

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja ympäristötekniikka

INSINÖÖRITYÖ

LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMEN MÄÄRITYS OVIRAKENTEILLE

Työn tekijä: Risto A. Hämäläinen

Työn valvoja: Markku Jantunen

Työn ohjaaja: Mika Rintala

Työ hyväksytty: __. __. 2008



ALKULAUSE

Tämä insinööriyö tehtiin Saajos Oy:lle sen markkinointi- ja tuotekehitysosaston yhteisestä toivomuksesta vastata teollisuuden ja julkisen palvelualan tarpeeseen nykyistä paremmasta energiatehokkuuden suunnittelun mahdollisuudesta rakennusten oviratkaisuja valittaessa. Haluan kiittää projektissa mukana olleita henkilöitä Saajos Oy:ltä, erityisesti tuotantoinsinööri Mika Rintalaa, ja opinnäytetyön valvojaa lehtori Markku Jantusta.

Helsingissä 2.5.2008

Risto A. Hämäläinen

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Risto A. Hämäläinen	
Työn nimi: Lämmönlämpäisykertoimen määrittäminen ovirakenteille	
Päivämäärä: 2.5.2008	Sivumäärä: 16 s. + 2 liitettä
Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Energia- ja ympäristötekniikka
Työn valvoja:	lehtori Markku Jantunen
Työn ohjaaja:	insinööri Mika Rintala, Saajos Oy
<p>Lohjalainen palo-oviin ja muihin mm. julkishallinnon rakennusten rakentajien ja telakkateollisuuden käyttämiin ulko- ja välioviratkaisuihin erikoistunut valmistusyritys Saajos Oy oli kokenut tarpeen saada käyttöönsä laskentaohjelma, jolla heidän tuotteensa ominaisuudet voitaisiin määrittää myös lämmöneristyksen osalta.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä lähdettiin liikkeelle ympäristöministeriön antamista ohjeista (2003) lämmönlämpäisykertoimen määrittämisessä. Tarkoituksena oli suorittaa laskentamallinnuksia tietyille ovirakennetyypeille ja laatia laskentaohjelma, jonka antamia tuloksia verrattaisiin koeolosuhteissa tehtyihin mittauksiin. Näihin kahteen eri määrittämistapaan perustuen oli tarkoitus todeta laskentaohjelman soveltuvuus tulevaisuutta varten ja määrittää sen antamien tulosten vastaavuus mittauksilla todennettujen arvojen kanssa.</p> <p>Laskentaohjelman tavoitteena oli olla mahdollisimman helppokäyttöinen ja nopea. Siten se palvelisi sekä uusien tuotteiden lämpötaloudellista tuotesuunnittelua, että jo olemassa olevien tuotteiden markkinointia.</p> <p>Laskentaohjelman kehitystyö jatkuu edelleen, ja toivonkin sen saavuttavan asetetut tavoitteet koekäyttövaiheen jälkeen.</p>	
Avainsanat: lämmönlämpäisykerroin, U-arvo, k-arvo, energiatekninen suunnittelu, ovirakenteet, lämmitystarve, rakentamismääräyskokoelma	

ABSTRACT

Name: Risto A. Hämäläinen	
Title: Determination of the U-factor (overall heat transfer coefficient) for door structures	
Date: 2.5.2008	Number of pages: 16 + 2 attachments
Department:	Mechanical engineering
Study Programme:	Energy- and environmental technology
Instructor:	Lecturer Markku Jantunen
Supervisor:	Production Engineer Mika Rintala, Saajos Ltd
<p>The need for a computer program relating to the determination of the U-factor for the products of the manufacturer Saajos Ltd, producer of marine and civil industry door applications (many of them are fire-proof certified), was set out after the Ministry of Environment has launched out the Finnish building regulation C3 (and its instructions C4) in 2002, concerning the energy economies of new buildings.</p> <p>It has led to needs in product development and research of producers to have a usable tool for calculating U-factors for the present and new products used in civil building industry. It will also be a marketing benefit for marine applications as well to have a proof of this technical feature of products.</p> <p>The work was carried out by first getting to know the products of Saajos Ltd and its manufacturing processes. The company had already taken some steps in evaluating the regulations and their instructions. The needs of their own were discussed and some guidelines were drawn for the program. The first version of the program was completed after a study of the regulations and their relevant instructions.</p> <p>This computer program is still in its development cycle and some field comparing measurements are waiting to be done to have its correlations to reveal. I am hoping these will be guiding the development of the computer program and will be a good aid in order to have it achieving the final form.</p>	
<p>Keywords: heat transfer coefficient, U-factor, k-factor, energy economy, transient heat conduction, heat transfer through a door, heating requirement value, building regulations</p>	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

MÄÄRITELMIÄ

1	JOHDANTO	1
2	LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMEN MÄÄRITYS	3
	2.1 Yleistä laskennasta	3
	2.2 Lämmönläpäisykertoimen laskenta	4
3	MATERIAALITIE TOJEN HANKINTA	10
	3.1. Valmistusmateriaalit ja tarveaineet	10
	3.2. Tyypilliset ovirakenteet ja niiden valmistusprosessi	10
	3.3. Valmiit ovikarmiprofiilit ja niiden lämmönjohtavuus	11

4	HUOMIOITAVAT EPÄVARMUUSTEKIJÄT	12
	4.1 Rakenteessa olevat tarkoitukselliset lämpökatkot	12
	4.2 Rakenteessa olevat epäjatkuvuuskohdat ja liimausaineen purseiden vaikutus	12
	4.3 Lukkolaite ja sen asennukset	12
	4.4 Ilman virtaus oven tiivisteiden ohi	13
	4.5 Eristysmateriaalien hygroskooppisuus eli kosteuden vaikutus niihin	13
	4.6 Materiaalitietojen tarkkuus ja pintakäsittelyn kerrospaksuudet	13
5	LASKENTATULOSTEN VERTAILU MITTAUSTULOSSIIN	15
6	LOPPUPÄÄTELMÄT	15
	VIITELUETTELO	16
	LIITTEET	
	Liite 1. Jansen Systemsin laskentakaavio	
	Liite 2. Paroc 150 LO -vuorivillaeristeen lämmönjohtavuuden tietoja	

MÄÄRITELMIÄ

Lämmöneriste

Rakennusaine, jota käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella olennaisesti lämmöneristämiseen.

Lämmöneristys

Yhdestä tai useammasta lämmöneristeestä rakennusosaan tehty eristekokonaisuus.

Tuulensuoja

Rakennusosassa oleva ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteen osaan ja takaisin.

Ilmansulku

Rakennusosassa oleva ainekerros, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakennusosan läpi puolelta toiselle.

Ilmansulkuna toimii usein rakennusosaan jotain muuta pääasiallista tarkoitusta varten tehty ainekerros.

Kylmäsilta

Rakennusosassa oleva, viereisiin aineisiin verrattuna hyvin lämpöä johtavasta aineesta tehty rakenneosa, jonka kohdalla lämpötilaeron vaikutuksesta rakennusosan pintojen läpi kulkevan lämpövirran tiheys on jatkuvuustilassa viereiseen alueeseen verrattuna suurempi.

Viivamainen kylmäsilta

Kylmäsilta, jonka poikkileikkaus on rakenteen pinnan suuntaan jatkuvana samanlainen.

Pistemäinen kylmäsilta

Kylmäsilta, joka on rakenteessa paikallinen ja jolla ei ole rakenteen pinnan suunnassa jatkuvaa samanlaisena pysyvää poikkileikkausta.

Lämmönjohtavuus (λ), (m*K)

Lämmönjohtavuus ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen.

Keskimääräinen lämmönjohtavuus(λ_{10}), W/(m*K)

Keskimääräinen lämmönjohtavuus ilmoittaa aineen lämmönjohtavuuden yksittäisten mittauksien aritmeettisen keskiarvon, kun mittaukset ovat suoritettu 10 °C keskilämpötilassa.

Jos aine on hygroskooppinen tai aineen lämmönjohtavuus muuttuu iän funktiona, on ilmoitettava mittauksia edeltäneet kosteuspitoisuuteen tai lämmönjohtavuuden vanhenemismuutokseen vaikuttaneet olot ja tekijät.

Normaalinen lämmönjohtavuus(λ_n), W/(m*K)

Rakennusaineen normaalilla lämmönjohtavuudella tarkoitetaan yleensä ohjeissa tai tyyppihyväksyntäpäätöksissä annettua lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa käytännön rakennustoiminnan laskelmia varten.

Lämmönvastus (R), (m²*K)/W

Termisessä jatkuvuustilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastus ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien isotermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen.

Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus (R_{si} ja R_{se}), (m²*K)/W

Ilmoittaa rakennusosan pinnan ja sisä- tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastuksen.

Lämmönläpäisykerroin (U), W/(m²*K)

Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.

Pistemäinen lisäkonduktanssi (X), W/K

Pistemäinen lisäkonduktanssi ilmoittaa pistemäisestä kylmäsillasta (esim. teräside) aiheutuvan lisäyksen jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.

Viivamainen lisäkonduktanssi (Ψ), W/(m*K)

Viivamainen lisäkonduktanssi ilmoittaa rakennusosassa olevan, pituusyksikön mittaisen viivamaisen kylmäsillan (esim. palkki) aiheuttaman lisäyksen jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.

1 JOHDANTO

Viimeaikaiset vaatimukset rakennusten paremmasta energiataloudesta ja energiankäytön tehostamisesta ovat omalta osaltaan vaikuttaneet siihen, että Ympäristöministeriö on antanut uuden asetuksen 30.10.2002 *rakennusten lämmöneristyksestä Suomen rakennusmääräyskokoelmaan C3* [1]. Tämä asetus antaa vaatimukset rakennusosakohtaisille lämmönläpäisykertoimille (*U-arvot*) riippuen tilan luokituksesta *lämpimään tai erityisen lämpimään tilaan (joka rajoittuu ulkoilmaan tai lämmittämättömään tilaan), puolilämpimään tilaan (joka rajoittuu ulkoilmaan tai lämmittämättömään tilaan) tai lämpimään tilaan (joka rajoittuu puolilämpimään tilaan)*.

Saajos Oy:llä havaittiin tarve helppokäyttöisestä ja mukautumiskykyisestä laskentaohjelmasta, joka muokkautuisi helposti erilaisille yrityksen tuotanto-ohjelmaan kuuluville ovirakenteille. Nykyisin suuri osa tuotannosta menee laiva- ja telakkateollisuudelle, mutta julkisten rakennusten palo-ovet ja julkisivujen ulko- ja väliovet ovat myös vahvaa markkina-aluetta. Näissä erityisesti halutaan vastata markkinoiden tarpeeseen luokitelluista lämmönläpäisyarvoista eri ovityypeille.

Tässä opinnäytetyössä lähdettiin liikkeelle Ympäristöministeriön antamista ohjeista (v. 2003) lämmönläpäisykertoimen määrityksessä. Tarkoituksena oli suorittaa laskentamallinnuksia tietyille ovirakennetyypeille ja laatia laskentaohjelma, jonka antamia tuloksia verrattaisiin koeolosuhteissa tehtyihin mittauksiin. Näihin kahteen eri määrittystapaan perustuen, niiden mahdolliset epätarkkuudet huomioon ottaen, oli tarkoitus todeta laskentaohjelman soveltuvuus tulevaisuutta varten ja määrittää sen antamien tulosten vastaavuus todellisuudessa esiintyvien arvojen (jotka on todennettu mittauksilla) kanssa myös uusille ovirakennetyypeille.

Tämä opinnäytetyön raportti ei sisällä yrityksen (Saajos Oy, Lohja) vaatimuksesta itse laskentaohjelman sisällön kuvausta tai suoria lainauksia siitä. Laskentaohjelma on kuitenkin annettu tutustuttavaksi opinnäytetyön tarkastajille, joilta myös vaaditaan salassapitovelvollisuus ohjelman yksityiskohtaisen sisällön suhteen. Laskentaohjelmaa on siten kuvailtu vain erittäin yleisluontoisella tasolla.

2 LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMEN MÄÄRITYS

2.1 Yleistä laskennasta

Lämmön johtavuuden yleisenä suunnitteluarvona käytetään useimmiten arvoa eriste- tai rakennemateriaalille, joka pätee 10 °C:n lämpötilassa. Tämä on keskiarvo oletetulle ulkoilman lämpötilalle 0 °C ja tavoitteelliselle sisäilman lämpötilalle 20 °C (Rakentamismääräyskokoelma C 3 tosin mainitsee ”*mitoittavan sisälämpötilan 21 °C, jollei rakennuks en käyttötarkoituksesta tai muusat vastaavasta syystä johtuen ole perusteltua käyttää muuta arvoa*”).

Lämmönsiirtymiskertoimen laskennallisena arvona on käytetty 23 W/(m² * K) rakenneosan ulkopinnalla (tämä vastaa tuulen nopeutta alueella 2 - 5 m/s) ja sisäpinnalla arvoa 8 W/(m² * K) lämmönsiirtymiskertoimelle (vastaa ilman virtausnopeutta 0,1 m/s sisäpinnalla, eli nähtävästi ns. vapaata konvektiota huonetilassa). Näitä lämpötiloja ja lämmönsiirtymiskertoimen arvoja on käytetty myös standardin **SFS-EN 673**, *Rakennuslasit, Lämmönläpäisevyyden määrittäminen (U-arvo). Laskentamenetelmä* [2] mukaisissa laskelmissa julkaisussa Keränen, Hannu - Kalema, Timo - Luhanka, Juha: *Ikkunoiden energia-tekniinen suunnitteluohje* [3] ja myös SP Swedish National Testing and Research Institututen (Energy Technology - Building Physics and Indoor Environment) *FRAME 5.1* -laskentaohjelmassa [4].

2.2 Lämmönläpäisykertoimen laskenta

Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 (v. 2003) ohjeissa lämmöneristyksestä [5, s. 4 - 6] sanotaan:

2.2.1

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) lasketaan käyttäen CE merkinnällä varustetuille rakennusaineille EN-standardien mukaan määritettyjä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, EN-standardeissa esitettyjä taulukoituja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, normaalian lämmönjohtavuuden (λ_n) arvoja tai muita hyväksyttävällä tavalla määritettyjä, rakennusosalle soveltuvia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. Jos samalle aineelle on annettu useita λ_n -arvoja, valitaan alaviitehuomautusten perusteella kohteeseen soveltuva arvo.

2.2.2

Lämmönläpäisykerroin (U) lasketaan kaavalla (1).

$$U = 1 / RT \quad (1)$$

RT rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön.

2.2.3

Kun rakennusosan ainekerrokset ovat tasapaksuja ja tasa-aineisia ja lämpö siirtyy ainekerrokseen nähden kohtisuoraan, lasketaan rakennusosan kokonaislämmönvastus RT kaavalla (2).

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se} \quad 2)$$

Jossa

$$R_1 = d_1 / \lambda_1, R_2 = d_2 / \lambda_2 \dots R_m = d_m / \lambda_m$$

d_1, d_2, \dots, d_m ainekerroksen 1, 2, ...m paksuus, m

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ainekerroksen 1, 2, ...m lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, esim. normaalin lämmönjohtavuus

R_g rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus

$R_{q1}, R_{q2}, \dots, R_{qn}$ ohuen ainekerroksen 1, 2, ... n lämmönvastus

$R_{si} + R_{se}$ sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa

Mikäli tasa-aineisen ainekerroksen paksuus vaihtelee rakenteen tason suunnassa, voidaan paksuutena käyttää keskimääräistä arvoa edellyttäen, ettei paikallinen vähimmäispaksuus alita keskimääräistä enempää kuin 20 %.

2.2.4

Kun rakennusosa on epätasa-aineinen niin, että siinä on pintojen suuntaisia ainekerroksia, joissa on rinnakkain lämmönvastukseltaan erilaisia osaluueita, lasketaan epätasa-aineisen ainekerroksen j lämmönvastus R_j kaavalla (3).

$$1 / R_j = f_a / R_{aj} + f_b / R_{bj} + \dots + f_n / R_{nj} \quad (3)$$

f_a, f_b, \dots, f_n epätasa-aineisessa ainekerroksessa j olevan tasa-aineisen osaluueen a, b, ... n suhteellinen osuus ainekerroksen kokonaispinta-alasta

$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{nj}$ epätasa-aineisessa kerroksessa j olevan tasa-aineisen osa-alueen a, b, \dots, n lämmönvastus, jossa $R_{aj} = d_j / \lambda_{aj}, R_{jb} = d_j / \lambda_{bj}, \dots, R_{jn} = d_j / \lambda_{nj}$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ainekerroksen $1, 2, \dots, n$ lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo, esim. normaalin lämmönjohtavuus

2.2.5

Jos epätasa-aineisessa ainekerroksessa vierekkäisten aineiden lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvot poikkeavat toisistaan enemmän kuin viisikertaisesti,

ei kaava (3) sovellu käyttöön. Tällöin suuremman lämmönjohtavuuden aine ja osa-alue käsitellään kylmäsiirtimenä kohdan 2.3 mukaan.

2.2.6

Epätasa-aineisia kerroksia sisältävän rakennusosan kokonaislämmönvastus RT lasketaan kaavalla (4) ja lämmönläpäisykerroin U kaavalla (1).

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

R_1, R_2, \dots, R_n epätasa-aineisen ainekerroksen $1, 2, \dots, n$ lämmönvastus laskettuna kaavalla (3)

ΣR tasa-aineisten ainekerrosten, ilmakerroksen, ohuiden ainekerrosten ja maan lämmönvastusten summa

$R_{si} + R_{se}$ sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa

Kaavalla (4) laskettu RT -arvo on kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo.

2.3 Kylmäsiljat

2.3.1

Rakenteessa olevat ja sille ominaiset säännöllisesti toistuvat kylmäsiljat otetaan huomioon, kun todetaan lämmönläpäisykerroimen vaatimuksenmukaisuus.

Tämä koskee mm. siteitä, kannaksia sekä tuki- ja runkorakenteita, jotka ovat rakenteelle tyypillisiä koko sen edustamalla vaipan alueella.

2.3.2

Rakennuksen vaippaan eri syistä tehtäviä yksittäisiä kylmäsiltoja ei tarvitse ottaa huomioon laskettaessa lämmönläpäisykerroin. Yksittäisen kylmäsiljan voi muodostaa ala- tai välipohjan ja ulkoseinän liittymä, parvekkeen kannatus, alapohjan

puhkaiseva pilari, rakenteeseen sijoitettu talotekniikan komponentti yms. erikseen suunniteltu ja toteutettu yksittäinen ratkaisu.

Rakenteen lämpötila on kylmäsiljan kohdalla ympäröivään rakenteeseen nähden poikkeava. Seurauksena voi olla lämpöolojen heikkeneminen paikallisesti, pinnan likaantuminen ja pahimmillaan kosteuden tiivistyminen rakenteen sisäpintaan tai syvemmälle rakenteeseen. Rakenteet suunnitellaan kaikkien kylmäsiltojenkohdalla niin, ettei mainittuja kosteushaittoja esiinny ja että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan rakentamismääräskokoelman osan D2 mukaiset lämpöolot.

2.3.3

Kun kylmäsiljan aineen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo poikkeaa vierisen aineen vastaavasta suunnitteluarvosta enemmän kuin 5-kertaisesti,

lasketaan kylmäsilloista aiheutuva rakennusosan lämmönläpäisykertoimen lisäys $\Delta U_{\psi X}$ kaavalla (5).

$$\Delta U_{\psi X} = \sum \psi_k (l_k / A) + \sum X_j (n_j / A) \quad (5)$$

ψ_k rakennusosassa olevien keskenään samanlaisten viivamaisten kylmäsiltojen k viivamainen lisäkonduktanssi, W/(m · K)

X_j rakennusosassa olevien keskenään samanlaisten pistemäisten kylmäsiltojen j aiheuttama pistemäinen lisäkonduktanssi, W/K

l_k samanlaisten viivamaisten kylmäsiltojen yhteispituus rakennusosassa, m

n_j samanlaisten pistemäisten kylmäsiltojen lukumäärä rakennusosassa

A rakennusosan pinta-ala, m²

Viivamaisten ja pistemäisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssi (ψ_k , X_j) lasketaan tarkoitukseen soveltuvalla laskentamenetelmällä tai määritetään kokeellisesti.

2.3.4

Kylmäsiltoja aiheuttavat esim. metalliset jäykisteet ja siteet. Rakennusosan lämmönläpäisykertoimen U voidaan otaksua kasvavan määrällä 0,006

$W/(m^2 \cdot K)$ käytettäessä läpimitaltaan 4mm ruostumattomia terässiteitä 4 kpl/m² ja määrällä 0,05 $W/(m^2 \cdot K)$ käytettäessä läpimitaltaan 4 mm kuparisiteitä 4 kpl/m².

2.4 Lämmöneristyksen ilmavirtausten huomioon ottaminen

2.4.1

Mikäli lämmöneristyksen vähäisissä raoissa, ilmaväleissä ja ilmaa läpäisevissä eristeessä tapahtuvien ilmavirtausten vaikutusta ei ole otettu huomioon lämmönjohtavuuden suunnitteluarvossa, arvioidaan ilmavirtausten lämpöhäviötä suurentava vaikutus erikseen ja otetaan huomioon rakennusosan lämmönläpäisykertoimen lisäyksenä.

Lämmönläpäisykertoimen laskentaa koskeva EN-standardi edellyttää, että lämmöneristyksen epäideaalisuudenvaikutukset otetaan huomioon lämmönläpäisykertoimen laskennassa. Lämmöneristeiden normaalissa lämmönjohtavuudessa (λ_n) on otettu huomioon lämmöneristyksen vähäisten ilmavirtausten vaikutus.

2.4.2

Lämmöneristyksen ilmavirtausten vaikutuksen huomioon ottamiseksi lämmönläpäisykertoimeen (U) tehtävän lisäyksen (ΔU_g) suuruus riippuu lämmöneristyksen asentamistavasta, eristyksen suojauksesta ja eristeen ilmanläpäisevyydestä. Lisäyksen suuruuden arvioinnissa nojaututaan luotettavaan tutkimukseen tai selvitykseen.

3 MATERIAALITIEDOJEN HANKINTA

3.1 Valmistusmateriaalit ja tarveaineet

Laskentaohjelman suunnittelua ennen oli hankittava tietoja ovirakenteissa käytettyjen materiaalien lämmönjohtavuuksista niiden tukkumyyjiltä ja välittäjiltä. Joidenkin niistä saaminen oli suuren vaivan takana, kun esimerkiksi ovien tiivisteinä käytettyjen lämmönkestävien kumilaatujen (esimerkiksi EPDM eli etyleenipropeenikumin) tarkkoja lämmönjohtavuusarvoja ei ole määritelty tiivisteprofiilin muodon osalta. Niiden teknisissä tuotetiedoissa oli lähinnä keskitytty kumilaadun kovuuteen ja lämmönkestoon niinkään välittämättä lämmönjohtavuudesta sinänsä.

Samoin hankaluutta aiheutti lopullisten ovituotteiden peltilevyjen alkuperäisen korroosiosuojan (alumiini-sinkkisähköpinnoite) ja oven valmistusvaiheessa suoritettun maalauspinnoituksen (joko ns. märkämaalaus tai elektrostaattinen jauhemaalaus) vaikutusten määrittäminen teräslevyn pinnalla lopulliseen lämmönjohtavuuteen.

Useimmissa ovityypeissä käytetyn rakenneliimauksen jättämä kovettuneen liiman kerroksen paksuus ja sijainti oli myös selvitettävä ja sen mahdollinen vaikutus laskennan antamaan tulokseen huomioitava.

3.2 Tyypilliset ovirakenteet ja niiden valmistusprosessi

Tyypillinen ovirakenne Saajos Oy:n tuotteissa lähtee kahdesta 0,8 mm:n vahvuisesta korroosionsuojatusta teräslevystä leikatun ovilehden puolikkaan muokkauksesta mallinsa levyntaivutus- ja muokkaukseen avulla. Nämä puolikkaat varustetaan lukkolaitteen ja saranoinnin vaatimilla heloituksilla tai aukoilla ja täytetään niiden väli palonsuoja- tai lämpöeristeellä (varsinaisissa paloluokitelluissa ovissa kipsilevyillä, muissa mineraalivillalla). Tämän jälkeen puolikkaat liitetään puristusliimauksella lämmön vaikutusta uunissa hyväksikäyttäen. Ennen karmikehykseen liittämistä ovet ja muokatut karmit maalataan haluttuun värisävyyteen, useimmiten elektrostaattisella jauhemaalauksella (vaatii väriaineen sulatuksen ja kuivauksen lämpöuunissa) tai harvemmin ns. märkäruiskutuksella. Lopullisessa kokoonpanossa asennetaan

tiivistemateriaalinauhat ja lasitukset sekä painikkeet ja muut käyttölaitteet (moottoroidut ja kauko-ohjatut oviratkaisut) paikoilleen.

3.3 Valmiit oven karmiprofiilit ja niiden lämmönjohtavuus

Saajos Oy:n paljon käyttämältä karmiprofiilien valmistajalta *Jansen-Systemsilta* oli saatavilla **EN ISO 10077-2**, *Thermal performance of windows and doors, Calculation of thermal transmittance, Part 2: Numerical method* [6] standardin mukaiset lasketut karmiprofiilien U_f - arvot ja myös heidän toimittamien lasitusten kehysten viivamaiset lisäkonduktanssin Ψ_g - arvot todennettuina mittauksilla $\pm 0,15 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ tarkkuuteen (normin mukainen vaatimus on $\pm 0,20 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Näistä tiedoista oli paljolti apua laskentaohjelman mallinnukseen ja ne yksinkertaistivat laskentaa.

4 HUOMIOITAVAT EPÄVARMUUSTEKIJÄT

4.1 Rakenteessa olevat tarkoitukselliset lämpökatkot

Eräissä valmisprofiilirakenteissa, kuten mm. Jansen-Systemsin Janisolissa, on käytetty lämmönjohtavuuden alentamiseksi pystysuuntaisia noin 3 mm leveitä ja 30 mm pitkiä, limittäin vuoroteltuja profiiliin sivuille sijoitettuja leikat- tuja aukkoja noin 3 mm:n välein toisiinsa nähden. Näin ollen lämpövirta ”jou- tuu kiertämään” pidemmän matkan saavuttaakseen profiiliin alemmassa lämpötilassa olevan ulkopinnan. Tämän vaikutuksen on valmistaja ottanut huomioon omassa profiilien U-arvoja koskevassa laskennassaan. Jos tällai- sia profiileja käytetään valmistuksessa, niiden vaikutus rakenteen kokonais- U-arvoon on kohtalaisen helppo määrittää. Muissa tapauksissa on erikseen luotava erillinen lisälaskentaohjelma (tai ohjelman osa) tätä tarkoitusta var- ten .

4.2 Rakenteessa olevat epäjatkuvuuskohdat ja liimausaineen purseiden vaiku- tus

Saajos Oy:n ovilehtikokoonpanossa vastakkain tulevat puoliskot eivät ota taitostensa päistä (siis peltilevyn leikatusta särmästä) toisen vastakkaisen levyn sisäpintaan kiinni, joten tähän kohtaan muodostuu lämpökatko huomi-

oitavaksi. Samoin saattaa jossain muissa rakenteissa esiintyä vastaavanlaisia hyvin lämpöä johtavien materiaalien katkokohtia lämpötilaerojen tasoittumisen vaimentamiseksi. Myös yhteen liimauksessa käytetty liima toimii erottavana tekijänä pursuillessaan joskus myös sisäpuolelta ulospäin suuntautuen ja siten toimien lämpöeristeen tavoin. Lopullista käytetyn liimatyyppin lämmönjohtavuutta emme ole vielä saaneet selvitettyä.

4.3 Lukkolaite ja sen asennukset

Ympäristöministeriön asetuksen C4 [1] mukaan laskennassa ei tarvitse ottaa mukaan erikseen huomioitavana seikkana ovenpainikkeiden ja lukkolaitteiden (kuvat 1 ja 2) tai oven saranoinnin vaikutusta (kuva 3). Näillä voi kuitenkin olla yllättävän suuri vaikutus silloin kun on kyseessä esimerkiksi moottoroitu ja kauko-ohjattu osastoiva palonsuojaovi, kuten laivateollisuuden tuotteissa (kuva 4). Myös murtosuojatun oven (kuva 3) lukitusrakenne ja metalliset murtosuojat aiheuttavat hyvin lämpöä johtavina monimutkaisia laskennallisesti ratkaistavia yhtälöryhmiä.



Kuva 1. Upotettu painike ovessa



Kuva 2. Avainkortinlukijallinen lukkolaite



Kuva 3. Murtosuojattu saranointi



Kuva 4. Palonsammutusletkun läpivientiluukku ovesta

4.4 Ilman virtaus oven tiivisteiden ohi

Ilman virtausnopeuteen, ja siten myös ilman massavirtaan ja lämpövirtaan (yleensä sisään virtaa ulkoilmaa), varsinkin uloimpina ulko-ovina rakennuksissa (tai laivoissa) käytettävien ovien tiivisteiden ohi vaikuttaa ilmastoinnin aiheuttama tilan paine-ero ulkoilmaan nähden. Jos paine-ero kasvaa liian suureksi riittämättömänkokoisten korvausilmakanavien (tai peräti niiden kokonaan puuttumisen) tai niiden virtausvastuksen suuruuden vuoksi, on tämän virtauksen rakennetta jähdyttävä vaikutus lisäävänä tekijänä ovenpielien viivamaisille lisäkonduktansseille $\Sigma\Psi_k$ ja sisäpinnan lämmönsiirtymiskertoimelle U_{si} (R_{si} pienenee).

4.5 Eristysmateriaalien hygroskooppisuus eli kosteuden vaikutus niihin

Eristysaineiden lämmönjohtavuusarvoissa on normaalisti otettu huomioon käytönaikainen ”normaali” kosteuden lisäys materiaalin *hygroskooppisuuteen* perustuen eli materiaali absorboi kosteutta ympäröivästä ilmastosta itseensä tietyn määrän käytön aikana. Tämä koskee vain niitä tapauksia, jolloin eristemateriaalia ei ole säilytyksen eikä asennuksen tai myöhemmän käytössä olon aikana joutunut suoranaiseen kosketukseen pisaroituneen kosteuden tai peräti sadeveden virtauksen kanssa. Jos kuitenkin näin on käynyt voivat eristysarvot huonontua merkittävästi.

Esimerkiksi mineraalivillalevyn *normaalinen lämmönjohtavuus* on määritelty kosteuspitoisuudessa $W_n = 0,5$ % kuivapainosta, mutta lastulevyssä määrittäytymisenä on $W_n = 9$ % [1].

4.6 Materiaalitietojen tarkkuus ja pintakäsittelyn kerrospaksuudet

Käytettävissä olevat materiaalitiedot lämmöneristysaineista, niiden valmistajilta tai markkinoijilta ovat yleensä varsin tarkkoja ja todennettavasti luotettavia. Sen sijaan joissakin muissa ovien valmistuksessa käytetyissä tuotteissa ja aineissa on enemmänkin kiinnitetty huomiota niiden muihin fysikaalisiin ominaisuuksiin kuin lämmönjohtavuuteen. Näin on esimerkiksi pinnoitemateriaaleilla ja liimoilla. Tämänkaltaisten tarkkojen tietojen puuttuminen on vielä yksi epävarmuustekijä, kuten on ollut myös pintakäsittelykerroksien tarkan todellisen paksuuden todentaminen. Laskennassa on kuitenkin lähdetty liikkeelle tavoitteellisista kerrospaksuuksista.

5 LASKENTATULOSTEN VERTAILU MITTAUSTULOSSIIN

Tätä raporttia kirjoitettaessa ei ole vielä suoritettu riittävästi ”kenttäolosuhteissa” tapahtuneita mittauksia laskentaohjelman antamien laskennallisten tulosten riittävän kriittiseen arvioimiseen. Uskon, että niiden suorittamisen myötä voidaan lopulta hakea laskentaohjelman parantamiseksi tarvittavia tarkennuksia edellisessä luvussa mainittujen epävarmuustekijöiden huomiointamiseksi myös laskennallisesti.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Laskentaohjelman runko ja yleinen ”layout” on jo tässä vaiheessa muodostunut ensimmäiseen versioonsa. Tämä ohjelma saattaa vielä kuitenkin muuttua ulkoiselta olemukseltaan, mutta laskennan perusteet kylläkin säilyvät samankaltaisina lämmönsiirron fysiikkaan perustuen. Toivon tässä kehitystyössä päästävän toimeksiantajan asettamiin tavoitteisiin sekä ohjelman mahdollisimman helpon ja nopean käytettävyyden ja siitä saatavan taloudellisen ja kilpailukyvyllisen edun osoittautuvan panostusten arvoiseksi.

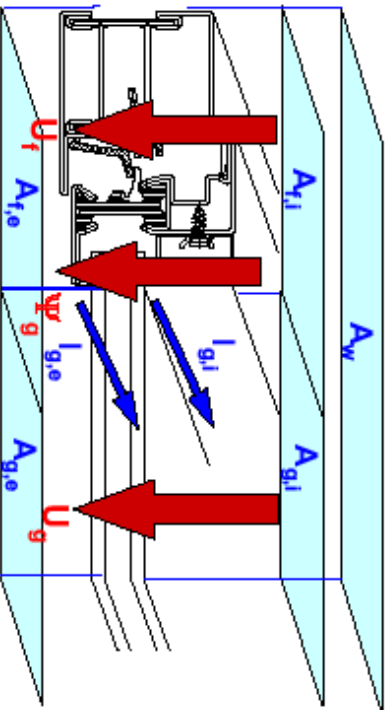
VIITELUETTELO

- [1] Ympäristöministeriön asunto- ja rakennusosaston asetus: *C3 Suomen rakentamismääräyskokoelmaan*, rakennusten lämmöneristyksestä (annettu 30.10.2002).
- [2] **SFS-EN 673**, *Rakennuslasit. Lämmönläpäisevyyden määrittäminen (U-arvo). Laskentamenetelmä*, Helsinki: SFS Standardisointi, Suomen standardoimisliitto (SFS ry). 1997.
- [3] Keränen, Hannu - Kalema, Timo - Luhanka, Juha: *Ikkunoiden energiatekninen suunnitteluohje*. Jyväskylä: Rakennusteollisuuden kustannus RTK Oy. 2002.
- [4] Tieto on saatu Saajos Oy:ltä osana luottamuksellista alihankkijan tutkimuslaitoksella (SNTRI) teettämää selvitystä.
- [5] **EN ISO 10077-2**, *Thermal performance of windows, doors and shutters -- Calculation of thermal transmittance -- Part 2: Numerical method for frames*, CEN. 1998.
- [6] Ympäristöministeriön asunto- ja rakennusosaston asetus: *C4 Suomen rakentamismääräyskokoelmaan*, ohjeet 2003 (annettu 30.10.2002).

3. Berechnung des U_w -Wertes nach EN ISO 10077-1: 2000-11

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + I_g \psi_g}{A_g + A_f}$$

Wert	Einheit
U_w	W/m ² K
U_g	W/m ² K
U_f	W/m ² K
ψ_g	W/mK
A_g	m ²
A_f	m ²
I_g	m



Wichtig!
Unterscheiden sich die Umfangslängen l_g und die Rahmenflächen A_f innen und außen voneinander, wird jeweils der größere Wert von beiden verwendet. Für die Glasfläche A_g wird der kleinere Wert genommen.

$$A_f = \max(A_{f,i}; A_{f,e})$$

$$A_g = \min(A_{g,i}; A_{g,e})$$

$$A_w = A_f + A_g$$

$$l_g = \max(l_{g,i}; l_{g,e})$$

