä energiatehokkuuden tarkastelutapana. Tämä tarkoittaa periaatteellista muutosta rakennusten energiatalouden suunnittelussa, kun nykyisistä osakohtaisista vaatimuksista siirrytään lämpöhäviöiden kokonaisvaltaiseen tarkasteluun. Enää ei riitä, että sisällytetään U-arvoon rakenteeseen kuuluvat säännölliset kylmäsillat, vaan on otettava huomioon myös epäsäännölliset lisäkonduktanssit, joita ovat muun muassa lineaariset rakennusosien liittymäkohdat. Rakennuksen kokonaisenergiankäytölle asetetaan tietty vaatimustaso, jonka voi saavuttaa vapaasti valittavilla ratkaisuilla. Muutoksen taustalla on EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, jonka tavoitteena on, että vuonna 2021 voitaisiin päästä lähes nollaenergiarakentamiseen ja täten vähenevään luonnonvarojen käyttöön sekä ilmatorasitukseen. Vuoden 2012 rakentamismääräyksissä käyttöön otettua kokonaisenergiatarkastelun laskentamenetelmää ei 2021 muutoksessa enää tarvitse vaihtaa. (Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu 2011.)



Kuva 3. Kokonaisenergiatarkastelussa huomioidaan lämpöenergiankulutuksen lisäksi myös lämmöntuotantotapa (Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu 2011.)

Ympäristöministeriö toivoo kokonaisenergiatarkastelun lisäävän vapaata kilpailua hankekohtaisesti kustannustehokkaimpien ratkaisujen välillä. Se olettaa, että vuoden 2012 rakentamismääräyksillä samanaikainen energiatehokkuuden parantaminen ja rakennuskustannusten aleneminen voi olla mahdollista. (Energiaohjelmat 2011; Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu 2011.)

Useammasta rakentamismääräyskokoelman osasta julkaistaan uudet versiot: D3 ”Rakennusten energiatehokkuus” kokoaa kaikki energiatehokkuusvaatimukset yhteen määräysosaan, D5 ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta” muotoutuu laskennalliseksi ohjeeksi, C3 ”Rakennusten lämmöneristys” yhdistyy D3:een, D2 ”Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto” siirtää energiatehokkuusvaatimukset D3:een ja C4 ”Lämmöneristys” siirtyy yhteen laskentamenetelmään. Viimeksi mainitussa käsitellään nyt myös kylmäsiilat. (Vuolle 2010.)

Vaikka ei rakennusosien välille syntyviä lisäkonduktansseja ole aiemmin tarvinnut lain velvoittamana laskea, on niille jo tuotettu lukuisia laskentaohjeita, esimerkiksi ”Rakennusten lämmöntarpeen laskentaohje”. (Kalema, Keränen, Luhanka, Ripatti, Saarela, Taivalantti, & Teikari 2003; Vinha 2008.)

### 3.1 E-luku

Laskennallinen energialuku on yksinkertainen tapa ilmaista rakennuksen energiatehokkuus ja rakennustyypeille asetetut raja-arvot, joita ei saa ylittää (taulukko 1). E-luvussa näkyy ostoenergian laskennallinen vuotuinen kulutus lämmitettyä nettoalaneliötä kohti rakennustyyppin standardikäytöllä. Lukuun sisältyy myös energian tuotantomuodosta riippuva kerroin, jonka on tarkoitus suosia uusiutuvia energianlähteitä ja vähäisiä ilmastorasituksia siten, että esimerkiksi pellettikattilalla tuotettu lämpö tekee noin puolet pienemmän kertoimen kuin sähköpattereilla tuotettu. (Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu 2011.)

Laskentaan tarvittavia lähtötietoja ovat rakennusosien pinta-alat, lämmönläpäisykerroimet, ilmanvaihdon ilmavirrat sekä ilmanvaihtojärjestelmän käyntiajat.

Taulukko 1. Rakennustyyppikohtaiset E-luvun raja-arvot (Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu 2011.)

Uudisrakennusten E-luku ei saa ylittää seuraavia raja-arvoja:	
1	Erilliset pientalot ja rivi- sekä ketjutilat
2	Asuinkerrostalot
3	Toimistorakennukset
4	Liikerakennukset
5	Majoitusliikerakennukset
6	Opetusrakennukset ja päiväkodit
7	Liikuntahallit, pois lukien uima- ja jäähallit
8	Sairaalat
9	Muut rakennukset

### 3.2 Kenen tehtäviin energiatehokkuuden laskenta kuuluu

Yksi uudistusten suuripiirteinen tema on alusta asti ollut eri alojen suunnittelijoiden välisen yhteistyön lisääminen. Se, kuinka energiatehokkuuden laskenta tulevaisuudessa tarkalleen ottaen jakautuu rakennesuunnittelijan ja talotekniikan suunnittelijan kesken, on kuitenkin vielä epäselvää, eikä ympäristöministeriökään ole ottanut kantaa työnjakoon. Todennäköisesti LVI-suunnittelutoimistoissa tulee olla jatkossa jonkinlainen energiatehokkuusasiantuntija, jonka vastuulla asia on. Rakentamismääräyskoelman D-osissa ohjeistetut tarkastelut kuuluvat Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry:n laatimissa tehtäväluetteloissa talotekniikan suunnittelijalle, ja C-osissa ohjeistetut rakennesuunnittelijalle. (Lehtinen 2012; Pulliainen 2012; Sormunen 2012.)

Rakennesuunnittelija siis oletettavasti laskee edelleen vain rakennetyyppien U-arvot ja vastaa siitä, että rakenteet ovat mahdollisimman lämmönpitäviä ja että kylmäsiltoja on mahdollisimman vähän. Talotekniikan suunnittelija vastaa energian tuotantotavasta, kokoa tiedot kokonaislämpöhäviöön vaikuttavista asioista, kuten kylmäsiltojen laadusta ja määrästä, ja laskee rakennuksen E-luvun. (Kanerva 2012; Tawast 2012.)

## 4 JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖ

Johtuminen on yksi kolmesta lämmön siirtymismuodosta. Siinä lämpöenergia siirtyy materiaalin molekyyleissä tapahtuvan sisäisen värähtelyn vaikutuksesta ilman, että molekyylien paikat vaihtuisivat. Lämpöenergia siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Johtumista mitataan rakennuksissa watteina lämpöeroastetta kohti. Rakennuksen johtumislämpöhäviö (kaava 1) voidaan laskea kertomalla kunkin rakennusosan lämmönläpäisykerroin sen pinta-alalla ja viivamaisten kylmäsiltojen lämmönläpäisykerroimet niiden pituuksilla. Näiden kaikkien summaan lisätään vielä mahdollisista pistemäisistä kylmäsilloista johtuvat lämpöhäviöt. (Vinha 2008.)

$$H_{joht} = \sum U_{ulkoseinä} A_{ulkoseinä} + \sum U_{yläpohja} A_{yläpohja} + \sum U_{alapohja} A_{alapohja} + \sum U_{ikkuna} A_{ikkuna} + \sum U_{ovi} A_{ovi} + \sum_k \Psi_k l_k + \sum_j X_j \quad (1)$$

missä

$H_{joht}$  on rakennusosien ja niiden liitosten yhteenlaskettu johtumislämpöhäviö, W/K,

$U$  on rakennusosan lämmönläpäisykerroin,  $W/(m^2K)$ ,

$A$  on rakennusosan pinta-ala,  $m^2$ ,

$\Psi_k$  on kahden rakennusosan välisen liitoksen  $k$  viivamainen konduktanssi,  $W/(m \cdot K)$ ,

$l_k$  on kahden rakennusosan välisen liitoksen  $k$  pituus,  $m$  ja

$X_j$  on pistemäisen kylmäsilan  $j$  aiheuttama lisäkonduktanssi,  $W/K$ .

#### 4.1 Rakennusosien välinen viivamainen lisäkonduktanssi

Rakennusosien pinta-alan lämmönläpäisykerroimet,  $U$ -arvot, määritetään rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti. Nämä lämmönläpäisykerroimet lasketaan kuitenkin rakennusosalle erikseen, ottamatta huomioon miten ne liittyvät muihin rakennuksiin. Rakennusosan reunalla oletetaan siis vallitsevan täydellinen lämmöneristys. Tämän oletuksen aiheuttama epätarkkuus korjautuu, kun lasketaan koko rakennuksen johtumislämpöhäviö tarkastellen myös eri rakennusosien välisiä liittymäkohtia, kuten sisä- ja ulkonurkkia, ikkunoiden ja ovien reunoja ja alapohjaliittymiä rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Näiden eri liittymätyyppien viivamaiset lisäkonduktanssit sisältyvät rakennuksen johtumislämpöhäviön kaavaan (1) terminä  $\Psi_k$  ( $W/(m \cdot K)$ ). (Heikkinen ym. 2011.)

#### 4.2 Pistemäinen lisäkonduktanssi

Pienikokoinen, eristeen läpi menevä kappale voidaan huomioida kokonaislämpöhäviössä pistemäisenä lisäkonduktanssina  $X$  ( $W/K$ ). Tällaisia ovat esimerkiksi betonielementeissä käytettävät ruostumattomat SCR-nostolenkit ja ulokeparvekkeiden raudoituselementit, jotka läpäisevät lämmöneristeen. Uusi määräyskokoelma kuitenkin vaatii ainoastaan taulukoitujen rakennusosien välisten liitoskohtien huomioimisen lämpöhäviölaskelmissa, mutta näihin ei kuulu parvekeliitoksia eikä mitään pistemäisiä kylmäsiltoja. Laskenta voi silti olla tarpeen, jos jokin tietty kylmäsilta saattaa aiheuttaa ympäristöministeriön asumisterveysohjeen sallimien huoneiden sisäpintojen lämpötilojen raja-arvojen rikkoutumisen paikallisesti. (Asumisterveysohje 2003; D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012.)

## 5 LASKENTAMENETELMÄT

Numeerinen laskenta, joka käytännössä suoritetaan laskentaohjelmilla, perustuu siihen, että laskenta-alue jaetaan mahdollisimman moneen laskentaelementtiin ja ratkais-

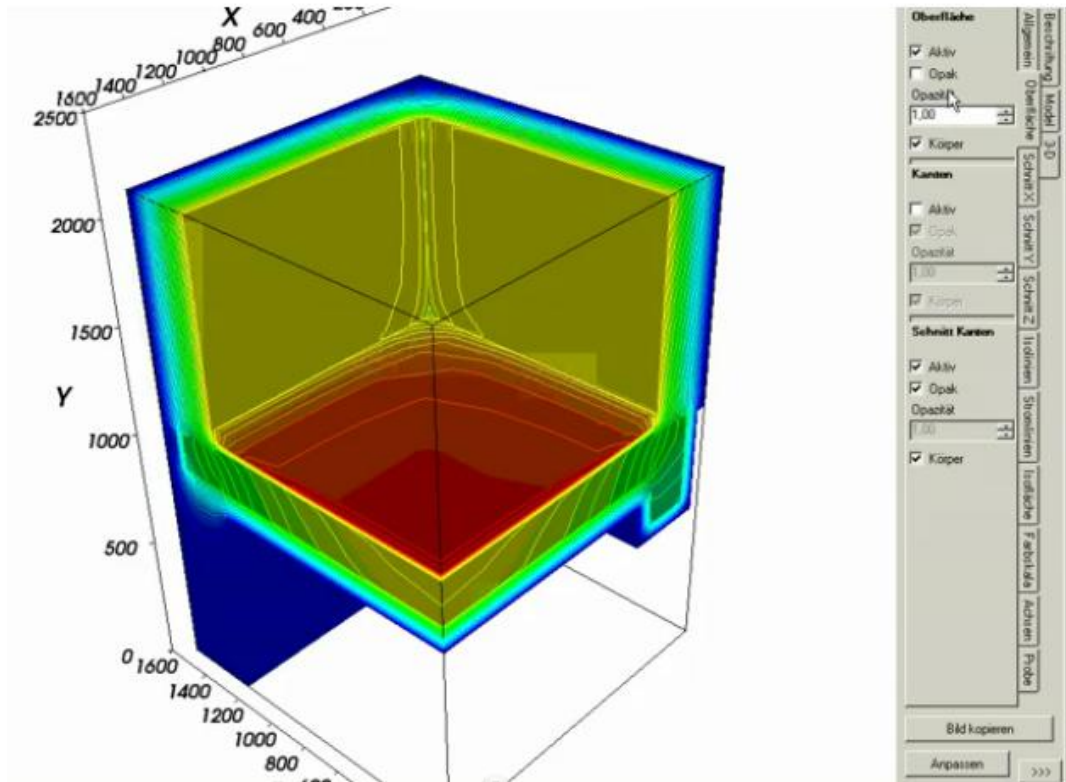
taan niiden sisällä vallitsevat lämpötilojen yhtälöryhmät. Tuloksena saatava lämpötilakenttä lähenee differentiaaliyhtälön tarkkaa ratkaisua, kun laskentaverkko tihenee. (Heikkinen ym. 2011.)

Differentiaaliyhtälön ratkaisumatematiikka voi perustua differenssimenetelmään, tilavuusalkiomenetelmään tai elementtimenetelmään. Laskentaohjelman käyttäjän kannalta menetelmällä ei ole juuri väliä. Tärkeintä on varmistua siitä, että laskentaverkko on kussakin tapauksessa riittävän tiheä. Asia selviää vertailemalla tuloslämpövirtojen muutosta, kun verkkoa tihennetään. Tulos on riittävän tarkka, kun lämpövirrat eivät enää muutu merkittävästi verkkoa tihennettäessä. (Heikkinen ym. 2011.)

## 5.1 Laskentaohjelmat

Johtumislämpöhäviön laskentaan on tarjolla lukuisia ohjelmia; osa on ilmaisia, osa hyvinkin kalliita. Suurin osa näistä on testattu laskemalla standardin EN ISO 10211 neljä tähän tarkoitettua laskentaesimerkkiä. Vähimmäisvaatimuksena ohjelmille on kaksiulotteisen kentän laskentamahdollisuus jatkuvuustilassa, mutta on olemassa myös valtava määrä kolmiulotteisesti mallintavia lämpölaskentaohjelmia. Kaksiulotteisia ovat esimerkiksi Argos, Bisco, Chambles, Delphin, Flixo, FramePlus, Heat2, KOBRU86, TAS ambiens, Therm ja WUFI 2D. Kolmiulotteisesti mallintavia ohjelmia ovat esimerkiksi AnTherm, David32, HAMLab, Heat3, KOBRA v3.0w, RadTherm, Solido, Trisco ja Unorm. (Heikkinen ym. 2011.)

Kuvassa 4 on ruutukaappaus AnTherm-laskentaohjelmasta, jossa tarkasteltava rakenne lämmönjohtavuuksineen mallinnetaan kolmiulotteisesti. Sen avulla voidaan selvittää lämpövirtojen lisäksi myös muun muassa rakenteen kosteusominaisuuksia. (Kornicki 2012.)

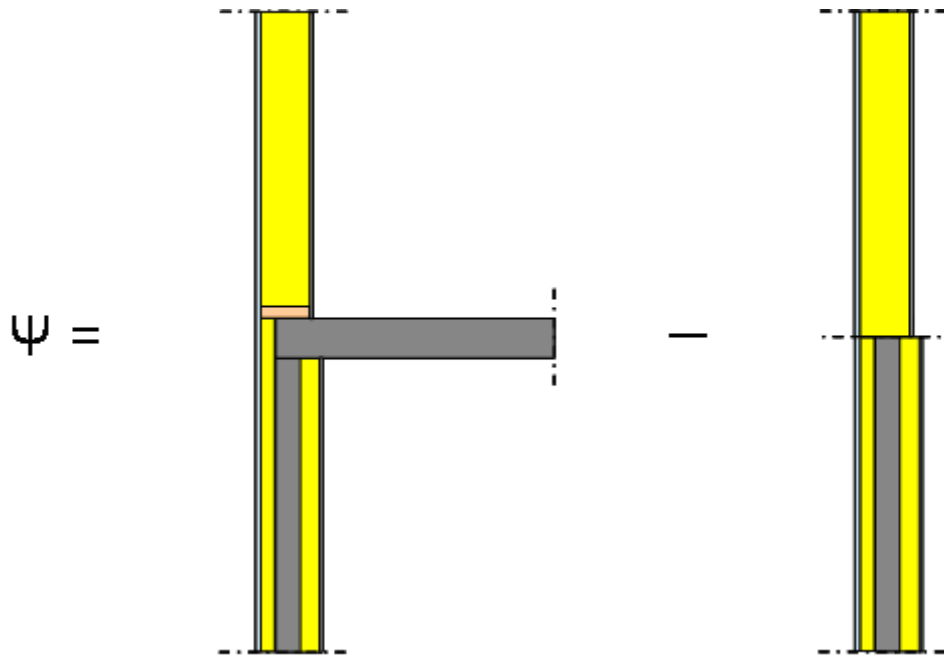


Kuva 4. AnTherm-laskentaohjelma (Kornicki 2012.)

## 5.2 Viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaperiaate

Jotta voidaan selvittää jonkin liitoskohdan lisäkonduktanssin osuus lämpöhäviöstä, täytyy sama rakenne ensin laskea numeerisesti, esimerkiksi jollakin luvussa 5.1 mainitulla ohjelmalla, ja sen jälkeen, rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti, rakennusosien lämmönläpäisykertoimia sekä pintavastuksia käyttäen, säännönmukaisena rakenteena (kaava 2). Kuvassa 5 on esimerkkinä välipohjaliitos. Vasemmalla on todellinen, numeerisesti määriteltävissä oleva tilanne, ja oikealla U-arvoilla laskettavissa oleva vertailutilanne. (Heikkinen ym. 2011.)





Kuva 5. Lisäkonduktanssin vähennyslaskuperiaate (Heikkinen ym. 2011.)

Näiden lämpöhäviöiden erotukseksi jää tuolloin lisäkonduktanssin vaikutus, joka muutetaan viivamaiseen muotoon jakamalla se käsitellyn liitoksen pituusmitalla. Jos lämpöhäviön tulos saadaan valitusta ohjelmasta watteina, täytyy lopputulos vielä jakaa laskennassa käytetyllä lämpötilaerolla, jotta viivamaisen lisäkonduktanssin yksiköksi tulisi  $W/(m \cdot K)$ . Työtä voidaan kuitenkin helpottaa jättämällä jo alun pitäen lämpötilaeron vaikutus pois laskuista tai laittamalla sen paikalle luku 1. Toinen seikka, joka helpottaa laskentaa, on käsiteltävän rakenteen reunoille asetettava adiabaattinen lämmöneristys, joka tarkoittaa, ettei lämpöä oleteta siirtyvän lainkaan alueen ulkopuolelle. (SFS-EN ISO 10211.)

Tarkasteltava elementti voidaan rajata rakenteiden symmetriatasoilta, joiden kummallakin puolella rakenteet ja kylmäsillat ovat identtiset sekä vähintään  $d_{min}$  etäisyydeltä tarkasteltavasta liitoksesta tai kylmäsillasta, missä  $d_{min}$  on vähintään 1 m tai kolme kertaa liitokseen liittyvän rakenneosan paksuus. (SFS-EN ISO 10211.)

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j \quad (2)$$

missä

$L_{2D}$  [W/(mK)] on kaksiulotteisella laskennalla määritetty lämpötekninen kytkentäkerroin tarkasteltavalle liitokselle ja liittyville rakennusosille.

$U_j$  [W/(m<sup>2</sup>K)] on liittyvän rakenneosan  $j$  lämmönläpäisykerroin.

$l_j$  (m) on mallissa kuvatun rakenneosan  $j$  pituus, jolla läpäisykerrointa  $U_j$  voidaan soveltaa.

Kaavan 2 lämmönläpäisykertoimelle  $U_j$  ja pituudelle  $l_j$  käytetään rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisia määritelmiä. Näin saadaan lisäkonduktanssille  $\Psi$  arvo, joka johtaa oikeaan rakennuksen johtumislämpöhäviöön kaavassa 1 ja rakentamismääräyskokoelman osassa D5. (Heikkinen ym. 2011; SFS-EN ISO 10211.)

### 5.3 Ohjeelliset taulukkoarvot

Edellä selostettuja menetelmiä käyttäen on ympäristöministeriön valvonnan alaisesti tuotettu Suomen rakentamismääräyskokoelman uudistettuun osaan D5 ohjeellisia taulukkoarvoja, joita erilaisissa rakennusosien välisissä liitoskohdissa voidaan käyttää johtumislämpöhäviön suuruuden laskemiseen. Nämä lukuarvot koskevat tutkittua rakennetta perusmuodossaan ja ovat usein hieman suurempia kuin numeerisesti lasketuna. Muunnetuille rakenteille löytyy tuloksia esimerkiksi VTT:n tutkimusraportista VTT-R-07901-11. (Heikkinen 2011; Heikkinen ym. 2011; D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012.)

## 6 TULOKSET

### 6.1 Excel-laskentapohja

Tässä opinnäytetyössä laadin Microsoft Office Excel -taulukko-ohjelmalla yksinkertaistetun ja erittäin helppokäyttöisen laskentapohjan (kuva 6) viivamaisten lisäkonduktanssien määrittämiseksi eri tapauksissa. Kaikissa tapauksissa toisena osapuolena on ulkoseinä. Tapaus määrittellään valitsemalla pudotusvalikosta ensimmäiseksi ulkoseinän rakennemateriaali; vaihtoehtoina ovat betoni, kevytbetoni, kevytsorabetoni, tiili, puu, hirsi tai muu. Seuraavasta valikosta valitaan ulkoseinää vastassa oleva rakennusosa, jonka vaihtoehtoina ovat yläpohja, välipohja, alapohja, toinen ulkoseinä, ovi tai

ikkuna. Kolmannesta valikosta valitaan edellä määrätylle osalle materiaali taikka tyyppi, kuten alapohjalle betoni ryömintätilalla taikka ulkoseinälle sisänurkka.

Lisäkonduktanssin kertoimet on haettu luvussa 5.3 mainituista ohjeellisista taulukoista. Nämä eri tapauksia koskevat taulukot on yhdistetty yhdeksi isoksi taulukoksi datasivulle, josta ohjelma noutaa arvot valintojen perusteella. Koska lähteenä käytetty rakennusmääräyskokoelman osa (D5) on vielä tätä kirjoitettaessa luonnosasteella, on sen valmistuttua taulukon arvot tarkastettava, jotta ne edelleen täsmäävät Excel-laskentapohjan datasivulla olevien kanssa. Ohjearvojen käyttö edellyttää, että liitokset on toteutettu hyvän rakentamistavan mukaisesti pyrkien minimoimaan liitosalueelle syntyvät kylmäsilat (D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012).

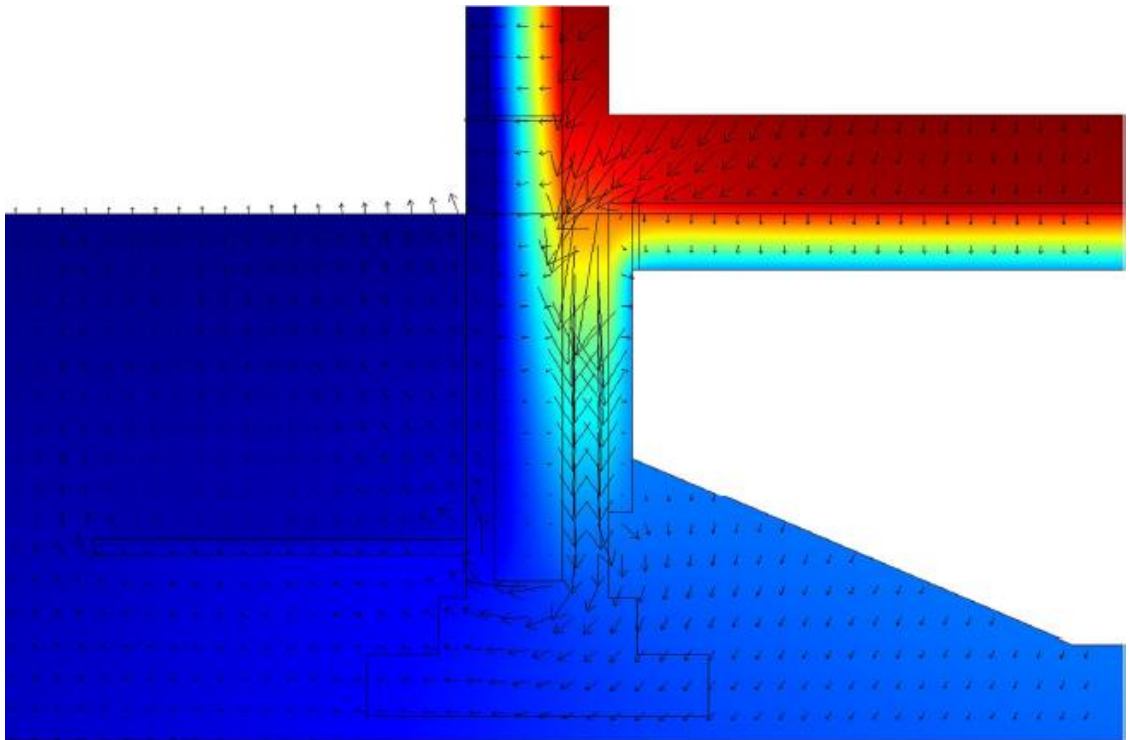
ULKOSEINÄN JA JONKIN TOISEN RAKENNUSOSAN LIITTYMÄKOHDAN JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖ	
ULKOSEINÄN RUNKOMATERIAALI	BETONI
VASTASSA OLEVA RAKENNUSOSIA	YLÄPOHJA BETONI
VIIVAMAINEN LISÄKONDUKTANSSI $\psi_{lv}$	0,08 W/(m·K)
KYLMÄSILLAN PITUUS	10 m
LÄMPÖTILAERO	45 K
AIHEUTUNUT LÄMPÖHÄVIÖ	36 W

Kuva 6. Excel-laskentapohja

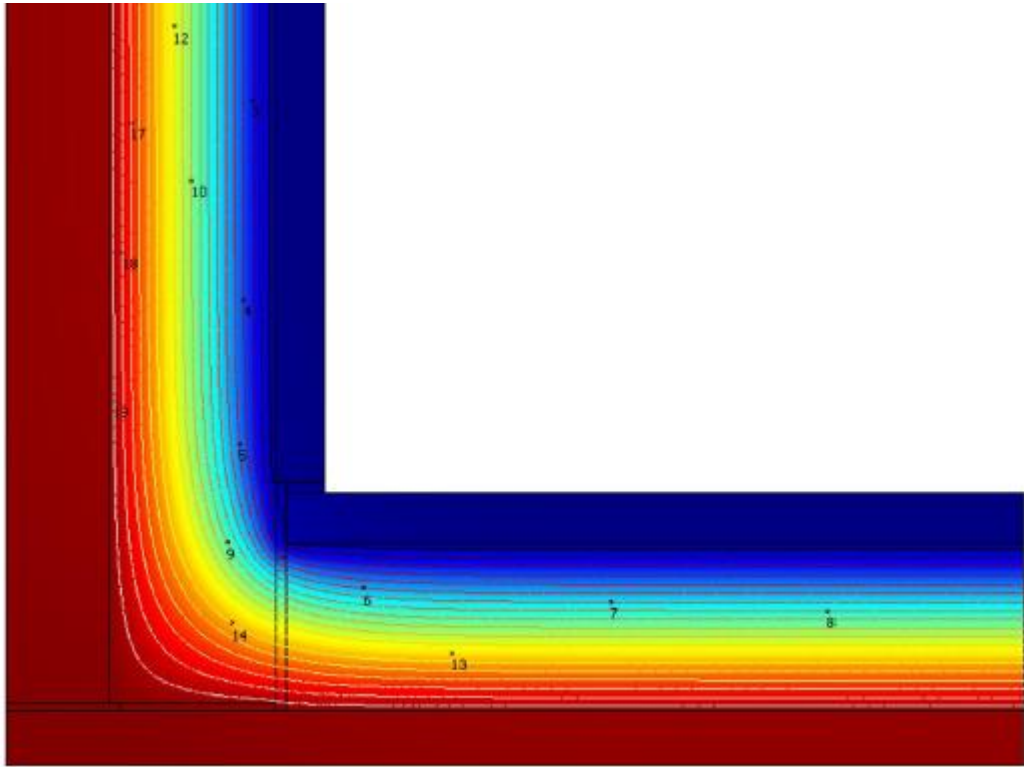
## 6.2 Erilaiset liitostapaukset

Ohjeartavotaulukoiden liitostapauksiin kuuluvat maanvastaisen alapohjan, ulkoseinän ja sokkelin liitos; ryömintätilaisen alapohjan, ulkoseinän ja sokkelin liitos; ulkoseinän ja

yläpohjan liitos; ulkoseinän ja välipohjan liitos; ikkunan ja seinän liitos sekä erisuuntaisten ulkoseinien välinen liitos. Näistä haarautuu vielä kustakin noin 20 eri tapausta sen mukaan, mitä materiaaleja rakenneosissa käytetään esimerkiksi puurankaisen ulkoseinän ja ikkunan välinen liitos, betoniulkoseinän ja betonirakenteisen ryömintätilaisen alapohjan liitos (kuva 7), eristetyn tiiliseinän ja ikkunan välinen liitos, betoniseinän sisänurkkaliitos (kuva 8), kahden hirsiseinän ulkonurkkaliitos, kevytbetoniseinän ja puuyläpohjan liitos tai massiivinen kevytbetoniseinän ja maanvastaisen betonialapohjan liitos. (D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen las- kenta 2012.)



Kuva 7. Betoniulkoseinän ja betonirakenteisen ryömintätilaisen alapohjan liitoksen lämpövirtaukset (Heikkinen 2011.)



Kuva 8. Betoniulkoseinän sisänurkkaliitoksen lämpötilakäyrät (Heikkinen 2011.)

## 7 LOPPUYHTEENVETO

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annetut taulukkoarvot, joita kohdassa 6 käsitellyssä Excel laskentapohjassa on käytetty, ovat erittäin helppo ja yksinkertainen tie rakennusosien lisäkonduktanssien määrittämiseen silloin, kun pyritään ensisijaisesti täyttämään lain vaatimukset lämpöhäviöiden määrittämisessä. Vaikka ohjearvojen on arvioitu monessa tapauksessa antavan tarkkaan mallinnetun rakenteen numeeriseen laskentaan nähden epäedullisen arvon, on erotus usein niin pieni, että siitä aiheutuva haitta kompensoituu säästetyssä suunnitteluajassa. (SFS-EN ISO 14683.)

Rakennesuunnittelun ja talotekniikan suunnittelun välinen tehtävänjako uusissa energialaskelmissa on vielä tätä kirjoitettaessa työn alla, mutta on mahdollista, että rakennesuunnittelijalta vaaditaan tarvittavat lähtötiedot, jotta kylmäsilat voidaan ottaa mukaan kokonaislämpöhäviölaskelmaan. Tähän oletukseen perustuen on laadittu myös karkea malli infosivusta (liite 1), jolla kylmäsilan tiedot on yksinkertaisesti esitetty.

## 8 LÄHTEET

Asumisterveysohje 2003. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

C4 Lämmöneristys 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luonnos 16.6.2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.

D3 Rakennusten energiatehokkuus 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö.

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luonnos 14.3.2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Energiaohjelmat 2011. Sitra. Saatavissa:

<http://www.sitra.fi/fi/Ohjelmat/energia/hankkeet/2012rakentaminen/2012rakentaminen.htm> [viitattu 5.10.2011].

Heikkinen, J. 2011. Betonielementtirakenteisen rakennuksen vaipan kylmäsilta tarkastelut. Helsinki: VTT.

Heikkinen, J., Hemmilä, K., Kouhia, I., Leivo, V. & Rantala, J. 2011. Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kalema, T., Keränen, H., Luhanka, J., Ripatti, R., Saarela, T., Taivalantti, K. & Teikari, M. 2003. Rakennusten lämmöntarpeen laskentaohje. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK.

Kalliomäki, P. 2012. Yli-insinööri. Ympäristöministeriö. Haastattelu 7.5.2012.

Kanerva, I. 2012. Suunnittelupäällikkö, DI. Haastattelu 10.4.2012. Kotka: Wise Group Finland Oy.

Kornicki, T. 2012. Thermal Heat Bridge Calculation with Software AnTherm. Saatavilla: <http://www.kornicki.com/antherm/EN/> [viitattu 11.5.2012].

Kylmäsilat 2012. Linterm Oy. Saatavilla:

<http://www.schoeck.fi/fi/tuotteet/laempoeeristys-2> [Viitattu 10.5.2012]

Lehtinen, T. 2012. Rakennusneuvos. Ympäristöministeriö. Haastattelu 4.5.2012.

Pulliainen, M. 2012. LVI-talotekniikkateollisuus ry:n asiantuntija, DI. Haastattelu 10.4.2012.

Seuna, S. 2012. Kylmäsilat. Saatavissa:

[http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen\\_suunnittelu/kylmasilat](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/kylmasilat) [viitattu 20.4.2012].

SFS-EN ISO 14683 2008. Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values.

SFS-EN ISO 10211 2008. Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations.

SFS-EN ISO 13370 2008. Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods.

SFS-EN ISO 6946 2008. Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method.

SFS-EN ISO 10456 2007. Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.

SFS-EN ISO 10077-2 2007. Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 2: Numerical method for frames.

Sormunen, P. 2012. Energia ja ympäristö –osaston johtaja, TkT. Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. Haastattelu 15.5.2012.

Tawast, I. 2012. Rakennetekniikan toimialajohtaja, TkL. FMC Group. Haastattelu 15.5.2012.

Vinha, J. 2008. Rakennusfysiikan luentomoniste, osa 1. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Vuolle, M. 2010. Rakennusten energiatehokkuutta koskevat määräykset vuonna 2012. Saatavissa: <http://www.lvi-tu.fi/treffit10/Mika%20Vuolle%202010-10-08.pdf> [viitattu 18.2.2012].

Wise Groupin esittely 2012. Wise Group Finland Oy. Saatavissa: <http://www.wisegroup.fi> [viitattu 13.5.2012].

Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380376&lan=fi&clan=fi> [viitattu 18.2.2012].



