

Ismo Heimonen & Kari Hemmilä

Tuloilmaikkunan energiatehokkuus

Tuloilmaikkunan energiatehokkuus

Ismo Heimonen & Kari Hemmilä

ISBN 951-38-6780-3 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6781-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Lämpömiehenkuja 2, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7054

VTT, Värmemansgränden 2, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7054

VTT Technical Research Centre of Finland, Lämpömiehenkuja 2, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7054

Toimitus Maini Manninen

Otamedia Oy, Espoo 2006

Avainsanat supply air window, ventilation, energy efficiency

Tiivistelmä

Korjaus- ja uudisrakentamisen tarpeita silmällä pitäen on kehitetty tuloilmaikkuna niihin koneellisen poiston järjestelmällä varustettuihin rakennuksiin, joissa ei ole muita korvausilman tuloreittejä. Tämä ikkunatyyppejä tuo poistoilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen erityispiirteitä, joilla toteutus on joissakin tapauksissa kilpailukykyinen vaihtoehto koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kanssa. Ulkoilman sisäänjohtaminen ja integrointi ikkunaan on erittäin kustannustehokas ja yksinkertaistettu ratkaisu korjausrakentamisessa erityisesti, kun yhdistetään ikkuna- ja ilmanvaihtosaneeraus.

Tämän tutkimuksen päämääränä oli esittää toteutusmallit energiatehokkaille tuloilmaikkunoille. Tavoitteena oli osoittaa tuloilmaikkunoiden energiatehokkuus, siihen vaikuttavat tekijät ja tuotekehityspäätökset sekä esittää ja dokumentoida menetelmät, joilla suunnitteluparametrit tuotetaan ja viedään lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittaviin laskelmiin.

Tutkimuksessa on selvitetty tuloilmaikkunoiden energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, joita ovat ikkunan lasirakenne, virtausreitti, virtausaukkojen muoto ja koko sekä ikkunan koko ja muoto. Ikkunoiden lämmönläpäisykerroin voidaan määrittää kokeellisesti tai laskennallisesti. Standardin mukainen laskentamenetelmä havaittiin soveltumattomaksi tuloilmaikkunoiden lämmönläpäisykerroimen määrittämiseen. Tutkimuksessa esitetään kuvaukset tuloilmaikkunan tehollisen lämmönläpäisykerroimen määrittämiseen hot-box- sekä PASLINK-mittausmenetelmillä. Tutkimus osoitti käytettyjen mittausmenetelmien hyvät ja huonot puolet sekä jatkokehitystarpeet.

Mittaukset osoittivat, että MSE-tyyppisen lasituksen tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$ ilmavirralla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ on noin $1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (vastaavan rakenteen lämmönläpäisykerroin tiiviinä, ilman ilmavirtaa rakenteen läpi on noin $1,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$). Lämpenemissuhde samalla ilmavirralla oli noin 43 %. MSK-tyyppisellä lasituksella (ilmakierto kahden lasivälin kautta) mitattu tehollinen lämmönläpäisykerroin on hieman parempi kuin MSE-tyyppisellä lasituksella. Tehollinen lämmönläpäisykerroin ilmavirralla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ on alle $0,9 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Vastaava lämpenemissuhde oli 60 %. Tuotteiden jatkokehittämiselle on tarvetta. Sisemmän puitteen eristyslasin lämmöneristävyuden parantaminen pienentää johtumislämpöhäviötä, mutta toisaalta se johtaa taas pienempään lämpenemissuhteeseen. Virtausreittien ja -aukkojen sijoittelulla voidaan vaikuttaa jonkin verran energiatekniseen toimivuuteen. Tutkimuksessa on tehty ehdotus, kuinka tuloilmaikkunaa käsitellään lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittamisessa ja siihen liittyvissä tasauslaskelmissa.

Heimonen, Ismo & Hemmilä, Kari. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus [Energy efficiency of supply air window]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2329. 65 p. + app. 41 p.

Keywords supply air window, ventilation, energy efficiency

Abstract

The supply air window has been developed for new buildings and renovation purposes and the window system will be used for the supply air inlet in mechanical exhaust ventilation system. The system has features improving the competitiveness compared to mechanical supply and exhaust ventilation system. Integration of the air inlet system in window is cost-effective and simple solution for renovation, especially combined renovation of ventilation and windows.

The objective of this study was to present the concepts for energy-efficient supply air windows. The aim was to show energy efficiency, the affecting factors for thermal transmittance and the development basis for supply air windows. The aim was to present methods to determine design parameters and to show the method to prove the window fullfills the building energy codes in Finland.

The study presents the affecting factors for energy-efficiency of supply air window. The energy performance depends on the glazing structure, air flow route of the ventilation air flowing through the window, the shape and size of the vent openings and the shape and size of the window. The thermal transmittance can be determined by testing and calculations. The calculation according to standards was realised to be unsuitable for calculation of ventilated window. The study presents the methods to measure the thermal transmittance of ventilated window using hot-box method or outdoor testing in PASLINK test cell. The good and bad features and needs for development of the test methods were presented.

The measured effective thermal transmittance $H = U - U_v$ of the glazing of triple glazed MSE supply air window is about $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, when the air flow rate is $6 \text{ dm}^3/\text{s}$. The thermal transmittance of the similar airtight structure is $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$. The effectiveness in pre-heating of ventilation air is 43 % (expressed as percentage of temperature difference between indoor and outdoor environments). The effective thermal transmittance of MSK supply air window vented through both of the air gaps is better – below $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ with air flow rate $6 \text{ dm}^3/\text{s}$. The effectiveness in pre-heating is 60 %, respectively. There is need for future development of the applications. The improvement of the inner sash and glazing decreases the heat transmittance through the

inner layer, decreasing also the efficiency in air pre-heating. The energy efficiency is influenced by the dimensioning the air flow routes and vents.

This study presents the method to calculate the building level heating demand when using supply air windows. This calculation is needed to show the specific heat loss of the building compared to reference building.

Alkusanat

Tämä julkaisu on projektin Energiateknisesti tehokkaiden tuloilmaikkunoiden toteutusmallit korjaus- ja uudisrakentamisessa (ET-TULO) loppuraportti. Hankkeen päämääränä oli esittää toteutusmallit energiatehokkaille tuloilmaikkunoille. Tavoitteena oli osoittaa tuloilmaikkunoiden energiatehokkuus, siihen vaikuttavat tekijät ja tuotekehitysperusteet sekä esittää ja dokumentoida menetelmät, joilla suunnitteluparametrit tuotetaan. Tavoitteena oli esittää perusteet käyttää tuloilmaikkunaa nykymääräykset täyttävässä rakentamisessa. Hanke tuotti suunnitteluun ja rakennusvalvontaan ohjeistuksen, jolla tuloilmaikkunat suunnitellaan ja energiamääräysten mukaisuus osoitetaan.

Projektin johtoryhmän muodostivat:

Markku Riihimäki, Tiivituote Oy, puheenjohtaja

Ahti Syrjäaho, Fenestra Oy

Armas Lakanen, Muoviitala Oy

Jouni Ruuska, Alumglas Oy

Tapio Tarpio, Dir-Air Oy

Jorma Tiiri, Domus Yhtiöt Oy

Kari Myllynen, Helsingin rakennusvalvontavirasto/Rakennustarkastusyhdistys ry

Raimo Ahokas, Ympäristöministeriö

Juha Luhanka, RT Rakennusteollisuus.

Tutkimuksen toteutukseen ovat osallistuneet VTT:ltä erikoistutkijat Ismo Heimonen ja Kari Hemmilä. Kokeellisen osan mittauksista vastasi teknikko Seppo Vasarainen.

Johtoryhmä on ansiokkaasti ohjannut ja kommentoinut työn sisältöä. Kiitämme johtoryhmää yhteistyöstä.

Espoossa, joulukuussa 2005

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	6
1. Yleistä.....	9
2. Tuloilmaikkunan toimintaperiaate.....	11
2.1 Tuloilman esilämpeneminen rakenteessa.....	11
2.2 Tuloilmaikkunan energiatekninen toimivuus ja siihen vaikuttavat tekijät.....	13
2.3 Ikkunan virtaustekninen toimivuus ja rakennuksen tiiviiden merkitys.....	16
3. Aihealueen tutkimukset ja kansainvälinen yhteistyö.....	20
3.1 Tuloilmaikkunoiden aikaisemmat tutkimukset.....	20
3.2 Kansainväliset projektit.....	20
3.2.1 IEA Task 27.....	21
3.2.2 WINDAT ja WIS.....	22
3.2.3 Muut kv-tutkimukset.....	23
4. Energiateknisen suunnittelun vaatimat parametrit ja integrointi energiamääräyspakettiin.....	24
4.1 Ikkunoita koskevat vaatimukset energiamääräyspaketissa.....	24
4.2 Vaihtoehtoja tuloilmaikkunan lämpöhäviön esittämiseen.....	25
5. Menettelytavat suunnittelutiedon määrittämiselle.....	27
5.1 Laskentamenetelmät.....	27
5.2 Mittausmenetelmät.....	30
5.2.1 Ilmavirtaus eri paine-eroilla.....	32
5.2.2 Lämpöhäviön mittaus Hot-box-menetelmällä.....	32
5.2.3 Lämpöhäviön mittaus PASLINK-testikammiossa.....	34
6. Toimivuustiedot tyypillisille tuloilmaikkunoille.....	35
6.1 Mitattavat tapaukset.....	35
6.2 Mitatut tulokset.....	37
6.2.1 Painehäviö-ilmavirta-käyrät.....	37
6.2.2 MSE-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin – Hot-box-mittaus.....	38
6.2.2.1 Ilmavirran vaikutus.....	38
6.2.2.2 Lämpötilatason vaikutus.....	42
6.2.2.3 Ilman sisäänvirtauskohdan vaikutus.....	44

6.2.2.4	Ikkunan koon vaikutus	44
6.2.3	MSK-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin – Hot-box-mittaus	50
6.2.4	MSE-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin PASLINK- mittauksessa	53
6.2.5	Hot-box- ja PASLINK-menetelmien U-arvon vertailu.....	54
7.	Tuloilmaikkuna osana muuta energiajärjestelmää.....	56
8.	Ohjeistus suunnitteluun ja rakennusvalvontaan.....	57
8.1	Yhteenveto ohjeistuksesta	57
8.2	Tuloilmaikkunoiden tuoteominaisuuksien selvittäminen.....	58
9.	Tuotekehityksen tavoitearvot.....	59
10.	Yhteenveto ja jatkokehitystarpeet.....	61
	Lähteet	63

Liitteet

Liite A: PASLINK ulkoilmamittauksen menetelmäkuvaus tuloilmaikkunoille

Liite B: Tuloilmaikkunoiden lämmöneristysmääräystenmukaisuuden osoittaminen sekä huomioon ottaminen tasauslaskelmissa

1. Yleistä

Korjaus- ja uudisrakentamiseen on kehitetty tuloilmaikkuna, jolla voidaan hoitaa raitisilman sisäänjohtaminen koneellisen poiston järjestelmällä varustettuun rakennukseen. Tämä järjestelmätyyppi tuo poistoilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen erityispiirteitä, joilla järjestelmätyyppi on joissakin tapauksissa kilpailukykyinen vaihtoehto koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kanssa. Ulkoilman sisäänjohtaminen ja integrointi ikkunaan on erittäin kustannustehokas ja yksinkertaistettu ratkaisu korjausrakentamisessa, erityisesti kun yhdistetään ikkuna- ja ilmanvaihtoremontti.

Tuloilmaikkunoita ja -julkisivuja on käytetty monissa rakennuksissa tavoitteena parantaa rakenteella saavutettavaa energiatehokkuutta ja viihtyisyyttä. Aikaisemmin pääasiallinen tarkoitus oli parantaa energiatehokkuutta, nykyisin perusteluna on myös järjestää hallittu tuloilmareitti ikkunan yhteyteen. Tuloilmaikkuna onkin yksinkertainen ratkaisu raitisilman sisään johtamiseen, kun peruskorjataan koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmiä tai muutetaan painovoimaisen ilmanvaihdon järjestelmiä koneellisen poiston järjestelmiksi.

Tuloilmaikkunoiden aikaisemmat toteutukset kärsivät huonosta kokonaisjärjestelmän toteutuksesta. Kylmässä ilmastossa yleinen ongelma oli lasiväliin muodostunut kondenssi. Vaikka rakennukset oli suunniteltu alipaineisiksi, tämä ei aina toteutunut, vaan hetkellinen rakennuksen ylipaineisuus johti kostean huoneilman virtaamiseen takaisin päin ikkunan lasiväliin. Tällöin kostea huoneilma kondensoi kylmään lasiväliin. Nykyisissä tuoteversioissa kondenssi-ilmiö on estetty varustamalla tuloilmaventtiili ilman takaisinvirtauksen estävällä rakenteella. Tämä ratkaisu on mahdollistanut tuloilmaikkunan käytön Suomen ilmastossa.

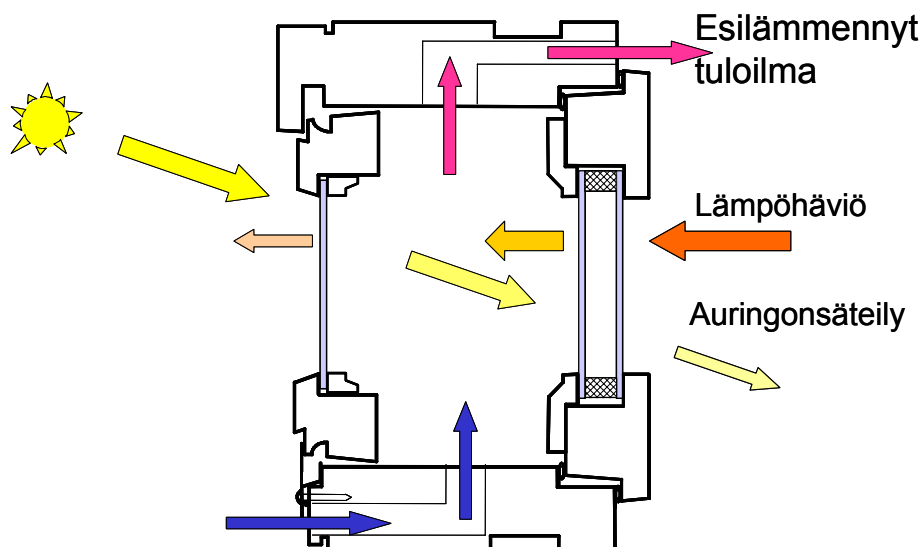
Uuden Rakentamismääräyskokoelman nk. energiapaketin (C3, C4 & D2) tultua voimaan vuoden 2004 lopulla, on huomattu, että tuloilmaikkunoiden käsittely energialaskennassa oli ohjeistamatta (/ 7 /). Tämä voi paikallisessa rakennusvalvonnassa johtaa virheelliseen tulkintaan, joka pahimmillaan estää näiden sovellusten käytäntöön viemisen. Ikkunoiden lämpöhäviö kuvataan häviöiden laskennassa lämmönläpäisykertoimella (U-arvo). U-arvo on määritelty seuraavasti: lämpövirta rakenteen läpi pinta-alayksikköä kohden jaettuna rakenteen yli vaikuttavalla lämpötilaerolla. U-arvon määrittely ei ota huomioon rakenteen läpi virtaavaa ilmavirtaa. Tuloilmaikkunan tarkoitus on kuitenkin johtaa raitista ilmaa rakenteen kautta, joten käyttötilanteessa paine-ero komponentin yli on oltava, jotta komponentti toimii suunnitellulla tavalla. Tuloilmaikkunan perusidea on siis johtaa ilmaa rakenteen kautta, jolloin ilma samalla lämpenee ikkunan lämpöhäviöiden vaikutuksesta.

Jotta lämpöhäviöiden laskenta voidaan tehdä oikein, tarvitaan täsmälliset määritelmät lämpö- ja energiateknisille parametreille. Hyväksyttävät laskenta- ja mittausmenetelmät suunnitteluparametrien tuottamiseen on myös määriteltävä. Tuloilmaikkunan käsittelytapa lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittamisessa on ohjeistettava suunnitteluun ja rakennusvalvontaan.

Hankkeen Energiateknisesti tehokkaiden tuloilmaikkunoiden toteutusmallit korjaus- ja uudisrakentamisessa (ET-TULO) päämääränä on esittää toteutusmallit energiatehokkaille tuloilmaikkunoille. Tavoitteena on osoittaa tuloilmaikkunoiden energiatehokkuus, siihen vaikuttavat tekijät ja tuotekehityspäätökset sekä esittää ja dokumentoida menetelmät, joilla suunnitteluparametrit tuotetaan. Tavoitteena on esittää perusteet käyttää tuloilmaikkunaa nykymääräykset täyttävässä rakentamisessa. Hanke tuottaa suunnitteluun ja rakennusvalvontaan ohjeistuksen, jonka perusteella tuloilmaikkunat suunnitellaan ja energiamääräysten mukaisuus osoitetaan.

2. Tuloilmaikkunan toimintaperiaate

Tuloilmaikkunan toimintaperiaate on yksinkertainen: ulkoilma johdetaan ikkunan puitteiden väliseen tilaan ala- tai sivukarmin kautta ja edelleen huoneilmaan yläkarmin tai -puitteen läpi (Kuva 1). Rakenteeseen johdettava ulkoilma voidaan suodattaa, jolloin tuloilman puhtausvaatimukset voidaan toteuttaa ja ikkuna myös pysyy puhtaampana. Ilman virtausreitti on joissakin tuotteissa suunniteltu sellaiseksi, että ääneneristävyyttä on myös optimoitu. Yläkarmissa tai -puitteessa sijaitseva venttiili on varustettu ilman takaisinpäin virtauksen estävällä rakenteella, joka voi olla esimerkiksi ilmavirrassa kääntyvä tai kelluva levy tai läppä, joka avautuu, kun huonetila on riittävästi alipaineinen. Hetkellisen ylipaineen tilanteessa virtausreitti sulkeutuu. Rakenteen läpi virratessaan ilmavirta lämpenee – lämpöä otetaan talteen ilmavirtaan ikkunan omista lämpöhäviöistä. Myös ikkunaan kohdistuva auringonsäteily lämmittää tuloilmaa.



Kuva 1. Tuloilmaikkunan periaate. Ilma johdetaan puitteiden väliin ulkopuitteen alareunasta tai sivusta. Ilma voidaan suodattaa. Tuloilmasuihku ohjataan huonetilassa tyypillisesti kattoa kohti, jotta ei synny vetoa oleskeluvyöhykkeellä.

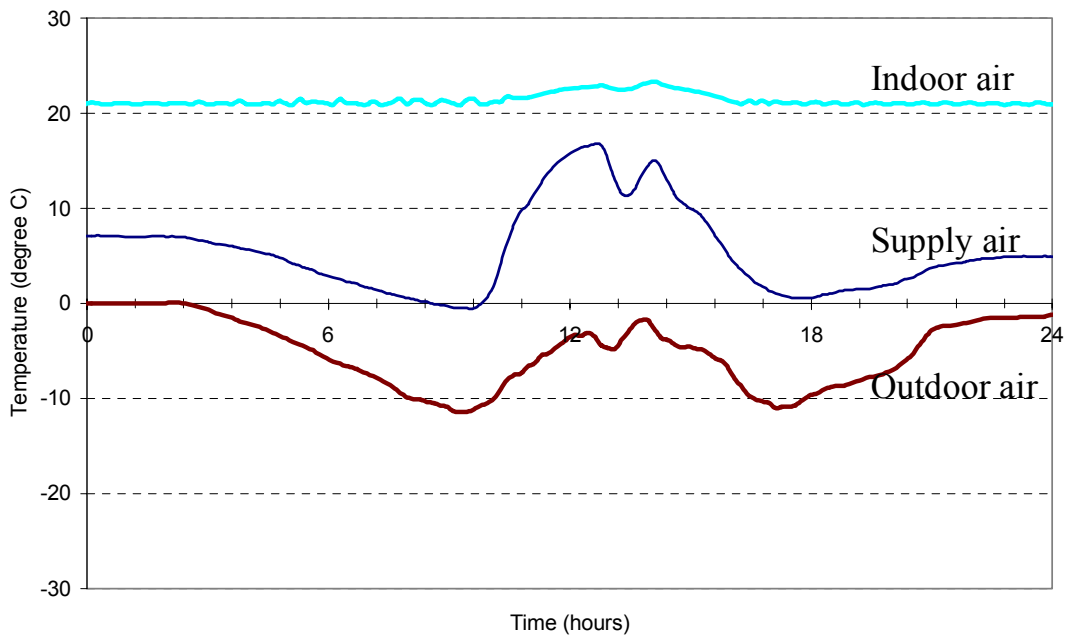
2.1 Tuloilman esilämpeneminen rakenteessa

Tuloilman lämpötilan nousun määrä riippuu ikkunan rakenteesta, ilmavirrasta sekä ulko- ja sisälämpötilasta. Kuvassa 2 on esitetty eräällä MSE-tyyppisellä tuloilmaikkunalla saavutettava tuloilman lämpötila tyypillisen talvipäivän aikana. Tuloilman lämpenemistä kuvaa lämpenemissuhde ϵ , jonka perusteella voidaan arvioida huoneeseen ikkunan läpi virtaavan tuloilman lämpötilaa eri ulkoilman olosuhteissa.

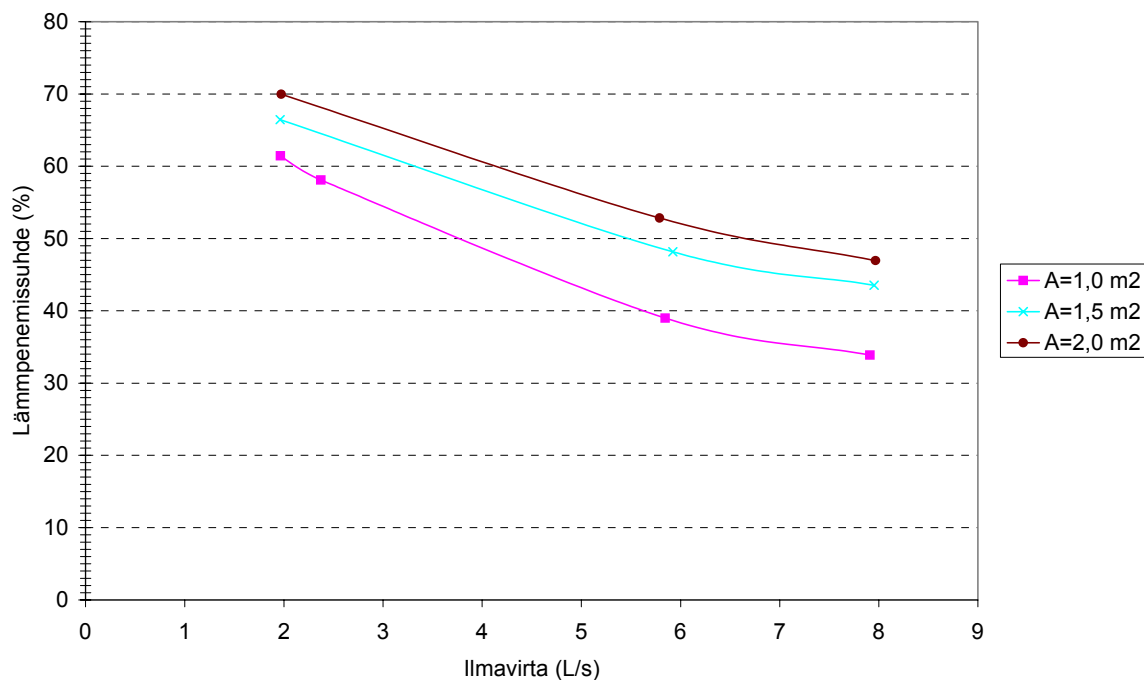
$$\varepsilon = \frac{T_v - T_u}{T_s - T_u}, \quad (1)$$

missä T_v on tuloilman lämpötila, T_u ulkoilman lämpötila ja T_s huonelämpötila.

Käytännössä lämpenemissuhde vaihtelee jatkuvasti. Kuvassa 3 on esitetty erään tuloilmaikkunan lämpenemissuhde eri ilmavirroilla, kun lämpenemissuhteessa ei ole mukana auringonsäteilyn lämmittävää vaikutusta. Ikkunan pinta-alan kasvattaminen (korkeutta kasvattamalla) suurentaa lämpenemissuhdetta.



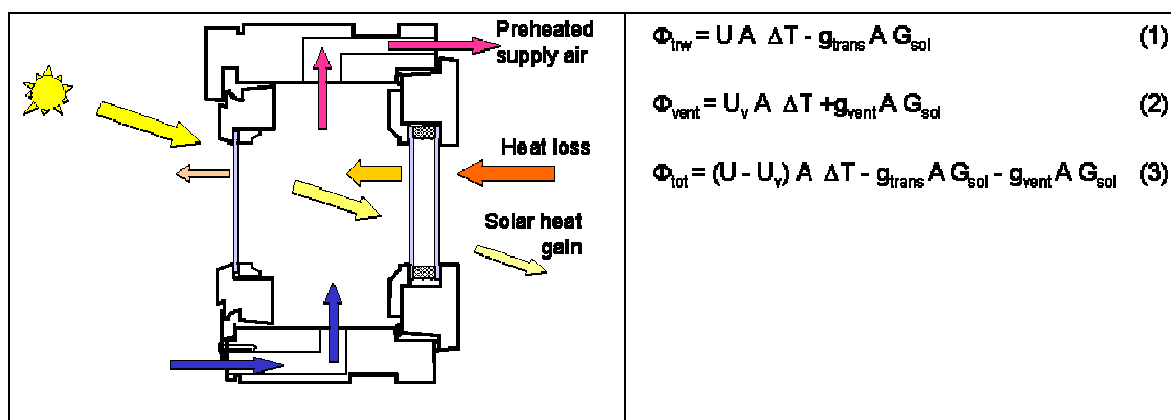
Kuva 2. Korvausilman lämpeneminen tuloilmaikkunassa tyypillisenä talvipäivänä. Korvausilma lämpenee ikkunan lämpöhäviön vaikutuksesta sekä auringonsäteilyn vaikutuksesta.



Kuva 3. Korvausilman lämpeneminen tuloilmaikkunassa tyypillisenä talvipäivänä. Korvausilma lämpenee ikkunan lämpöhäviön vaikutuksesta sekä auringonsäteilyn vaikutuksesta.

2.2 Tuloilmaikkunan energiatekninen toimivuus ja siihen vaikuttavat tekijät

Tuloilmaikkunan energiateknisen toimivuuden periaatteet ja menettelytapa, jolla energiateknistä toimivuutta voidaan arvioida, on esitetty taseyhtälöiden muodossa (/ 3 / , / 4 / , / 5 / ja / 6 /). Toimivuus voidaan esittää yksinkertaisimmillaan kuvan 4 yhtälöiden muodossa.



Kuva 4. Tuloilmaikkunan energiavirrat ja taseyhtälöt energiatarkasteluihin.

Tuloilmaikkunan energiatekninen toimivuus voidaan esittää komponenttitasolla muodossa:

$$\Phi = (U_{qv} - U_v) A \Delta T - g A G_{sol} - g_v A G_{sol}, \quad (2)$$

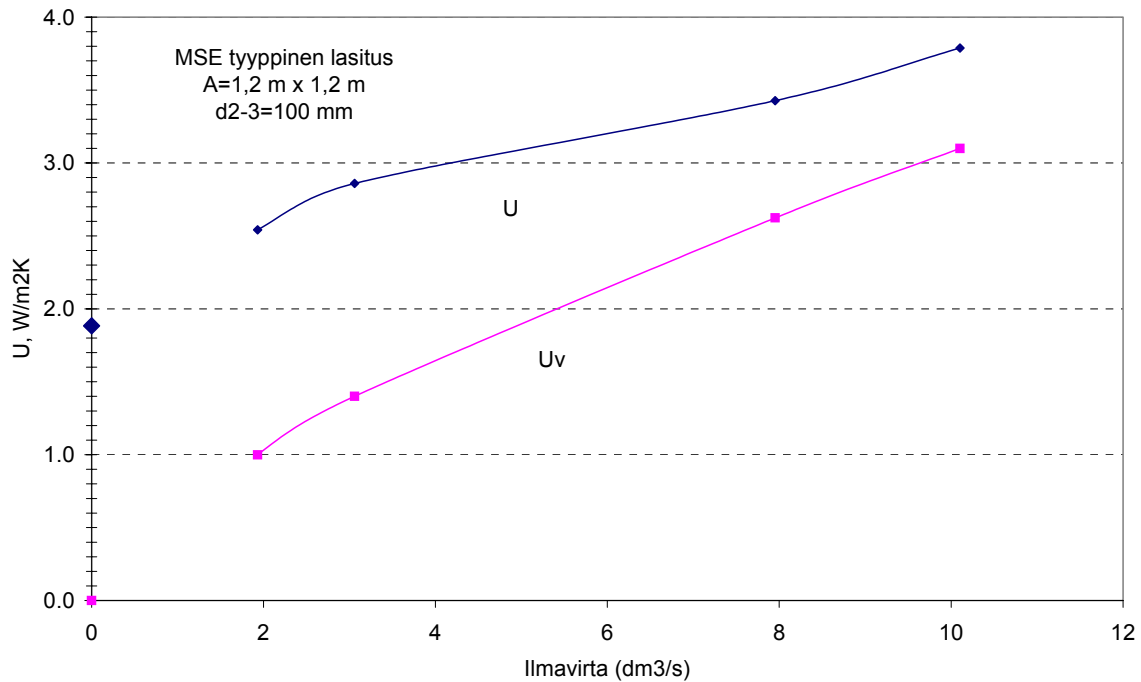
missä

- A ikkunan pinta-ala (m^2)
- Φ hetkellinen lämpövirta ikkunan läpi (W)
- G_{sol} auringonsäteilyn teho ikkunan ulkopinnalle (W/m^2)
- ΔT ikkunan yli vaikuttava sisä- ja ulkolämpötilojen erotus $\Delta T =$ sisälämpötila – ulkolämpötila (K)
- U_{qv} lämmönläpäisykerroin, U-arvo, on kappaleen läpi menevä lämpövirta jaettuna lämpötilaerolla (auringonsäteilyn vaikutusta ei oteta huomioon) (W/m^2K)
- U_v osuus lämmönläpäisykertoimesta, joka siirtyy tuuletusilmavirtaan, osuus $U_{qv}-U_v$ johtuu ulos rakenteesta (auringonsäteilyn vaikutusta ei oteta huomioon) (W/m^2K)
- g_v suhteellinen osuus ulkopinnalle osuvasta auringonsäteilyn tehosta, joka siirtyy tuuletusilmavirtaan (ainoastaan auringonsäteilyn vaikutus otetaan huomioon, lämpötilaero seinän yli nolla) (-)
- g suhteellinen osuus ulkopinnalle osuvasta auringonsäteilyn tehosta, joka johtuu kappaleen läpi huonetilaan (ainoastaan auringonsäteilyn vaikutus otetaan huomioon, lämpötilaero seinän yli nolla) (-).

Lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoituksessa, kun huomioidaan ainoastaan ikkunan lämpöhäviöt eikä huomioida auringonsäteilyn vaikutusta, kaava yksinkertaistuu muotoon:

$$\Phi = (U_{qv} - U_v) A \Delta T. \quad (3)$$

Arvot U_{qv} ja U_v ovat ilmavirrasta riippuvia ja ovat eri tuotteille erilaisia. Kuvassa 5 on esitetty erään MSE-tyyppisen tuloilmaikkunan edellä mainitut lämmönläpäisykerroimet ilmavirran funktiona.



Kuva 5. Erään MSE-tyyppisen tuloilmaikkunan lämmönläpäisykerroin U_{qv} sekä ilman lämpenemistä kuvaava kerroin U_v . Käyrien välinen ero kuvaa hukattua lämpöhäviötä (W/m^2K).

Tuloilmaikkunan energiatehokkuuteen vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

- Ilmavirta

Mitä suurempi ilmavirta rakenteen läpi otetaan huonetilaan, sitä vähemmän ilmavirta lämpenee. Toisaalta taas ilmavirran mukana siirtyvä lämpövirta kasvaa eli häviötä otetaan enemmän talteen. Tämä siirtyvä lämpövirta on johtunut sisemmän lasin ja puitteen kautta (ja on siis lämpöhäviötä huonetilasta). Lämmityskaudella tuloilmavirtaa ei kuitenkaan kannata kasvattaa suuremmaksi kuin tilan raitisilman tarve edellyttää, koska häviöt eivät yleensä riitä esilämmittämään tuloilmaa riittävästi.

- Ilman kulkureitit

Ilman virtausreittien suunnittelulla vaikutetaan merkittävästi ikkunan energiatehokkuuteen. Sisäänvirtausaukon tai -aukkojen sijainnilla, muotoilulla ja pinta-alalla vaikutetaan paikallisiin ilmavirran nopeuksiin ja ilmavirran pyörteisyyteen. Ilmavirtauksen muoto (laminaarinen tai turbulenttinen virtaus) taas vaikuttaa voimakkaasti lämmönsiirtymisen tehokkuuteen.

- Ikkunan pinta-ala

Ikkunan pinta-alan kasvattaminen yleensä suurentaa ilmavirran lämpenemissuhdetta, koska ilmavirran kulkema matka kasvaa ja lämpöä luovuttavan pinnan ala kasvaa.

- Ikkunan muoto

Ikkunan muoto ja virtausreittien sijainti vaikuttavat ilmavirran kulkemaan matkaan ja siksi ne vaikuttavat myös lämpenemissuhteeseen.

- Sisäpuiteen lämmöneristävyys

Sisäpuiteen lämmöneristävyys (puiteosa ja lasiosa) vaikuttaa lämpöhäviön suuruuteen (häviö sisäpuiteen läpi huonetilasta ulospäin) ja siten myös tuloilman esilämpenemiseen rakenteessa. Mitä huonompi on sisäpuiteen lämmöneristävyys, sitä paremmin ilma esilämpenee rakenteessa. Toisaalta taas mitä huonompi on sisäpuiteen lämmöneristävyys, sitä alhaisempi on myös ikkunan sisäpinnan lämpötila. Sisäpuiteen lasiosan lämmöneristävyyteen voidaan vaikuttaa lasien lukumäärällä (yleensä 1 tai 2), lasien emissiviteetillä, lasien välisellä etäisyydellä ja eristyslasin täytekaasulla (mikäli käytetään eristyslasiä sisäpuiteessa).

- Ulkopuiteen lämmöneristävyys

Ulkopuiteen lämmöneristävyys vaikuttaa ilman esilämpenemiseen rakenteessa. Mitä huonompi on ulkopuiteen lämmöneristävyys, sitä vähemmän ilma lämpenee rakenteessa.

- Valoaukon suhde kokonaispinta-alaan

Koska yleensä valoaukon ja karmi-puiteosan lämmöneristävyydet ovat erilaiset, näiden suhteelliset osuudet vaikuttavat ilman lämpenemisen tehokkuuteen rakenteessa.

2.3 Ikkunan virtaustekninen toimivuus ja rakennuksen tiiviyn merkitys

Tuloilmaikkuna on osa rakennuksen virtausverkostoa (Kuva 6). Osa rakennuksen virtausverkostoa on suunniteltua ja hallittua (kanavistot, venttiilit, puhaltimet, säätöelimet). Osa verkostosta on kuitenkin hallitsematonta tai huonosti hallittavissa. Rakennuksen vaippa voidaan ajatella osaksi virtausverkostoa. Täysin tiivis rakennuksen vaippa olisi

hallitun ilmanvaihdon kannalta optimaalinen ratkaisu, mutta tällaista ei käytännössä esiinny. Rakennuksella on käytännössä tietty tiiviystaso, joka voidaan ilmaista ilmanvuotolukuna n_{50} , jonka yksikkö on 1/h (vaihtoa tunnissa). Ilmanvuotoluku ilmaisee, kuinka suuri on hallitsematon ilmanvaihto rakennuksen vaipan kautta, kun paine-eroksi asetetaan 50 Pa. Hatarassa rakennuksessa on rakoja ja saumoja, joista ilma vuotaa hallitsemattomasti sisään tai ulos, riippuen painesuhteista. Jotta ilma virtaa sisään ja ulos suunniteltuja reittejä, rakennuksen täytyy olla riittävän tiivis.

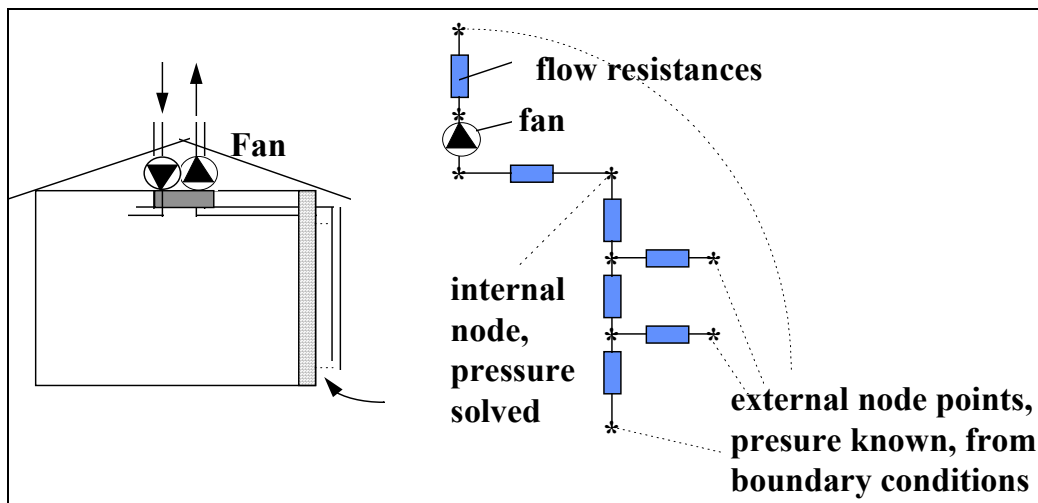
Virtausverkoston yhden komponentin ilmavirta voidaan esittää muodossa

$$q_{m,i} = K_i (\Delta p_i)^n, \quad (4)$$

missä

- $q_{m,i}$ verkoston osan i ilmavirta (kg/s)
- Δp_i verkoston osan i painehäviö
- K_i virtausvastus
- n virtausekspONENTTI.

Komponentin virtausvastus määritetään mittaamalla ilmavirta-painehäviökäyrä. Tuloilmaikkunan tapaukselle mittausmenetelmä on esitetty luvussa 5.2.1 ja esimerkkikäyrä luvussa 6.2.1.



Kuva 6. Rakennuksen virtausverkoston periaatekuva.

Läpi tulevaa ilmanvaihtoa voidaan arvioida lähteen / 18 / esittämän kaavan mukaisesti

$$n_v = n_{50} (\Delta p / 50)^{0.7}. \quad (5)$$

Esimerkiksi paine-eron 15 Pa vallitessa vaipan ilmanvuotoluvulla $n_{50} = 0,5$ saadaan vuotoilmanvaihtokertoimeksi $n_v = 0,2$ 1/h.

Paine-eron ja vaipan ilmanvuotoluvun kasvattaminen kasvattavat vuotoilmanvaihtokerrointa.

Taulukossa 1 on esitetty, mitä kyseisessä esimerkkitapauksessa vuotoilmanvaihtokerroin on ilmavirtana erikokoisissa huoneissa sekä mikä ilmavirta tulee esimerkkiventtiilistä, jonka ilmavirta-paine-ero-ominaiskäyrä tunnetaan.

Taulukko 1. Esimerkkilaskelma. Vuotoilmanvaihtokerroin ja vuotoilmavirta erikokoisissa huoneissa sekä ilmavirta esimerkkiventtiilistä, jonka ilmavirta-paine-ero-ominaiskäyrä tunnetaan ($q_v = 0.5847 \Delta p^{0.8018}$).

Esimerkki vaipan ilmanpitävyyden vaikutuksesta			
Paine-ero vaipan yli =	15 Pa		
Vaipan ilmanvuotoluku n_{50} =	0,5 1/h (dp = 50 Pa)		
Vaipan läpi tuleva ilmanvaihto =	0,22 1/h		
Vastaa ilmavirtaa q_v , kun huonetilavuus on V			
	V [m ³]	q_v [m ³ /h]	q_v [l/s]
	20	4,3	1,2
	30	6,5	1,8
	45	9,7	2,7
	60	12,9	3,6
	75	16,1	4,5
Venttiilin ominaiskäyrä on muotoa $q_v = a \cdot dp^b$			
esim.		$y = 0.5847x^{0.8018}$	
a =	0,5847		
b =	0,8018		
Ilmavirta venttiilistä $q_{v,v}$ [l/s] =	5,1		
Kokonaisilmavirta q_{total} valitulla paine-erolla			
	V [m ³]	q_{total} [l/s]	osuus venttiilistä (%)
	20	6,3	81,1
	30	6,9	74,1
	45	7,8	65,6
	60	8,7	58,8
	75	9,6	53,3
			osuus vaipasta (%)
			18,9
			25,9
			34,4
			41,2
			46,7

Tiiviuden käsittely Suomen Rakentamismääräyskokoelma osassa C3 Rakennuksen lämmöneristys, Määräykset 2003 / 9 /, kohta 2.3, on seuraava:

2.3 Vaipan ilmanpitävyys

2.3.1

Rakennuksen vaipan tulee olla niin ilmanpitävä, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen.

Selostus

Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta rakennuksen ilmanpitävyyden tulisi olla mielellään lähellä arvoa $n50 = 1 \text{ l/h}$ (rakennuksen vaipan läpi virtaa yksi rakennuksen ilmatilavuus tunnissa paine-eron sisä- ja ulkoilman välillä ollessa 50 Pa).

2.3.2

Ikkunan ja oven liittyminen ympäröiviin rakenteisiin tulee olla ilmanpitävä. Karmin ja puitteen tiivistämiseen käytettävien tarvikkeiden tulee olla sellaisia, että ne kestävät käytössä esiintyvät rasitukset oleellisesti vaurioitumatta.

Ympäristöopas 106 / 12 / toteaa, että rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyden tulee olla mahdollisimman hyvä, mutta suunnitteluratkaisussa ei saa käyttää pienempää vuotoilmanvaihdon ilmavirtaa kuin perusratkaisussa. Ympäristöoppaassa 106 perustellaan RakMK osan C3 ilmanpitävyys-kohtaa seuraavasti:

Syyt siihen, ettei vaatimusta esitetä ilmanpitävyyden lukuarvona, ovat seuraavat:

- tiedollisesti ei toistaiseksi ole edellytyksiä laatia kattavaa kaikille rakennustyypeille soveltuvaa ilmanpitävyyden rakentamisen ohjetta, jonka noudattaminen luotettavasti varmentaa halutun ilmanpitävyyden saavuttamisen
- käytännössä ilmanpitävyys voidaan todeta vasta jälkikäteen mittauksin valmiissa rakennuksessa
- rakennuksen vaipan ilmanpitävyys voi muuttua rakennuksen ikääntyessä.

3. Aihealueen tutkimukset ja kansainvälinen yhteistyö

3.1 Tuloilmaikkunoiden aikaisemmat tutkimukset

Ilmanvaihdon järjestämistä ikkunan kautta on tutkittu laajasti jo 1950-luvulla / 1 /. Tutkimuksessa esitetään perusratkaisut tuloilmaikkunoille, jotka ovat kaksi tai kolmi-puitteisia, kussakin puitteessa yksi kirkas lasi.

Tutkimuksessa / 2 /selvitettiin ratkaisuja ulkoilman hallitun sisäänoton järjestämiseksi ikkunan lasivälin kautta vedottomasti ja ilmanvaihdon tehokkuuden kannalta järkevällä tavalla. Ratkaisuja kehitettiin koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä varustettuihin pien- ja kerrostaloihin. Laboratoriossa etsittiin kussakin mittauksessa vedottomasti sisäänsaatava ilmavirta ja samalla mitattiin paikallisen ilmavirtauksen nopeus ja lämpötila, operatiiviset lämpötilat, vertikaaliset lämpötilaerot, ikkunan pintalämpötilat, ilman sisäänpuhallusarvot, paine-erot ikkunassa ja ilman vaihtotehokkuus. Lisäkokeissa tutkittiin mm. ikkunasyvennyksen, verholaudan ja karmilistan vaikutusta sisäilmastoon. Ilma johdettiin sisään kaksilasisen ikkunan pääasiassa tiivistämättä jätetyistä puiteraoista, mutta myös sisäikkunan yläpuitteeseen porattuja reikiä ohjauslistalla varustettuna kehitettiin. Lisäkokeissa käytettiin myös säleventtiiliä yläpuitteessa. Kokeet suoritettiin pääasiassa -10 °C :n ja -20 °C :n ulkolämpötiloissa. Ulkoilmaa saatiin tuloilmaikkunan kautta vedottomasti sisään n. $6,0\text{ dm}^3/\text{s}$ valoalan m^2 :ä kohti. Ulkoilma lämpeni tuloilmaikkunan läpi tullessaan n. 50 % sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta, ja tämän suhteen parhaimmaksi osoittautui tapaus, jossa ilma tuotiin ulkoikkunan alapuiteraon ja sisäikkunan yläpuiteraon kautta. Paine-erot ikkunan yli olivat n. 10–20 Pa, jotka ovat käytäntöä ajatellen sopivia. Tuloilmaikkunan sisälasin pintalämpötila laskee kylmän ulkoilman vaikutuksesta ja se on alttiimpi vesihöyryntiivistymiselle sisäpintaan kuin tavallinen tiivis ikkuna. Kokeissa havaittujen hetkellisten tiivistymisien ja samanaikaisesti mitattujen huoneilman suhteellisten kosteuksien perusteella todettiin, että tuloilmaikkuna ei sovellu huonetiloihin, joissa on jatkuva korkea suhteellinen kosteus talviolosuhteissa.

Tuloilmaikkunan nykyaikaisia venttiiliratkaisuja, joissa ilman takaisinvirtaus on estetty, tutkittiin 1990-luvulla / 17 /.

3.2 Kansainväliset projektit

Seuraavassa on kuvattu kansainväliset hankkeet, joissa on käsitelty tuuletettujen lasirakenteiden tai ikkunoiden toimivuutta.

3.2.1 IEA Task 27

Tutkimusohjelma IEA Task 27 keskittyi rakennuksen julkisivujärjestelmiin ja -komponentteihin, joissa käytetään kirkkaita, säteilyä läpäiseviä tai auringonsäteilyä rajoittavia materiaaleja, dynaamisesti säädettäviä tai säätyviä lasia, aurinkokerääjiä tai näiden osien yhdistelmiä / 26 /. Tutkittavia lasituotteita ovat:

- pinnoitetut lasit
- eristyslasit, ikkunat ja julkisivuelementit
- dynaamiset lasit, kuten sähkökromaattiset, kaasukromaattiset ja lämpökromaattiset lasit
- heijastamattomat lasit
- valoa diffusoivat lasit
- tyhjölasisit
- valoa läpäisevät eristeet
- luonnonvalosovellukset
- auringonsuojaratkaisut, kuten säleät yms.
- aurinkosähköä tuottavat PV-ikkunat (PV = Photovoltaics)
- aurinkokerääjissä käytettävät materiaalit (polymeerilasit, abroptiopinnat ja heijastinosat).

Tutkimusohjelman tavoitteena oli kehittää lasirakentamisessa käytettävien materiaalien ja komponenttien säteily-, valo- ja lämpötekniistä toimivuutta siten, että rakennusten energiatekninen toimivuus paranee, viihtyisyys lisääntyy, rakennusten elinikä kasvaa ja ekologisuus paranee. Ikkunateknologiaan liittyvää energiateknisen toimivuuden arviointia kehitetään ja luotettavuutta parannetaan kehittämällä ja käyttöönottamalla menetelmiä, joilla arvioidaan kestävyyttä, luotettavuutta (mm. vikaantumisriskejä ja käyttöikä) sekä ympäristövaikutuksia.

”The objectives of this Task are to determine the solar visual and thermal performance of materials and components, such as advanced glazing, for use in more energy efficient, comfortable, sustainable buildings, on the basis of an application oriented energy performance assessment methodology; and to promote increased confidence in the use of these products by developing and applying appropriate methods for assessment of durability, reliability and environmental impact.”

Yhtenä osaprojektina hankkeessa oli case study 'Double envelope facades', joka tarkasteli kaksoisjulkisivujen ja tuuletettujen julkisivujen energiatehokkuutta ja sen määrittämistä / 5 /. Tutkimuksessa todettiin, että luotettava rakennusten energiatehokkuuden

määrittäminen edellyttää luotettavia suunnitteluparametrejä tuuletetuille kaksoisjulkisivuille. Tutkimuksessa vertailtiin tutkimuslaitosten laskentavalmiuksia yhteisen vertailutapauksen laskennan kautta.

3.2.2 WINDAT ja WIS

Ikkunoiden ja lasirakenteiden toimivuusominaisuuksien, kuten U-arvon, aurinkoenergian ja valon läpäisy-suhteen, laskentaan käytetään kehittyneitä laskentaohjelmia sekä eurooppalaisen standardoinnin kautta sovittuja yksinkertaistettuja käsinlaskentamenetelmiä. Ohjelmia ovat esimerkiksi Window5, WIS, Therm, Frame ja Optics. Kehittyneiden suunnitteluohjelmien käyttö edellyttää usein hyvinkin yksityiskohtaisen teknisen tuotetiedon käyttöä, esimerkiksi lasien spektriset läpäisy- ja heijastussuhteet. Aina tällaista tuotetietoa ei kuitenkaan ole saatavilla, vaikka sitä varmasti on olemassa.

Eurooppalaisena yhteisprojektina toteutettiin projekti WINDAT eli Window Energy Data Network / 23 /, jonka päämääränä on edistää lasialan avoimuutta tuotteiden teknisten ominaisuustietojen jakamisessa. Networkin keskeisenä tavoitteena on myös tuoda laajempaan käyttöön WIS-ohjelma (/ 24 /, / 25 /), joka on eurooppalainen vastine Window-ohjelmalle. Ohjelmalla voidaan laskea ikkunoiden ja lasirakenteiden lämmönläpäisykerroin (U-arvo) sekä aurinkoenergian ja valon läpäisy-suhteet. Lisäksi voidaan laskea erilaisia yksityiskohtaisia detaljitietoja, mm. lämpötiloja ja säteilyn absorptiosuhteita lasirakenteille.

WIS 3.0 on vakioitu monikäyttöinen eurooppalainen laskentatyökalu, joka on suunniteltu ikkunoiden ja niiden komponenttien (lasitus, karmi- ja puiteosa, aurinkosuojat) lämpö- ja säteilyteknisten ominaisuuksien määrittämiseen. Se on käyttäjäystävällinen ja tehokas työkalu, joka on tehty laajalle käyttäjäkunnalle: konsultit, valmistajat, rakennusten suunnittelijat, tutkijat kouluttajat sekä standardien ja rakennusmääräysten kehittäjät.

WIS-ohjelma, joka aikaisemmin oli kehitetty lisenssin vaativaksi työkaluksi Euroopan komission rahoittamassa tutkimusprojektissa, on päivitetty eurooppalaisen WINDAT network -hankkeen aikana. Verkosto koostuu 40 johtavasta tutkimus- ja koulutusorganisaatiosta, teollisuudesta, konsulteista sekä suunnittelijoista, ja ryhmällä on vahva edustus myös eurooppalaisessa standardointityössä.

WIS-ohjelman laskenta perustuu kansainvälisiin standardeihin (ISO, CEN), mutta WIS sisältää myös komponenteille tai olosuhteille kehittyneempiä laskentarutiineja, joita nykyiset standardit eivät käsittele. WIS-ohjelma edistää kansainvälistä standardointityötä sekä ikkunoiden ja lasirakenteiden tuotteiden harmonisointia.

3.2.3 Muut kv-tutkimukset

Kaksoiskuorijulkisivujen ja tuuletettujen rakenteiden energiatekniikkaa sekä mittausmenetelmiä on tutkittu mm. projekteissa PV-HYB-PAS / 19 / ja MFVF Optimal Design of Ventilated Facades / 20 /, / 21 /. Projekteissa tehtiin aurinkosähkökennoilla päällystetyn ulkoseinärakenteen prototyyppi, ja sen toimivuutta (lämmöneristävyys, aurinkoenergian läpäisy, raitisilman esilämmitys) mitattiin todellisissa käyttöolosuhteissa.

EU:n rahoittamassa tutkimusprojektissa Research and Demonstration Project of a Low-Energy Whole House Ventilation System (RDPCLEVS) on tutkittu tuloilmaikkunoiden toimivuutta osana rakennusta keskieurooppalaisessa ilmastossa / 31 /. Projektissa on tehty suunnittelun tueksi www-sivut, joiden kautta saadaan suunnitteluun konsultaatiota hankkeen partnereiden markkina-alueella.

4. Energiateknisen suunnittelun vaatimat parametrit ja integrointi energiamääräyspakettiin

Lämmöneristysmääräysten (/ 9 /, / 10 /) mukaisuuden osoittamiseen on yleisesti kuvattu 3 vaihtoehtoista tapaa / 12 /. Perusvaatimusten mukainen ratkaisu (tapa 1) on sellainen, että määräysten minimitaso (U ja ilmanvaihto) täyttyy osakohtaisesti. Tavalla 2 rakennuksen vaipan lämpöhäviöt eivät ylitä perusvaatimusten mukaista vertailutasoa, (vaipan tasauslaskelma) ja ilmanvaihdon LTO täyttää perusvaatimuksen. Tavalla 3 rakennuksen vaipan lämpöhäviö ja ilmanvaihdon LTO:n yhteenlaskettu lämpöhäviö tai rakennuksen lämpöenergian tarve eivät ylitä perusvaatimuksen mukaista vertailutasoa (Laajennettu lämpöhäviöiden tasaus). Ympäristöoppaassa 106 todetaan, että tulo- ja poistoilmaikkuna eivät ole määräysten tarkoittamia LTO-ratkaisuja, eikä niissä myöskään voi käyttää muista ikkunoista poikkeavasti määritettyjä U-arvoja tasauslaskelmissa, jollei selvityksin toisin osoiteta.

Tässä tutkimuksessa on esitetty ehdotus (Luku 8), kuinka tuloilmaikkunaa käsitellään tasauslaskelmissa. Vaihtoehtoisina tapoina on yksinkertainen menetelmä, jossa ilman lämpenemisvaikutusta tuloilmaikkunassa ei oteta huomioon, ja tarkempi menetelmä, jossa energiataarkastelussa otetaan huomioon lämpenemisvaikutus käyttäen laskentaan lämpöhäviökerrointa $H = U - U_v$. Nämä molemmat tavat kuuluvat Ympäristöoppaan 106 määrittelemään Tapaan 3, koska tuloilmaikkuna ei ole lämmöntalteenottoalaite, joka ottaa lämpöä poistoilmasta.

4.1 Ikkunoita koskevat vaatimukset energiamääräyspaketissa

Ikkunoita koskevia määräyksiä ja ohjeita Suomen rakentamismääräyskokoelmien osissa D2 / 8 /, C3 / 9 / ja C4 / 10 / on käsitelty mm. lähteissä / 13 / ja / 14 /. Seuraavassa on tiivistetysti esitetty vaatimukset ikkunoille.

Ikkunan lämmönläpäisykertoimen (U-arvo) perusvaatimus on $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä määritetään karmin ulkomittojen mukaan ja on ikkunalle keskimääräinen arvo. Tuuletusluukkuja ei lasketa kuuluvaksi ikkunapinta-alaan. Kompensoinnissa suurin sallittu arvo, johon ikkunan U-arvoa voidaan kasvattaa, on $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Puolilämpimien tilojen ikkunan perusvaatimus on $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, jota voidaan edelleen kasvattaa arvoon $2,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ kompensoimalla muiden osien arvoissa. Lämpimän ja puolilämpimän tilan välillä sallitaan arvo $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Perusvaatimuksena esitetään, että yhteenlaskettu ikkunapinta-ala ei ole suurempi kuin 15 % rakennuksen kerrosalasta eikä suurempi kuin 50 % ulkoseinien yhteenlasketusta pinta-alasta. Pinta-alan perusvaatimuksesta voidaan poiketa, jos pinta-alan ylityksestä

aiheutuva lämpöhäviön lisäys kompensoidaan (parempi U-arvo tai parempi lämmöntalteenotto). Pinta-alan alitusta ei saa käyttää kompensointikeinona. Pienemmän ikkuna-pinta-alan tapauksessa vertailutasoksi asetetaan ko. suunnitelman mukaiset ikkunapinta-alat. 50 % ulkoseinän alasta -säännön ylittävä osuus on myös kompensoitava. Rakentamismääräysten osa G1 / 11 / asettaa myös pinta-alavaatimuksen asuinhuoneille. Asuinhuoneessa tulee olla ikkuna, jonka valoaukko on vähintään 1/10 huonealasta.

U-arvo osoitetaan yleisimmin käytetyn pinta-alan mukaiselle rakenteelle ja saatua U-arvoa voidaan käyttää rakennuksen kaikille samanlaisille ikkunarakenteille. Vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen riittää, että näyttö on annettu ikkunarakenteelle, jonka pinta-ala on vähintään 1,4 m². U-arvon määrittämiseen voidaan käyttää laskentamenetelmiä (EN ISO 10077 / 28 /, / 29 / tai RakMK C4 menetelmät) tai mittauksia / 15 /.

4.2 Vaihtoehtoja tuloilmaikkunan lämpöhäviön esittämiseen

Tuloilmaikkunan lämpöhäviö voidaan esittää kolmella vaihtoehtoisella tavalla (Kuva 7). Kuvan kaavassa (1) on jaoteltu lämpöhäviö johtumiseen sisäpinnan läpi ja ilmanvaihdon lämpöhäviöön, missä huomioidaan ilman lämpeneminen lämpenemissuhteen ϵ avulla. Kuvan kaavassa (2) lämpenemisvaikutus on huomioitu lämpöhäviötermissä korjaamalla U-arvoa. Tehollisena U-arvona käytetään tekijää $U-U_{v1}$. Tuloilman lämpenemisen vaikutus huomioidaan tekijässä U_{v1} . Kuvan kaavassa (3) ilmanvaihdon lämpöhäviö, jossa on huomioitu myös ilman lämpeneminen rakenteessa, on otettu huomioon tekijän U_{v2} avulla.

Kaikki kolme esitettyä tapaa ovat mahdollisia käsittelytapoja ja johtavat kokonaisenergiatarkastelussa samaan lopputulokseen. Tässä tutkimuksessa on päädytty energiamääräysten mukaisuuden osoittamisessa kuvan kaavan (2) muotoon. Perusteluna tähän on esitystavan selkeys. Tuloilman lämpeneminen huomioidaan U-arvossa ja ilmanvaihtotermi käsitellään ikään kuin ilma tulisi huonetilaan ulkoilman lämpötilassa. Menettelytapa, jolla tuloilmaikkunaa käsitellään tasauslaskelmissa, on esitetty luvussa 8.

• $\Phi_{\text{loss},2} = U A \Delta T + (1-\varepsilon) \overset{\text{lämmön talteenottovaikutus huomioitu täällä}}{q_v} \rho c_p \Delta T$ (1)

tai

• $\Phi_{\text{loss},1} = (U - U_{v1}) \overset{\text{lämmön talteenottovaikutus huomioitu täällä}}{A} \Delta T + q_v \rho c_p \Delta T$ (2)

tai

• $\Phi_{\text{loss},3} = (U - U_{v2}) \overset{\text{lämmön talteenotto ja ilmanvaihto kokonaan huomioitu täällä}}{A} \Delta T$ (3)

U_{v1} & U_{v2} , erilaiset määritelmät U_v

Kuva 7. Kolme vaihtoehtoa tuloilmaikkunan lämpöhäviön esittämiseen.

5. Menettelytavat suunnittelutiedon määrittämiseksi

Projektissa on selvitetty olemassa olevia laskentamenetelmiä, jotka soveltuvat tuloilmaikkunoiden laskentaan. Esimerkiksi ISO15099 / 27 / sisältää menetelmäkuvauksen tuulettujen lasivälien lämmönvastuksen laskentaan. Menetelmä on implementoitu WIS-ohjelmaan, jota on testattu tässä projektissa. Tarkastelut osoittivat, että laskentamenetelmä ei sovellu hyvin tuloilmaikkunoiden laskentaan. Mittausten osoittama ilmavirran lämpenemissuhde on jopa kaksinkertainen laskentamenetelmän tulokseen verrattuna. Testausmenetelmien osalta on kuvattu menetelmä tuloilmaikkunan mittaamiseksi ns. guarded and calibrated hot-boxissa. Menetelmällä on mitattu tyypillinen tuloilmaikkunan lasitus. Vastaava lasitus on mitattu myös PASLINK-ulkoilmatestauskammiossa.

5.1 Laskentamenetelmät

Tutkimuksessa on käytetty laskentatyökaluna WIS-ohjelmaa (/ 24 /, / 25 /). WIS on vakiointu monikäyttöinen eurooppalainen laskentatyökalu, joka on suunniteltu ikkunoiden ja niiden komponenttien (lasitus, karmi- ja puiteosa, aurinkosuojat) lämpö- ja säteilyteknisten ominaisuuksien määrittämiseen (Luku 3.2.2). Ohjelmaan on sisällytetty algoritmi, joka mahdollistaa tuulettujen lasivälien laskennan ISO15099 menetelmän / 27 / mukaisesti.

Versiolla WIS2.1.0 on laskettu tapaukset:

Tapaus 1. MSE kirkas, 4+123+4+12+4, w = 1 m, h = 1 m

- MSE-tyyppinen lasitus, 1 kpl 4 mm:n ulkolasi ja 2-lasinen eristyslasi, jossa 2 kpl 4 mm:n laseja ja 12 mm:n lasiväli, kaikki lasit kirkkaita float-laseja, ulkolasin ja eristyslasin välinen etäisyys 123 mm, lasin leveys 1 m, korkeus 1 m). Tuloilma otetaan lasiväliin erillislasin alareunan alta ja se virtaa sisälle eristyslasin yläreunan yläpuolelta.

Tapaus 2. MSE kirkas, 4+123+4+12+4, w = 1 m, h = 1.4 m

- Samantyyppinen lasitus kuin edellä, lasiosan korkeus 1,4 m.

Tapaus 3. MSE kirkas, 4+83+4+12+4, w = 1 m, h = 1.4 m

- Samantyyppinen lasitus kuin edellä, ulkolasin ja eristyslasin välinen etäisyys 83 mm.

Tapaus 4. MSEsel004, 4+83+4+12+4e = 0,04, w=1 m, h = 1.4 m

- Samantyyppinen lasitus kuin edellä, sisin lasi selektiivilasi, jonka emissiviteetti $e = 4 \%$, pinnoite eristyslasin välitilan puolella.

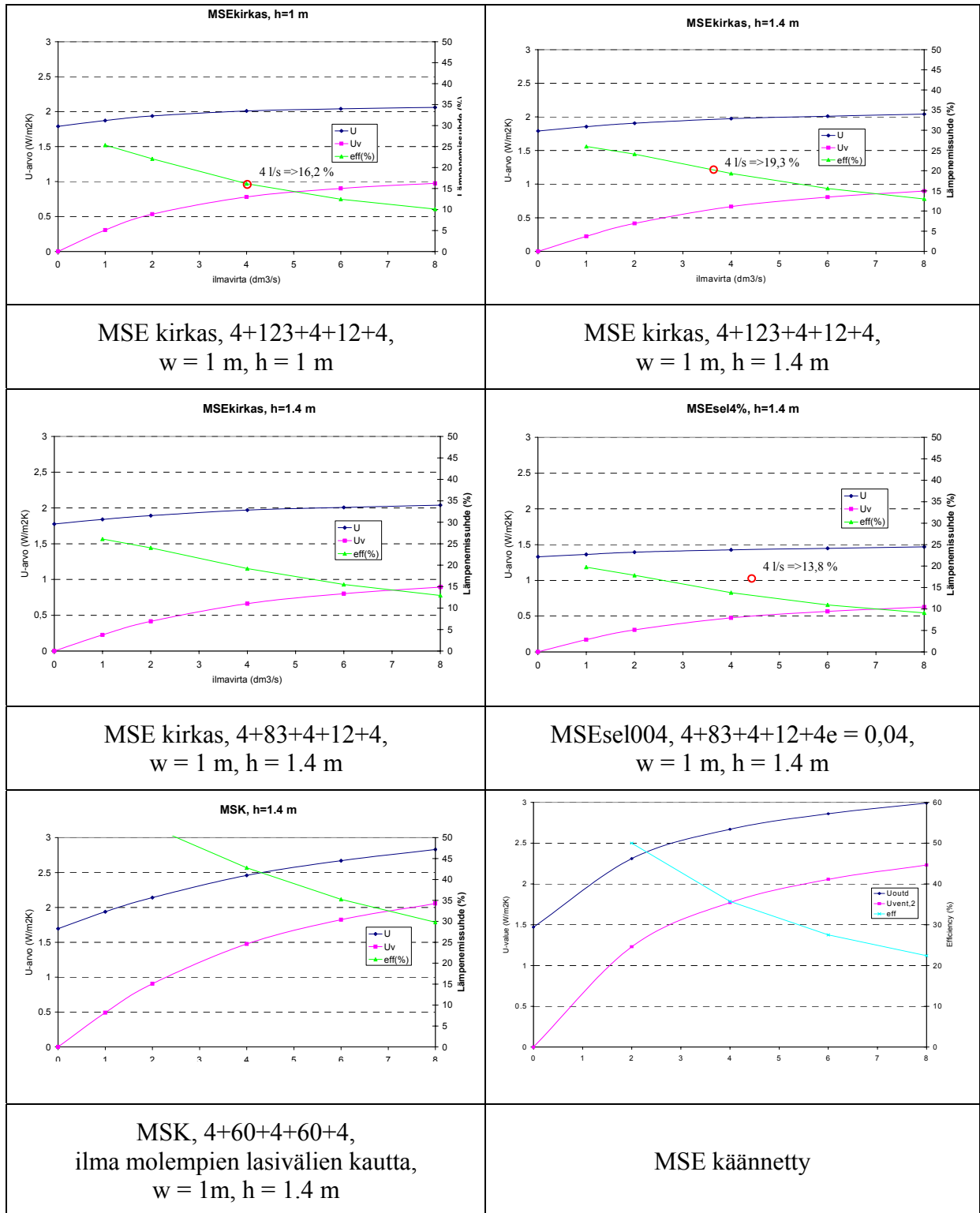
Tapaus 5. MSK, 4+60+4+60+4, ilma molempien lasivälien kautta, w = 1 m, h = 1.4 m

- Kolme erillistä kirkasta 4 mm:n lasia, lasien välinen etäisyys 60 mm, lasiosan leveys 1 m, korkeus 1,4 m. Ilma kiertää molempien lasivälien kautta ennen virtaamista sisälle huoneeseen.

Tapaus 6. MSE käännetty

- Samantyyppinen lasitus kuin tapauksessa 1, eristyslasi ulompana, erillislasi sisälasina.

Laskentatulokset on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Laskettujen tapausten U-arvo ja lämpenemissuhde eri ilmavirroilla.

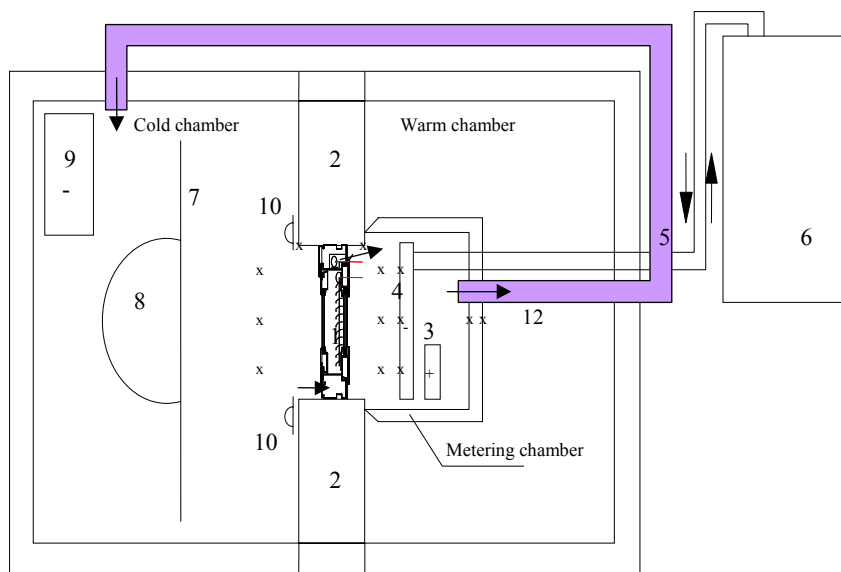
Laskentatuloksista huomataan, että

- Elementin korkeuden kasvattaminen kasvattaa lämpenemissuhdetta. Ilmavirralla $4 \text{ dm}^3/\text{s}$ lämpenemissuhde kasvaa 16,2 %:sta 19,3 %:iin korkeuden kasvaessa 1 metristä 1,4 metriin.. Lämmönläpäisykerroin U ei juuri muutu elementin korkeuden kasvaessa.
- Kirkkaan eristyslaselementin vaihtaminen selektiivilaselementtiin pienentää lämpenemissuhdetta 19,3 %:sta 13,8 %:iin ja pienentää U-arvoa merkittävästi. Ilman lämpeneminen on vähäisempää, koska eristyslasin kautta tapahtuva lämpöhäviö pienenee eristyslaselementin lämmöneristävyyden parantuessa.
- MSE-tyyppisen lasin vaihtaminen MSK-tyyppiseen kasvattaa lämpenemissuhdetta merkittävästi. Lämpöhäviö sisäpinnan kautta kasvaa myös merkittävästi (U-arvo kasvaa).
- MSE-tyyppisen lasituksen kääntäminen parantaa tuloilman lämpenemistä rakenteessa merkittävästi. Lämpöhäviö sisäpinnan läpi kasvaa myös merkittävästi.
- Mittaukset (Luku 6.2) antavat huomattavasti suurempia lämpenemissuhteita kuin laskelmat. Mittauksissa myös Uv-arvo on huomattavasti suurempi kuin laskelmissa. Lisäksi laskelmissa U-arvo kasvaa ilmavirran kasvaessa huomattavasti vähemmän kuin mittauksissa. Laskelmissa yksinkertaistetaan virtauksen tyyppiä ja käytännössä virtaus on erilaista kuin ideaalisissa laskelmissa.

Laskelmien vertailu luvun 6.2 mittauksiin osoitti, että WIS-ohjelma ei sovellu tuloilmaikkunan laskentaan. Käytännössä tuloilman johtaminen rakenteeseen ei edusta ideaalista virtausta, ja lämmönsiirto sisälasista tuloilmaan on käytännössä huomattavasti suurempaa kuin laskelmissa, jolloin ilma lämpenee rakenteessa enemmän kuin laskelmat osoittavat.

5.2 Mittausmenetelmät

Tuloilmaikkunan lämmönläpäisykerroin ja lämpenemissuhde voidaan määrittää mittamalla. Hot-box-menetelmässä (Kuva 9) ikkuna asennetaan kylmän ja lämpimän tilan väliseen asennukseen ja lämmin mittauskammio alipaineistetaan poistamalla ilmaa poistoilmapuhaltimen avulla. Tilalle virtaa ilmaa ulkoa tuloilmaikkunan kautta. Ulkoilmamittaus PASLINK-testitilassa osoittaa toimivuuden todellisissa olosuhteissa, kun ikkuna on asennettu koehuoneen julkisivuun (Kuva 10). Painehäviö-ilmavirta-ominaiskäyrä voidaan mitata tekemällä ikkunan sisäpinnan puolelle kotelo, josta imetään ilmaa, jonka virtaama sekä ikkunan yli vaikuttava paine-ero mitataan.



- 1 = koekappale**
2 = asennusseinä
3 = sähkölämmitin
4 = jäähdytysbaffle
5 = jäähdytysnestekierto (*)
6 = jäähdytysyksikkö (*)

- 7 = kylmän puolen baffle**
8 = aurinkolamppu (*)
9 = höyrystin
10 = säteilymittaus (*)
12 = poistoilmaputki
(*) = ei käytössä tässä tutkimuksessa

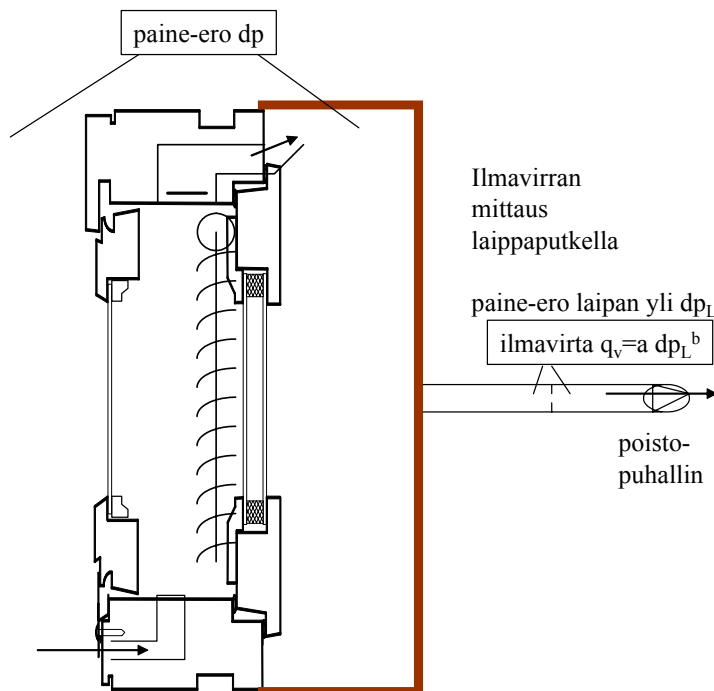
Kuva 9. Tuloilmaikkunan energiatehokkuuden mittaus ns. hot-box-menetelmällä. Vasemmalla periaatekuva, oikealla lasijulkisivu asennusseinässä.



Kuva 10. Tuloilmaikkuna asennettuna PASLINK-testitilan julkisivuun.

5.2.1 Ilmavirtaus eri paine-eroilla

Ikkunaventtiileille tehdään virtausvastuksen määrittely tyypillisellä ilmavirta-paine-ero-alueella eli sillä toiminta-alueella, jolla venttiili tulee toimimaan käytännössä. Kuvassa 11 on esitetty mittausjärjestelyn kuvaus. Ikkuna on koteloitu sisäpuolelta ja ilmaa poistetaan kotelosta poistoilmapuhaltimella. Ilmavirta mitataan laippaputkella ja paine-ero kotelon sisällä ja ikkunan ulkopuolella mitataan. Tuloilmaikkunan ominaiskäyrä mitataan yleensä ilman suodatinta ja suodattimen kanssa.



Kuva 11. Periaatekuva ikkunan koteloinnista virtaus-painehäviö-käyrän mittauksessa.

5.2.2 Lämpöhäviön mittaus Hot-box-menetelmällä

Hot-box-kokeissa ikkuna asennetaan kylmän ja lämpimän kammion väliseen asennusseinään. Lämpimällä puolella on kammion sisällä sisempi nk. mittauskammio, jonka lämmitysteho on säädettävissä tai aseteltavissa halutuksi. Mittauskammio on alipaineistettu kuvan 9 osoittamin järjestelyin. Ilmaa poistetaan mittauskammioista poistopuhaltimella, ja ilmavirta ohjataan takaisin kylmään kammioon.

Koekappaleen sisäpinnan kautta kulkeva lämpövirta Φ_{trw} voidaan esittää yleisessä muodossa:

$$\Phi_{trw} = U A \Delta T - g_{trans} A G_{sol}, \quad (6)$$

missä $\Delta T = T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}$

T_{indoor}	sisälämpötila ($^{\circ}\text{C}$)
T_{out}	ulkolämpötila ($^{\circ}\text{C}$)
A	pinta-ala (m^2)
G_{sol}	auringonsäteilyn teho koekappaleen ulkopinnalle (W/m^2).

Koekappaleen kautta virtaavaan ilmavirtaan siirtyvä lämpövirta Φ_{vent} voidaan esittää:

$$\Phi_{\text{vent}} = U_v A \Delta T + g_{\text{vent}} A G_{\text{sol}}. \quad (7)$$

Kokonaislämpöhäviö Φ_{tot} , joka siirtyy koekappaleen kautta huonetilasta saadaan yhdistämällä (1) ja (2) muotoon (3):

$$\Phi_{\text{tot}} = (U - U_v) A \Delta T - g_{\text{trans}} A G_{\text{sol}} - g_{\text{vent}} A G_{\text{sol}}. \quad (8)$$

Kun kylmä ulkoilma virtaa tuloilmaikkunan läpi kohti lämpimämpää huoneilmaa, ilmavirta lämpenee ikkunan lämpöhäviön vaikutuksesta, ja ilmanvaihdon lämpöhäviö pienenee. Huoneesta ulospäin siirtyvä lämpövirta lämmittää tuloilmavirtaa. Samalla tuloilmaikkunan rakenne ja puitteiden välinen ilmatila jäähtyy, mikä taas kasvattaa lämpöhäviötä sisemmän puitteen ja lasituksen kautta. Johtumislämpöhäviön ja ilmanvaihdon lämpöhäviön summa yhteensä on pienempi kuin tapauksessa, jossa samanlainen ikkunarakenne on tiivis (tiivis tässä tarkoittaa, että ilmanvaihtoa ei hoideta ikkunan kautta) ja ilmanvaihto hoidetaan erillisellä ulkoilmaventtiilillä.

Suhteellinen lämpöhäviö voidaan esittää Nusseltin luvulla Nu . Nusseltin luku määritellään

$$Nu = q_{\text{tot}}/q_{\text{ref,tot}}, \quad (9)$$

missä

q_{tot}	lämpöhäviöiden summa (johtuminen rakenteen kautta sekä ilmanvaihdon häviö) tarkasteltavassa tapauksessa
$q_{\text{ref,tot}}$	lämpöhäviöiden summa referenssitapauksessa. Referenssitapaus on tiivis ikkuna (ei ilmanvaihtoa ikkunan kautta) ja ilmanvaihto erillisellä venttiilillä (ei lämmöntalteenottovaikutusta venttiilissä).

Nusseltin luku 1 tarkoittaa, että lämpöhäviöt eivät pienene vertailutapaukseen verrattuna. Arvo < 1 tarkoittaa, että lämmöntalteenottovaikutus pienentää ikkunan ja ilmanvaihdon kokonaislämpöhäviötä.

Lämpötilahyötysuhdetta käytetään tyypillisesti vertailtaessa lämmönsiirtimien kykyä ottaa lämpöä talteen poistoilmasta ja siirtää sitä tuloilmaan. Tuloilmaikkunalle voidaan määritellä vastaavan tyyppinen lämmöntalteenoton hyötysuhde ε

$$\varepsilon = \frac{T_{vent} - T_{out}}{T_{indoor} - T_{out}}, \quad (10)$$

missä

T_{vent}	tuloilmaikkunan läpi virtaavan ilman lämpötila huoneen puolella venttiilissä ennen sekoittumista huoneilmaan.
T_{out}	ulkoilman lämpötila
T_{indoor}	sisäilman lämpötila (ilma-ilma-lämmöntalteenottolaitteiden tapauksessa tämän tilalla käytetään poistoilman lämpötilaa).

Testitilan lämpötase voidaan esittää muodossa

$$\Phi_{heating} + \Phi_{fan} + q_v \rho c_p (T_{vent} - T_{indoor}) - U A (T_{indoor} - T_{out}) - \Phi_{heatlosses} + g_{trans} A G_{sol} = 0, \quad (11)$$

missä

$\Phi_{heating}$	tilan lämmitysteho
Φ_{fan}	huonetilan kiertoilmapuhaltimen teho
$\Phi_{heatlosses}$	tilan muiden kuin testiseinän lämpöhäviöt
q_v	ilmavirta.

Ilmaan siirtyvä lämpöteho Φ_{vent} voidaan kirjoittaa myös muotoon

$$\Phi_{vent} = q_v \rho c_p (T_{vent} - T_{out}). \quad (12)$$

Yhtälöistä (6)–(12) voidaan ratkaista U- ja U_v -arvot.

5.2.3 Lämpöhäviön mittaus PASLINK-testikammiossa

Tuloilmaikkunoiden ja erilaisten ilmavirtausrakenteiden / 16 / energiatehokkuuden määrittämisen menetelmiä on kehitetty mm. EU-projekteissa PV-HYBRID-PAS / 19 / ja IQTEST / 22 /. Menetelmä tuloilmaikkunan mittaamiseen on kuvattu mm. lähteissä / 3 / , / 4 / , / 5 / ja / 6 / .

Ulkoilmamittauksen menetelmä on kuvattu liitteessä A.

6. Toimivuustiedot tyypillisille tuloilmaikkunoille

Hankkeeseen osallistuvat tuotevalmistajat ovat suunnitelleet ja valmistaneet projektin käyttöön kukin yhden tuloilmaikkunan. Tuloilmaikkunat on toimitettu VTT:lle, jossa niille on tehty toimivuustarkastelut. Toimivuustarkasteluissa on selvitetty ikkunoiden painehäviö-ilmavirta-ominaiskäyrät sekä energiatekniset toimivuusparametrit PASLINK-ulkoilmatestausmenetelmällä.

Lisäksi on tehty erillisinä mittauksina tarkastelut kolmilasiselle kirkkaalle lasitukselle tarkemmalla hot-box-menetelmällä. Lasitus on ollut MSE-tyyppinen (1 kirkas ulkolasi, eristyslaselementti sisälasituksena) tai MSK-tyyppinen (kolme erillistä lasia).

6.1 Mitattavat tapaukset

Seuraavassa on listattu mitatut tapaukset koekappaleen valmistajan mukaan jaoteltuna.

Alumglas:

- 1. 3-lasinen, 3-puitteinen ikkuna, lasit ovat pinnoittamattomat. Ilma kiertää kahden lasivälin kautta.

Dir-Air/Fenestra:

- 2. MSE-ikkuna, jossa keskimmainen lasi on selektiivilasi
- 3. MSE-ikkuna, jossa lasit kirkkaita

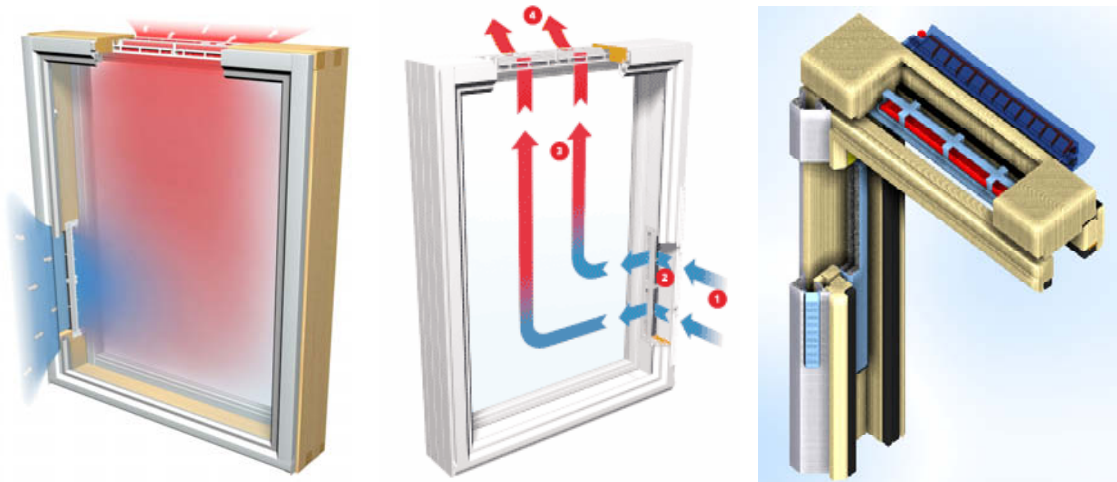
Domus/Tiivi/Muoviitala:

- 4. MSE-ikkuna, jossa keskimmainen lasi on selektiivilasi
- 5. MSE-ikkuna, jossa lasit kirkkaita

Lasiosat, VTT:

- MSE-tyyppinen lasitus (ulkolasi + eristyslaselementti), 3 kirkasta lasia, eri kokoisia:
 - 1,2 m x 1,2 m
 - 1,0 m x 2,1 m
 - 1,0 m x 1,5 m ja
 - 1,0 m x 1,0 m
- MSK-tyyppinen lasitus, 3 kirkasta lasia, elementin koko 1,2 m x 1,2 m.

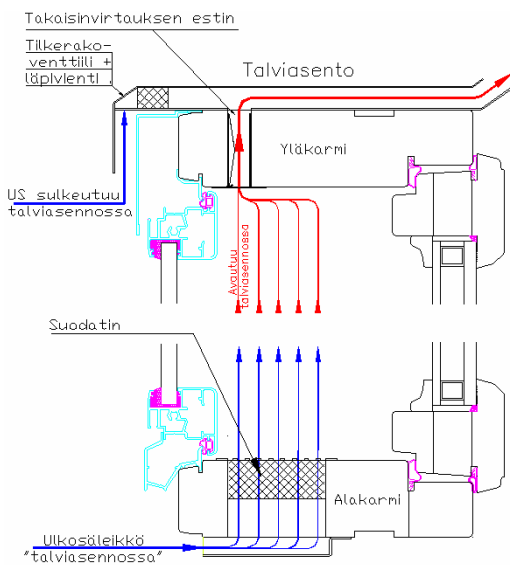
Kuvassa 12 (a)–(e) on esitetty eri valmistajien tuloilmaikkunoiden periaatekuvia.



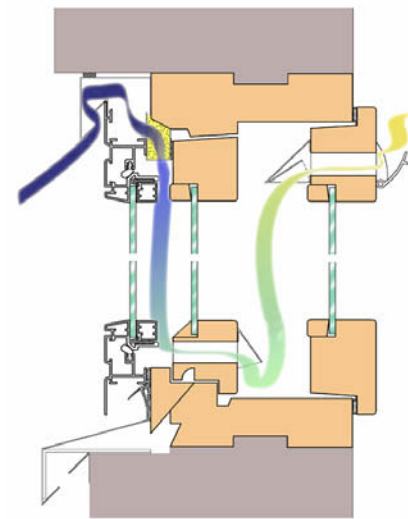
(a) <http://www.tiivi.fi>

(b) <http://www.domus.fi>

(c) <http://www.perho.com/yritykset/muoviitala/>



(d) <http://www.dir-air.fi>



(e) <http://www.alumglas.fi>

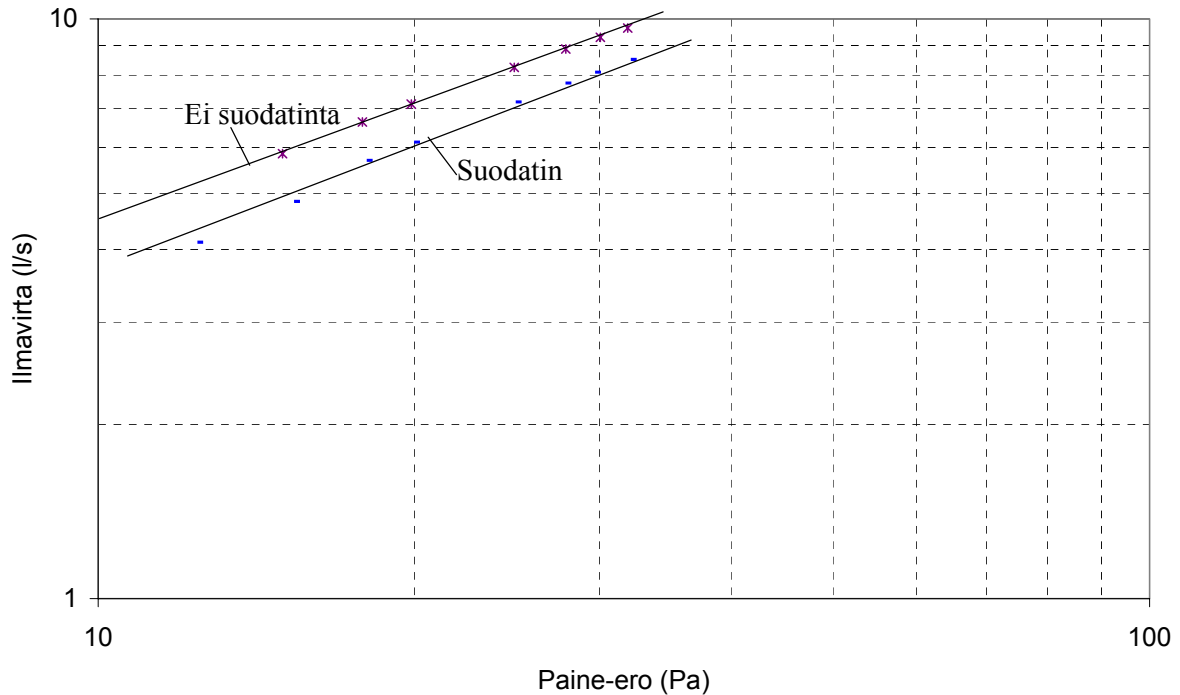
Kuva 12. Eri valmistajien tuloilmaikkunoita. Ilman sisäänjohtaminen rakenteeseen pystypuitteen/karmin kautta (a), (b) & (c), alakarmin kautta (d) ja yläkarmin kautta (e).

6.2 Mitatut tulokset

Seuraavassa on esitetty mittausten tulokset.

6.2.1 Painehäviö-ilmavirta-käyrät

Tuloilmaikkunan kautta sisään johdettava ilmavirta riippuu ikkunan yli vaikuttavasta paine-erosta. Ilmanvaihdon suunnittelija valitsee tuotteen, joka sopii ilmanvaihtojärjestelmään ja sen painetasoon. Eri tuotteille on valmistajilta saatavissa paine-ero-ilmavirta-ominaiskäyrät, joita tarvitaan suunnittelussa ja valinnassa (Kuva 7). Käyrän avulla voidaan osoittaa, että suunniteluilmavirta on saavutettavissa. Suunniteluilmavirta on saavutettava enintään 30 Pa:n paine-erolla.



Kuva 13. Erään tuloilmaikkunan ilmavirta paine-eron funktiona. Esimerkiksi 20 Pa:n paine-erolla venttiilistä suodattimen kanssa saadaan ilmavirta 6 l/s.

Jotta tuloilmaikkuna toimii oikein osana koneellisen poiston järjestelmää, rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on varmistettava. Rakentamismääräyskokoelman osassa C3 todetaan, että rakennuksen vaipan tulee olla niin ilmanpitävä, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Selostusosassa todetaan, että ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta rakennuksen ilmanpitävyyden tulisi olla mielellään lähellä arvoa $n_{50} = 1$ l/h (rakennuksen vaipan läpi virtaa yksi rakennuksen ilmatilavuus tunnissa paine-eron sisä- ja ulkoilman välillä ollessa 50 Pa). Mitä suuremmalle paine-erolle

(alipaine rakennuksessa) koneellisen poiston järjestelmä suunnitellaan, sitä tiukemmat vaatimukset tulee esittää rakennusvaipan ilmanpitävyydelle.

6.2.2 MSE-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin – Hot-box-mittaus

Hot-box-kammiossa tehdyillä mittauksilla selvitettiin ilmavirran, lämpötilatason, ilman sisäänvirtauskohdan ja elementin koon vaikutus lämmönläpäisykerrotimeen. Tarkasteltu elementti oli MSE-tyyppisen ikkunan lasitusta vastaava 3-lasinen kirkas, jossa ilma otettiin hot-boxin kylmän kammion puolelta uloimman ja keskimmäisen lasin väliseen tilaan ja johdettiin elementin yläreunaan, kahden sisemmän lasin (eristyslaselementti) yläpuolella olevan raon kautta lämpimän kammion puolelle. Mittauskammion periaate on esitetty kuvassa 9, elementti asennettuna kuvassa 14.

6.2.2.1 Ilmavirran vaikutus

Ilmavirran vaikutusta selvitettäessä tehtiin kalibrointimittaukset, tiiviin lasituksen tapauksen mittaukset sekä varsinaiset ilmavirtaustapausten tarkastelut vaiheittain seuraavasti:

Mittaus 1. Kalibrointilevy pielen kalibroimiseksi, ei ilmavirtaa

Ikkuna-aukkoon asennettiin tunnettu kalibrointilevy, jonka U-arvo on 1,1 W/m²K.

Mittaus 2. Eristyslasi, ei ilmavirtaa

Ikkuna-aukkoon asennettiin eristyslaselementti, jossa on kaksi 3 mm:n lasia ja 12 mm:n välilista. Elementti oli ilmatäytteinen.

Mittaus 3. MSE lasirakenne, ei ilmavirtaa

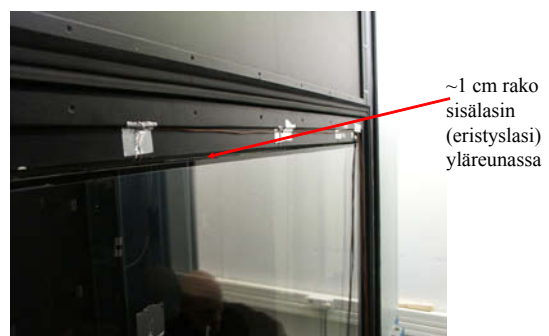
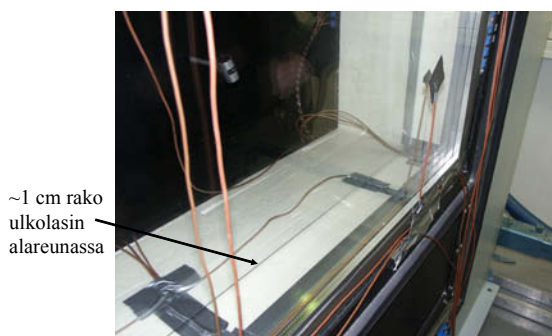
Ikkuna-aukkoon asennettiin MSE-tyyppisen ikkunan lasirakenne, ulkolasi 3 mm, ulkolasin ja eristyslaselementin välinen etäisyys 100 mm ja sisimpänä eristyslaselementti, jossa on kaksi 3 mm:n lasia ja 12 mm:n välilista. Elementti oli ilmatäytteinen.

Mittaus 4. MSE-lasirakenne, ilmavirta, uloin lasi alhaalta avoin, eristyslasi ylhäältä auki

Ikkuna-aukkoon asennettiin MSE-tyyppisen ikkunan lasirakenne, ulkolasi 3 mm, ulkolasin ja eristyslaselementin välinen etäisyys 100 mm ja sisimpänä eristyslaselementti, jossa on kaksi 3 mm:n lasia ja 12 mm:n välilista. Elementti oli ilmatäytteinen. Tuloilma otettiin hot-boxin kylmän kammion puolelta uloimman ja keskimmäisen lasin väliseen

tilaan alhaalta (~1 cm:n rako) ja johdettiin elementin yläreunaan, kahden sisemmän lasin (eristyslaselementti) yläpuolella olevan raon (~1 cm:n rako) kautta lämpimän kammion puolelle. Mittaukset tehtiin eri ilmavirroilla.

Kuvassa 14 on esitetty mittaustapauksen 4 koekappale.



Kuva 14. Tuloilmaikkuna hot-box-laitteen asennuseinässä.

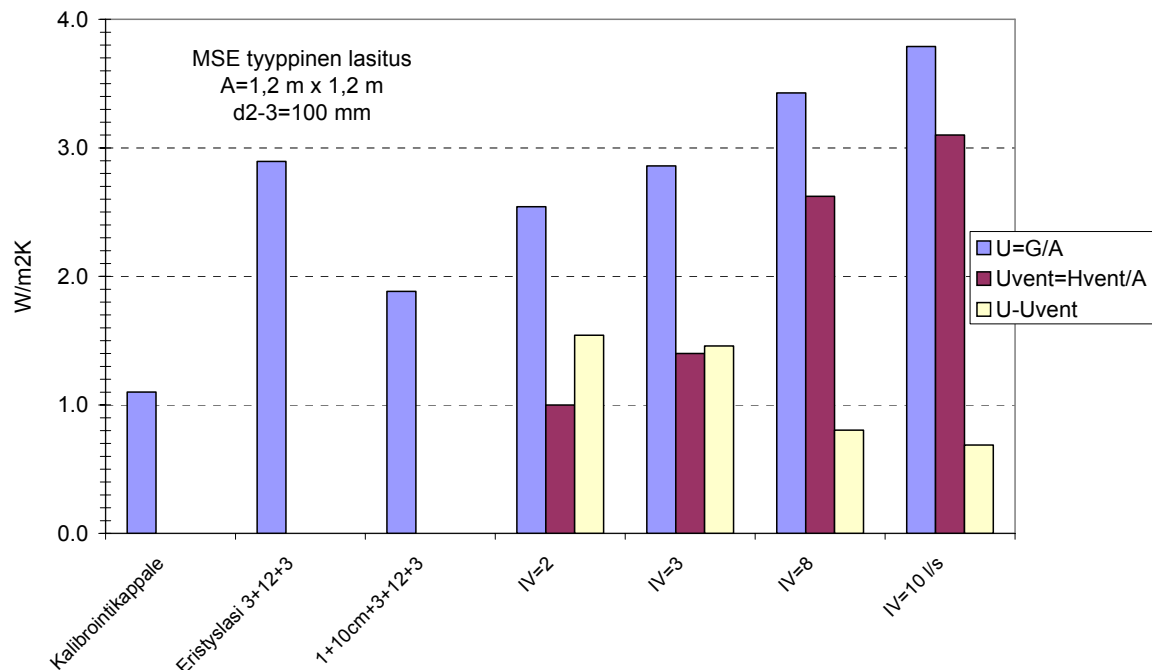
Tulokset

Kuvassa 15 on esitetty mitattujen tapausten U-arvo, U_v -arvo ja näiden välinen erotus. Kalibrointikappaleen U-arvo tunnetaan ($1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Kaksilasisen eristyslaselementin U-arvoksi saadaan $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja MSE-tyyppisen tiiviin lasituksen U-arvoksi $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ilmavirran kasvattaminen suurentaa ikkunan sisäpinnasta ulospäin lähtevää lämpöhäviötä, jota kuvaa U-arvo. Samalla ilmavirran mukaan siirtyvä osuus kasvaa ja tätä osuutta kuvaa U_v -arvo. Tehollista lämmönläpäisyä sisältä ulos kuvaava osuus, tehollinen lämmönläpäisykerroin $U-U_v$ pienenee.

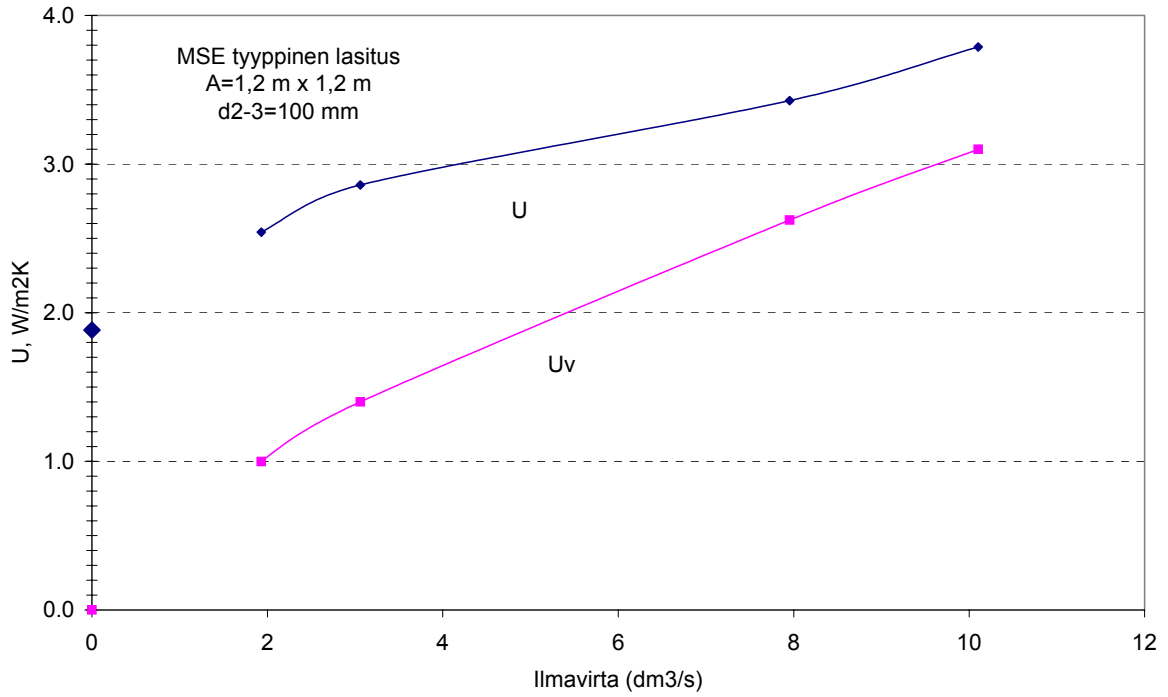
Kuvassa 16 on esitetty mittaustapauksen 4 (MSE-tyyppinen tuloilmaikkuna) U- ja U_v -arvot ilmavirran funktiona. Kuvasta nähdään, että lämpöhäviö sisemmän lasin kautta kasvaa voimakkaasti ilmavirran kasvaessa. Arvojen $U-U_v$ erotus pienenee ilmavirran kasvaessa (Kuva 17). Ilmavirran ollessa yli $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U-U_v$ laskee alle $1 \text{ W/m}^2\text{K}$:n.

Ilmavirran lämpenemissuhde (Kuva 18) laskee ilmavirran kasvaessa. Ilmavirralla $4 \text{ dm}^3/\text{s}$ lämpenemissuhde on noin 50 % ja ilmavirralla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ noin 43 %.

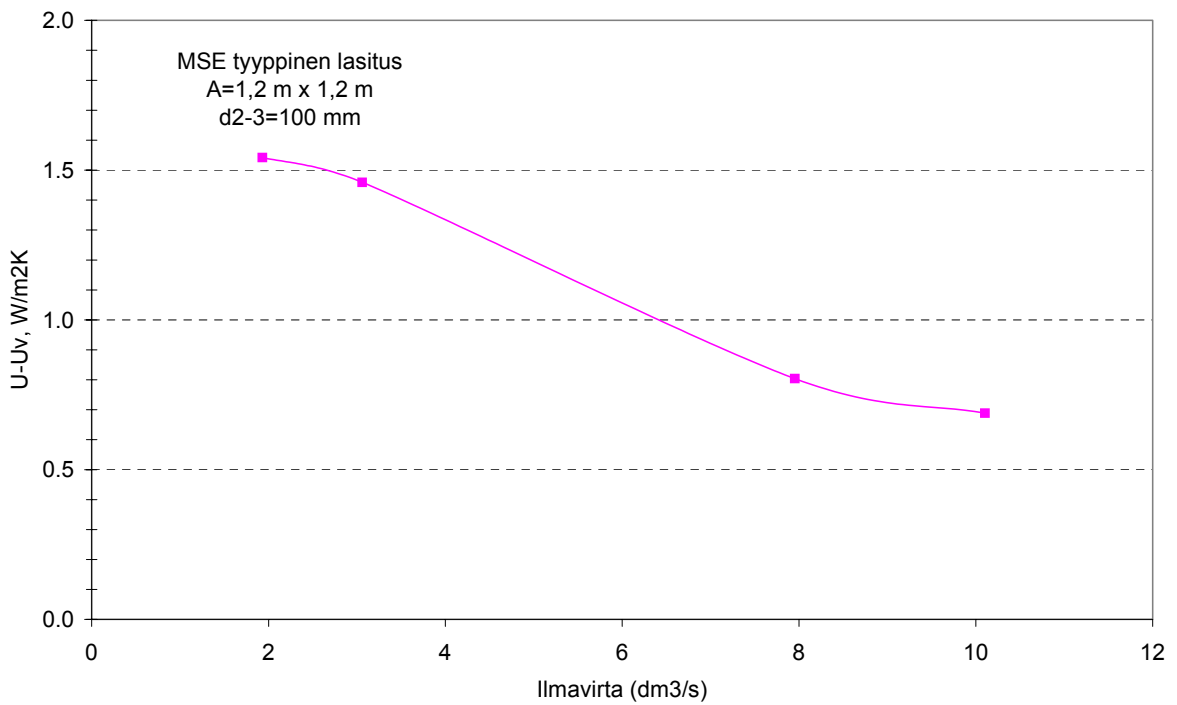
Edellä esitetyistä tuloksista voidaan päätellä, että luvussa 5.1 esitetyt laskelmat poikkeavat paljon mittaustuloksista. Syitä onkin arvioitu ko. luvussa.



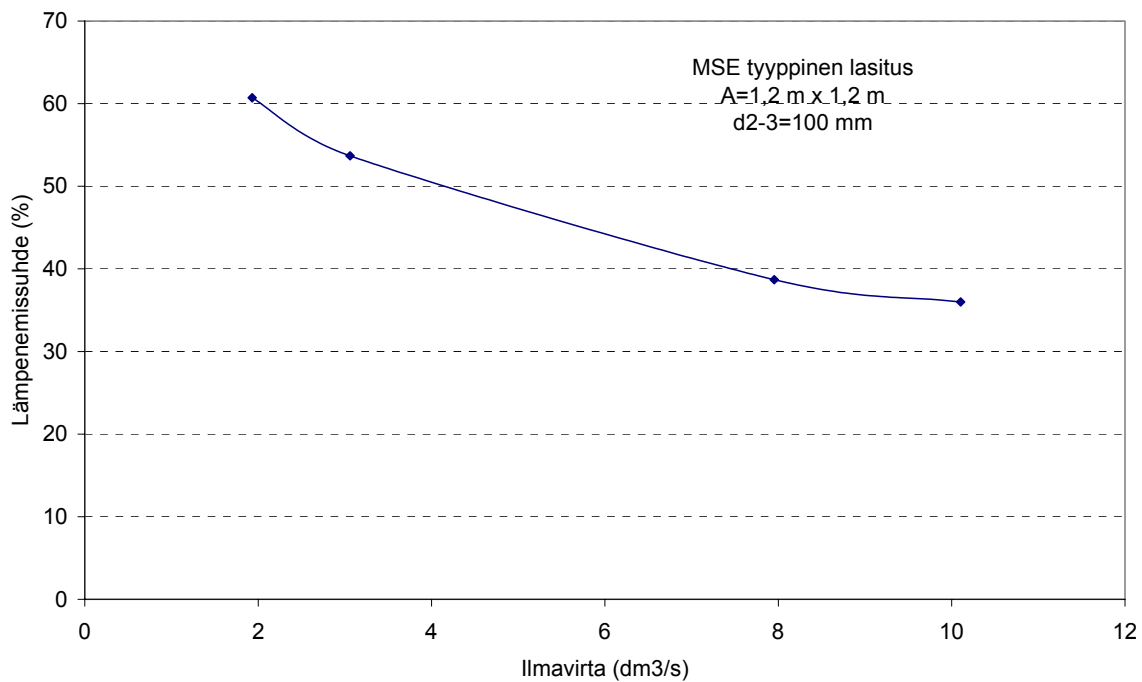
Kuva 15. Kalibrointikappaleen, eristyslaselementin ja MSE-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin tiiviinä ja eri ilmavirroilla mitattuna.



Kuva 16. MSE-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin eri ilmavirroilla mitattuna.



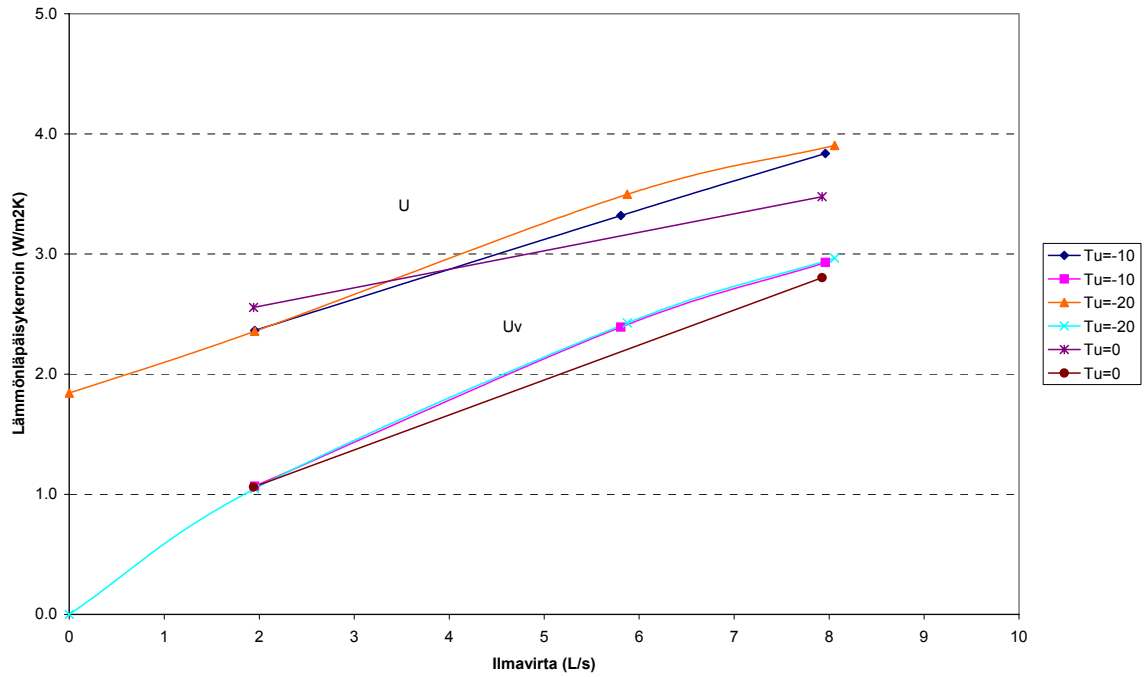
Kuva 17. MSE-tyyppisen lasituksen ”tehollinen” lämmönläpäisykerroin $U-U_v$ eri ilmavirroilla mitattuna.



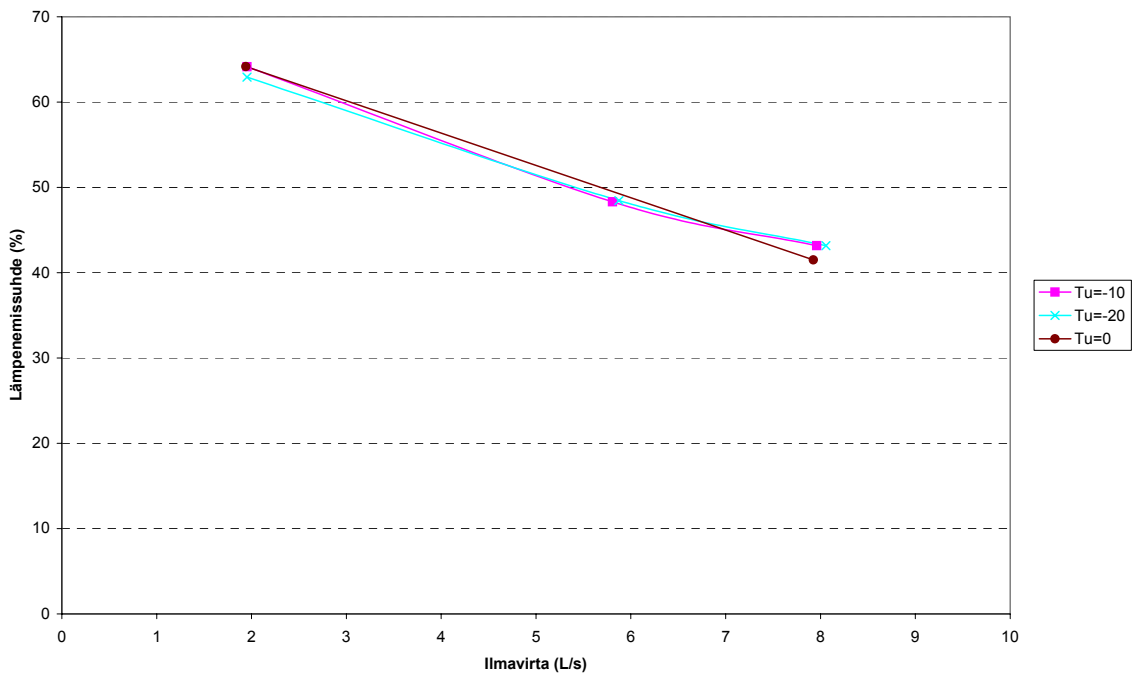
Kuva 18. Ilmavirran lämpenemissuhde MSE-tyyppisen lasituksen tapauksessa eri ilmavirroilla mitattuna.

6.2.2.2 Lämpötilatason vaikutus

Lämpötilatason vaikutus tuloilmaikkunan lasituksen lämmönläpäisyyteen ja tuloilman lämpenemissuhteeseen selvitettiin toistamalla luvun 6.2.2.1 mittaukset kolmella eri ulkolämpötilalla: 0 °C, -10 °C ja -20 °C. Kuvista 19 ja 20 huomataan, että ulkolämpötila ei vaikuta merkittävästi mittaustuloksiin.



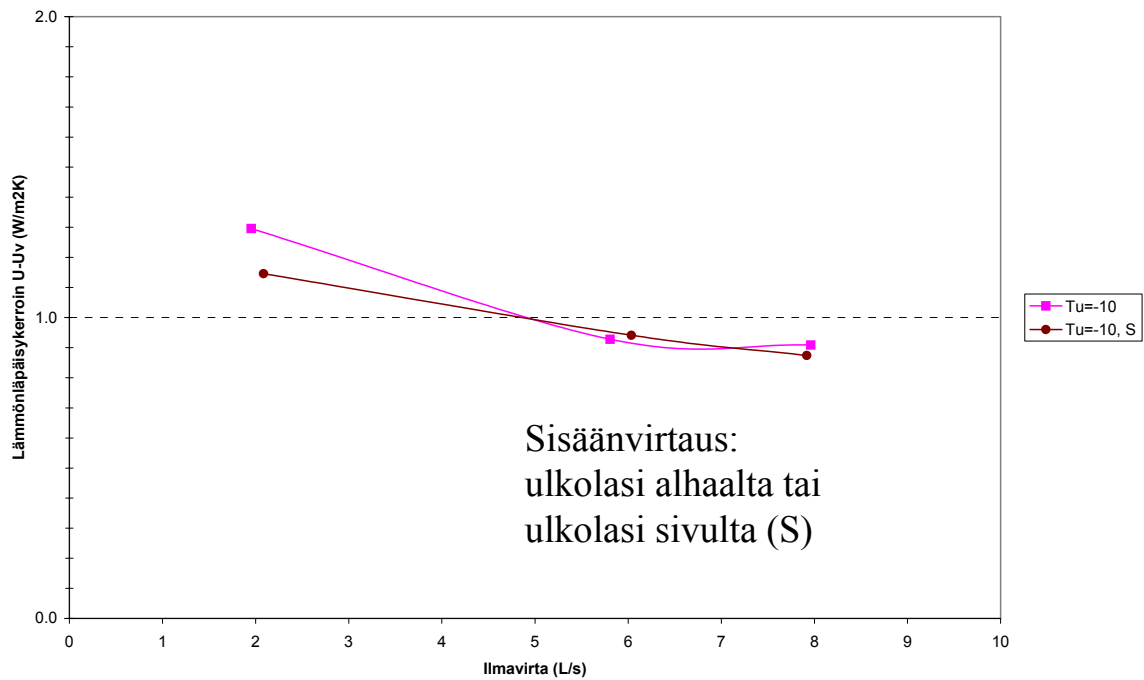
Kuva 19. Ulkolämpötilan vaikutus lämmönläpäisykertoimeen.



Kuva 20. Ulkolämpötilan vaikutus lämpenemissuhteeseen.

6.2.2.3 Ilman sisäänvirtauskohdan vaikutus

Ilman sisäänvirtauskohdan vaikutusta selvitetiin tekemällä mittaukset, joissa sisäänvirtaus elementtiin tapahtui uloimman lasin alareunan alapuolelta tai ulkolasin oikean reunan puolelta, lasin sivusta. Kuvassa 21 on esitetty tehollinen lämmönläpäisykerroin $U-U_v$ ilmavirran funktiona molemmilla edellä kuvatuilla vaihtoehdoilla. Kuvasta huomataan, että tapaukset eivät eronneet merkittävästi toisistaan.



Kuva 21. Ilman sisäänvirtauskohdan vaikutus lämmönläpäisykerroimeen.

6.2.2.4 Ikkunan koon vaikutus

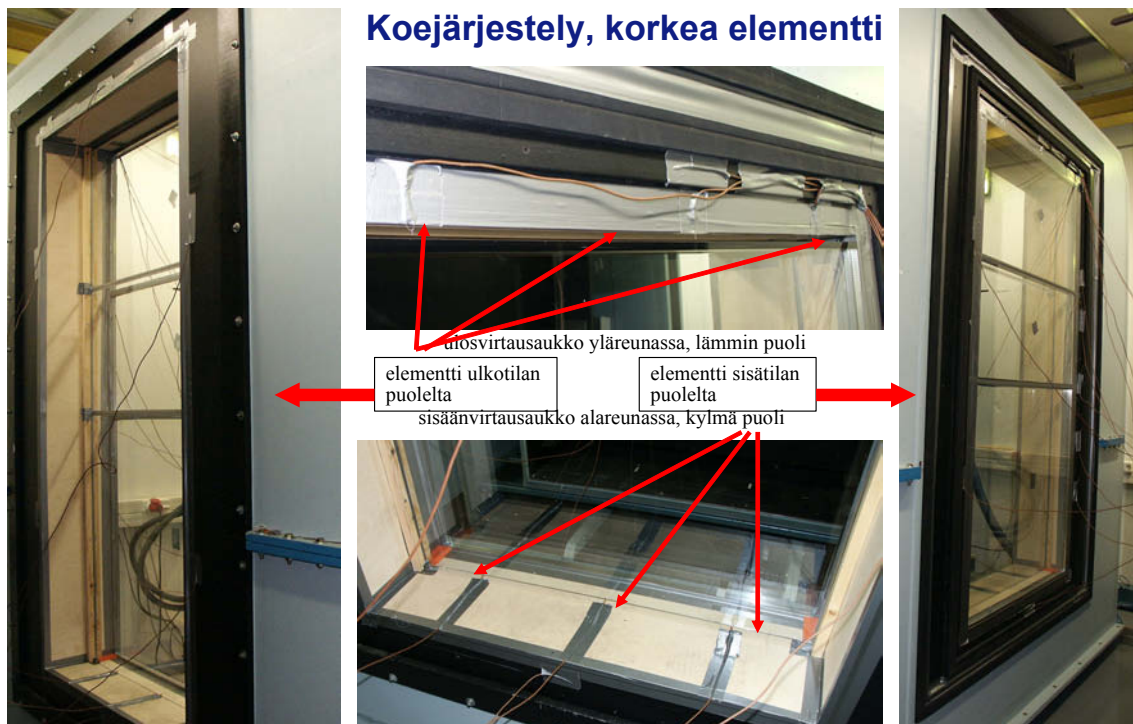
Tuloilmaikkunan koon vaikutusta lämmönläpäisykerroimeen ja lämpenemissuhteeseen selvitetiin hot-box-kokeilla neljällä eri elementtikoolla. Lasitus oli MSE-tyyppinen lasitus: 3(4) mm + 100 mm + (3+12+3 eristyslasi)

Koot olivat:

1. 1,2 m x 1,2 m ns. ikkuna-aukko, mitattu eri ilmavirroilla ja lämpötilatasoilla aikaisemmin
2. 1,0 m x 2,1 m
3. 1,0 m x 1,5 m ja
4. 1,0 m x 1,0 m.

Elementtikoot 2–4 mitattiin mittauskammion ns. oviaukossa. Muualla aukossa on tunnettu eriste. Mittaukset aloitettiin tunnetun eristeen mittauksella, jolla tehtiin kammion asennusseinän pielen kalibrointi.

Mittaukset tapauksille 2–4 tehtiin ilmavirroilla 2, 6 ja 8 dm³/s sekä tiiviinä, ilman ilma-virtaa. Ilmavirtaustapauksissa uloin lasi oli alareunasta auki (h = 5–10 mm) ja sisin eristyslasi lasi ylhäältä auki (h = 5–10 mm). Kuvassa 22 on esitetty koejärjestely korkealle elementille ja kuvassa 23 tuloilma-aukot ja lasin korkeudet eri mittaustapauksissa.



Kuva 22. Koejärjestely korkealle elementille.

Eri elementtikoot

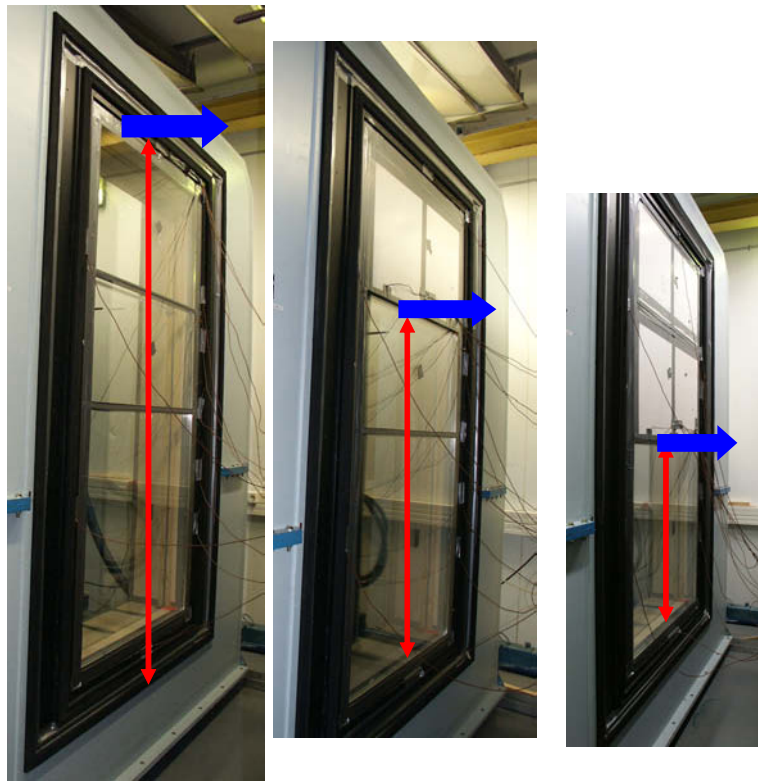
- 2,1 m²
- 1,5 m²
- 1 m²



tuloilma-aukko



lasin
korkeus

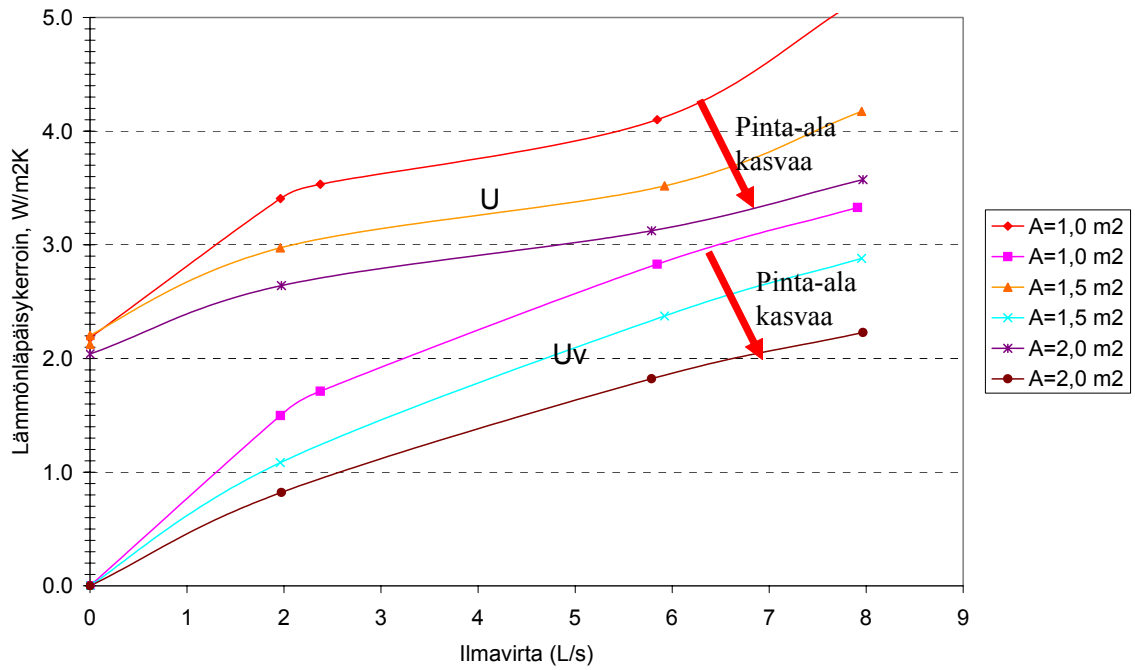


Kuva 23. Koejärjestely erikokoisille elementeille.

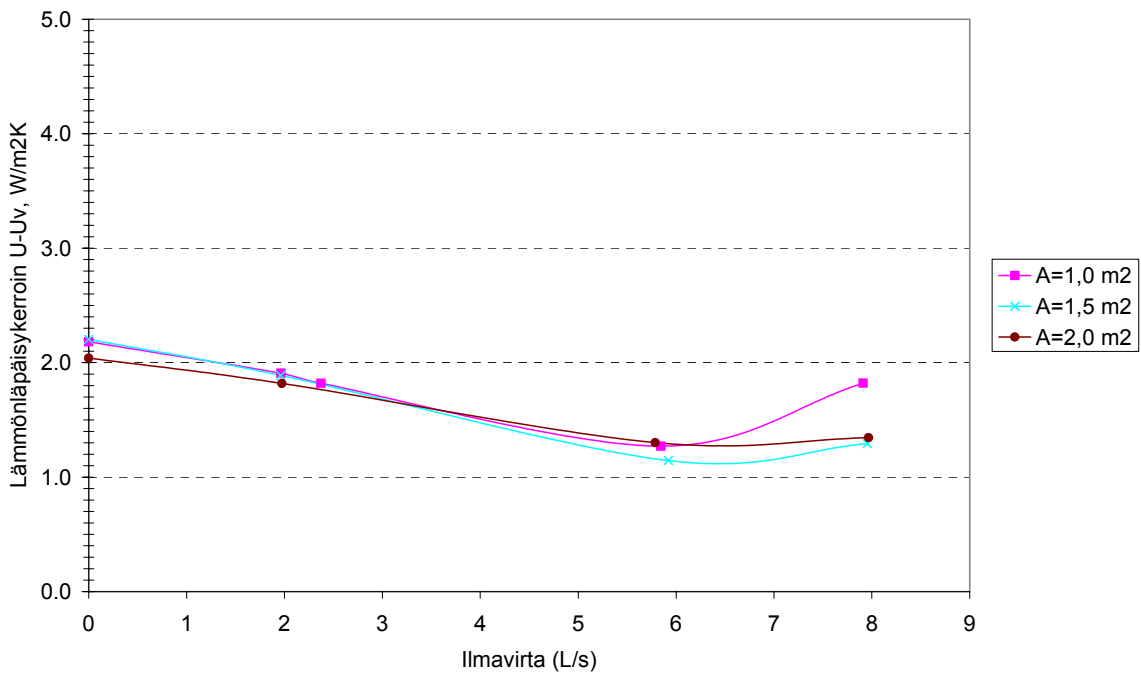
Kuvassa 24 on esitetty lämmönläpäisykertoimet U ja U_v ilmavirran funktiona eri elementtikoon tapauksissa. Kuvasta huomataan, että elementin koon kasvattaminen pienentää U - ja U_v -arvoja. Näiden välinen ero pysyy kuitenkin lähes samana (Kuva 25). Ilmavirran kasvaessa tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$ pienenee. Mittausmenetelmästä johtuen käyrä lähtee kuitenkin nousuun yli 6 dm³/s:n ilmavirralla. Tämä on mittausmenetelmästä johtuva piirre. Kun ilmavirta kasvaa, tarvittava lämmitysteho kasvaa. Tehon mittaustarkkuus sekä mittauskammion ilman sekoittuminen huononevat ilmavirran kasvaessa. Tämä piirre korostuu erityisesti korkean ja kapean mittauskammion tapauksessa (kokotarkastelut $A = 1,0, 1,5$ ja $2,0$ m²).

Lämpenemissuhde kasvaa elementin korkeuden kasvaessa (Kuva 26).

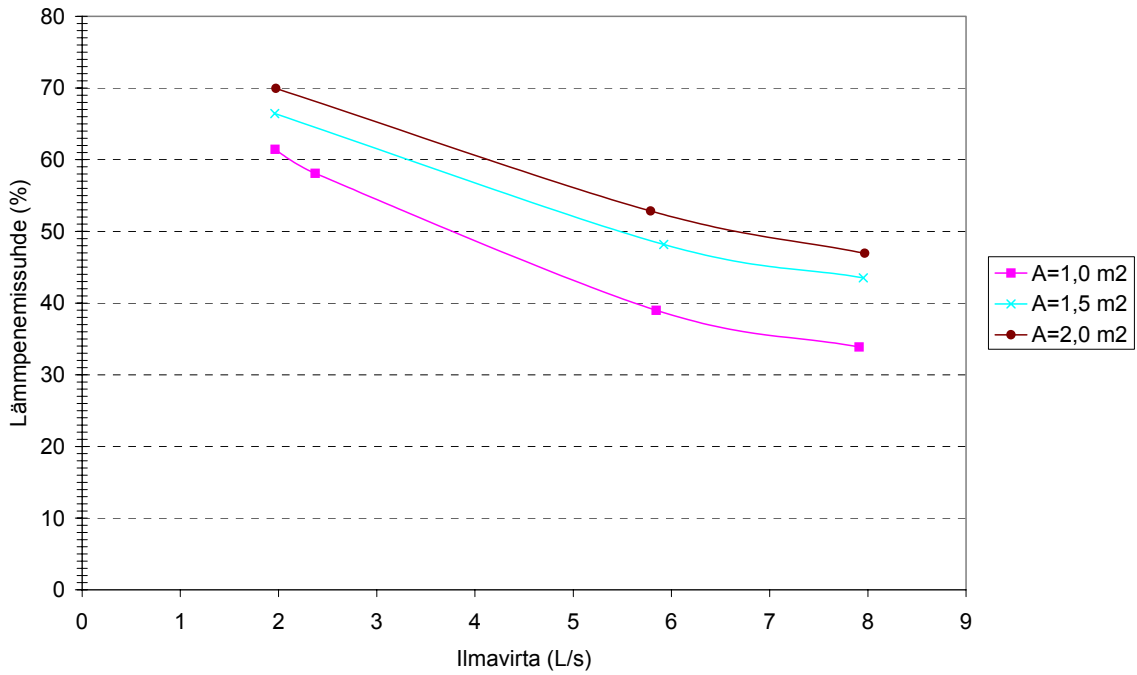
Kuvissa 27, 28 ja 29 on esitetty vastaavat käyrät tulostettuna siten, että x-akselilla on ilmavirta lasin pinta-alaa kohti. Mitatut pisteet on sovitettu logaritmiselle käyrälle.



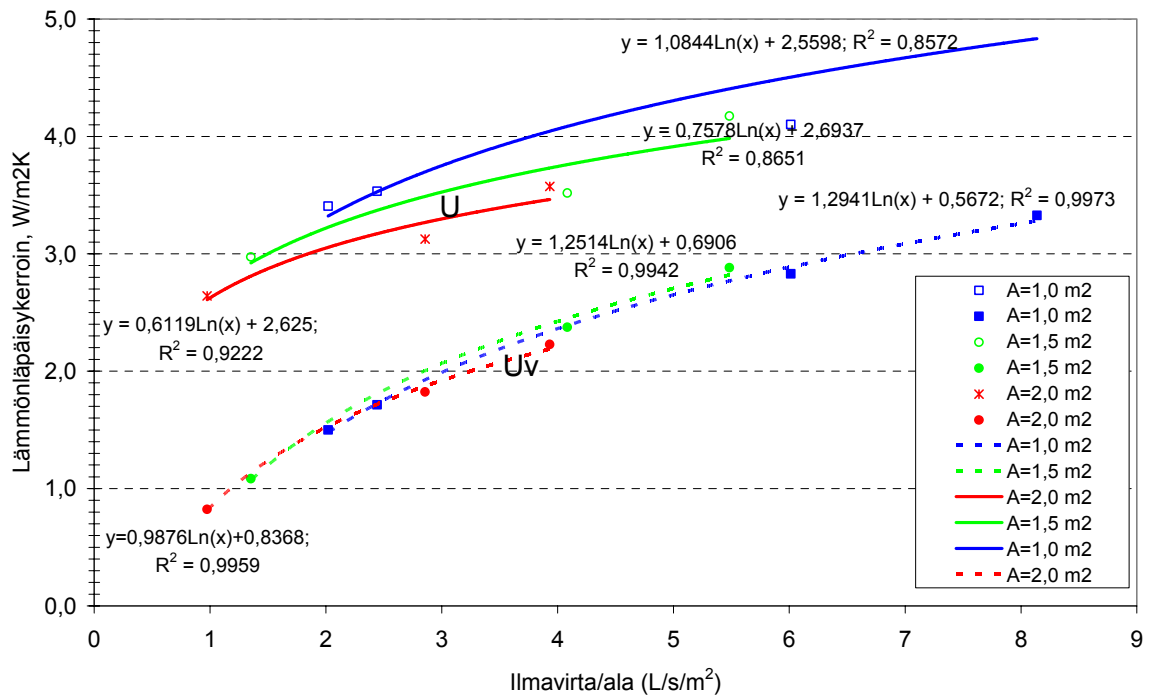
Kuva 24. Elementin koon vaikutus lämmönläpäisykertoimeen.



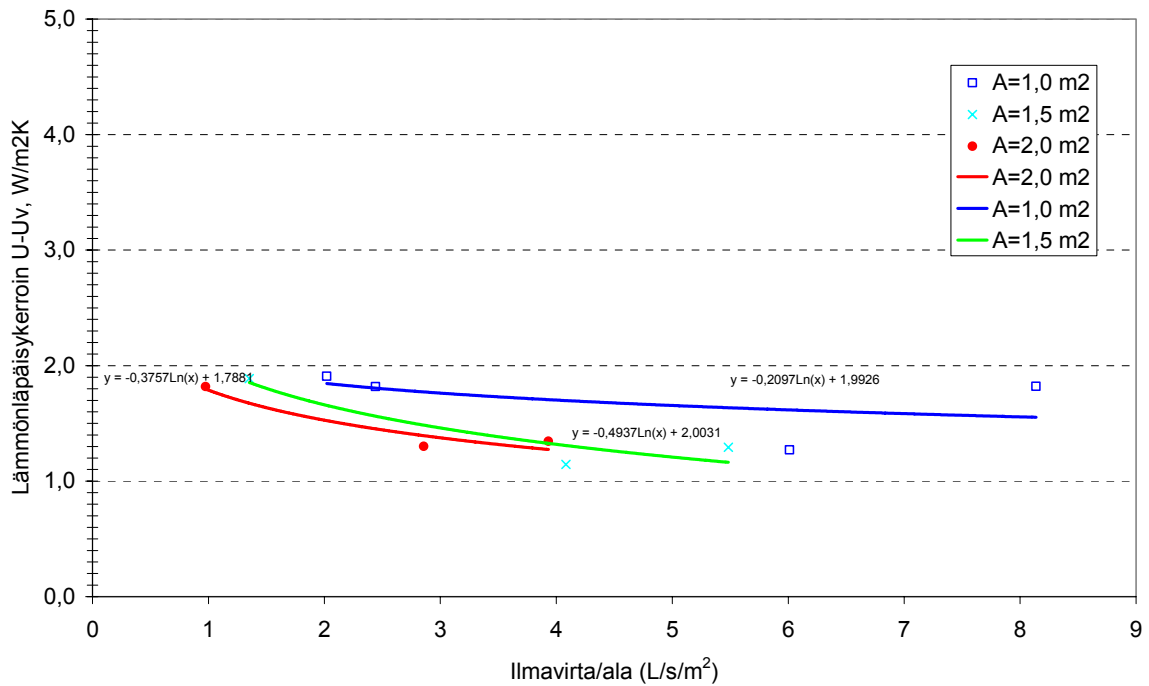
Kuva 25. Elementin koon vaikutus ”teholliseen” lämmönläpäisykertoimeen.



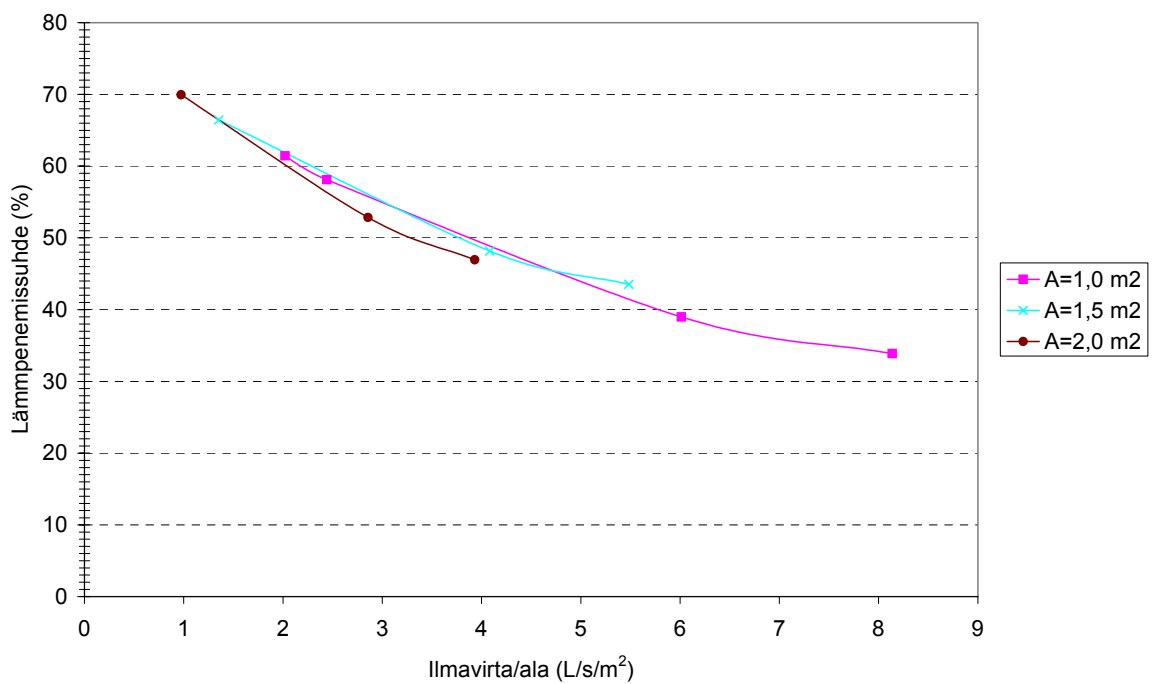
Kuva 26. Elementin koon vaikutus ilmavirran lämpenemissuhteeseen.



Kuva 27. Elementin koon vaikutus lämmönläpäisykerroimeen. X-akselilla on ilmavirta pinta-alayksikköä kohti.



Kuva 28. Elementin koon vaikutus teholliseen lämmönläpäisykerroimeen. X-akselilla on ilmavirta pinta-alayksikköä kohti.



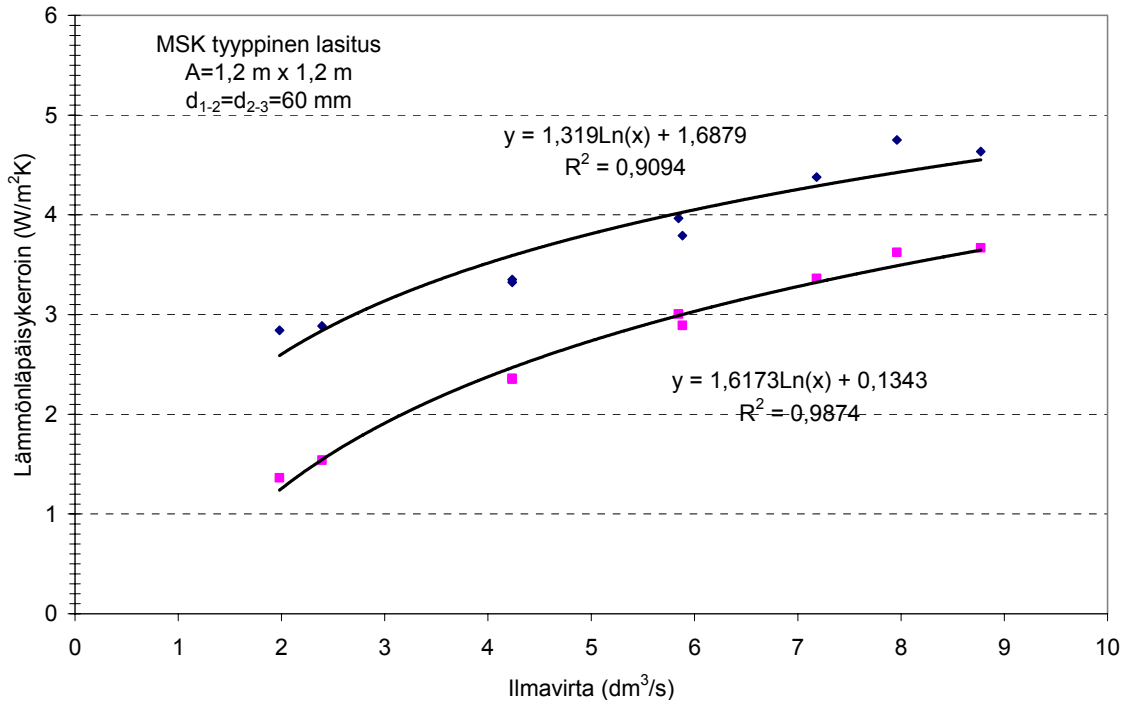
Kuva 29. Elementin koon vaikutus ilmavirran lämpenemissuhteeseen. X-akselilla on ilmavirta pinta-alayksikköä kohti.

6.2.3 MSK-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin – Hot-box-mittaus

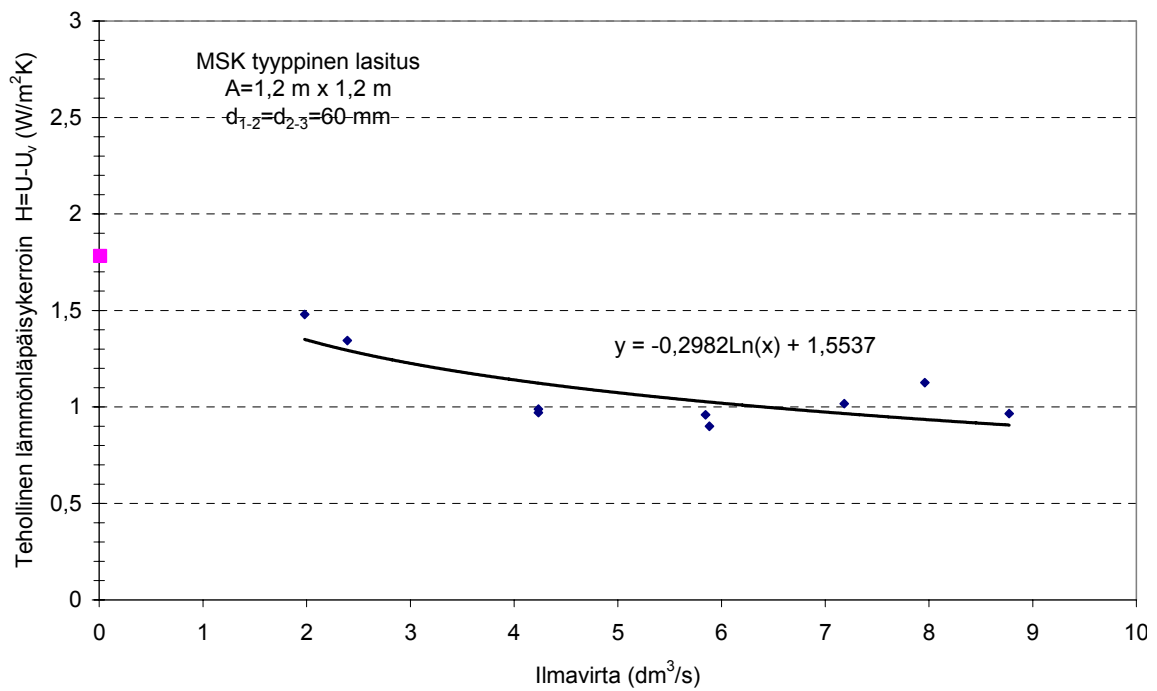
Hot-box-kammiossa tehdyillä mittauksilla selvitettiin ilmavirran vaikutus lämmönläpäisykertoimeen. Tarkasteltu elementti oli MSK-tyyppisen ikkunan lasitusta vastaava 3-lasinen kirkas (kolme 3 mm:n kirkasta lasia, lasien välinen etäisyys 60 mm), jossa ilma otettiin hot-boxin kylmän kammion puolelta uloimman ja keskimmäisen lasin väliseen tilaan ja johdettiin elementin alareunaan, edelleen keskilasin ja sisimmän lasin väliseen tilaan ja sieltä sisimmän lasin yläreunan yläpuolella olevan raon kautta lämpimän kammion puolelle. Tapaus mitattiin ensin ilman ilmavirtaa tiiviinä, minkä jälkeen ilmavirtausaukot avattiin ja mittaukset tehtiin ilmavirroilla 2–9 dm³/s. Kuvassa 30 on esitetty mittauksista analysoidut lämmönläpäisykerroimet ilmavirran funktiona. Kuvassa 31 on esitetty tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$, joka on kuvassa 30 esitettyjen käyrien erotus. Kuvasta huomataan, että tehollinen lämmönläpäisykerroin nousee hieman, kun ilmavirta kasvaa yli 6 dm³/s:n. Tämä on mittausmenetelmästä johtuva piirre. Kun ilmavirta kasvaa, tarvittava lämmitysteho kasvaa. Tehon ja lämpötilojen mittaustarkkuus sekä mittauskammion ilman sekoittuminen huononevat ilmavirran kasvaessa. Kuvassa 32 on esitetty tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$, kun ilmavirta on alle 6 dm³/s. Kuvassa on esitetty logaritminen sovite, joka on realistisempi käytettäväksi ilmavirta-alueella 2–6 dm³/s, kuin aikaisempi, kuvassa 31 esitetty sovite.

Mittaustuloksista huomataan, että kolmilasisen MSK-tyyppisen lasituksen tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$ saavuttaa arvon alle 1 W/m²K ilmavirralla 4,3 dm³/s.

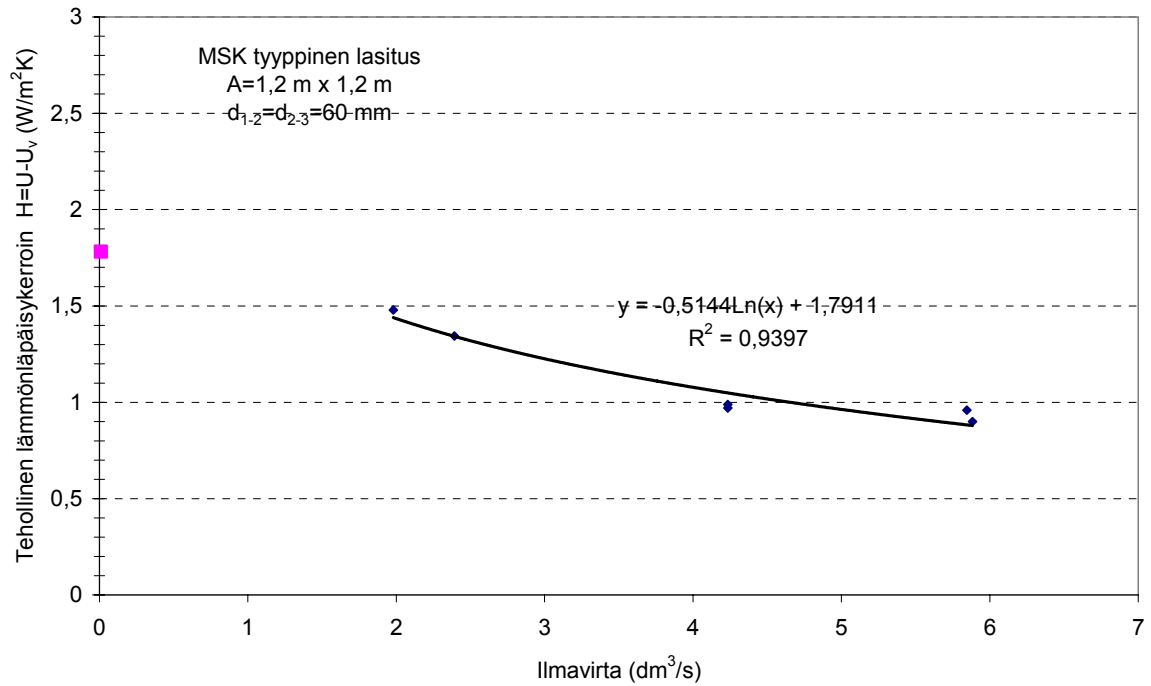
Kuvassa 33 on esitetty ilman lämpeneminen MSK-tyyppisessä rakenteessa. Ilmavirralla 6 dm³/s ilman lämpötilan nousu on noin 60 % sisä- ja ulkoilman lämpötilojen erosta.



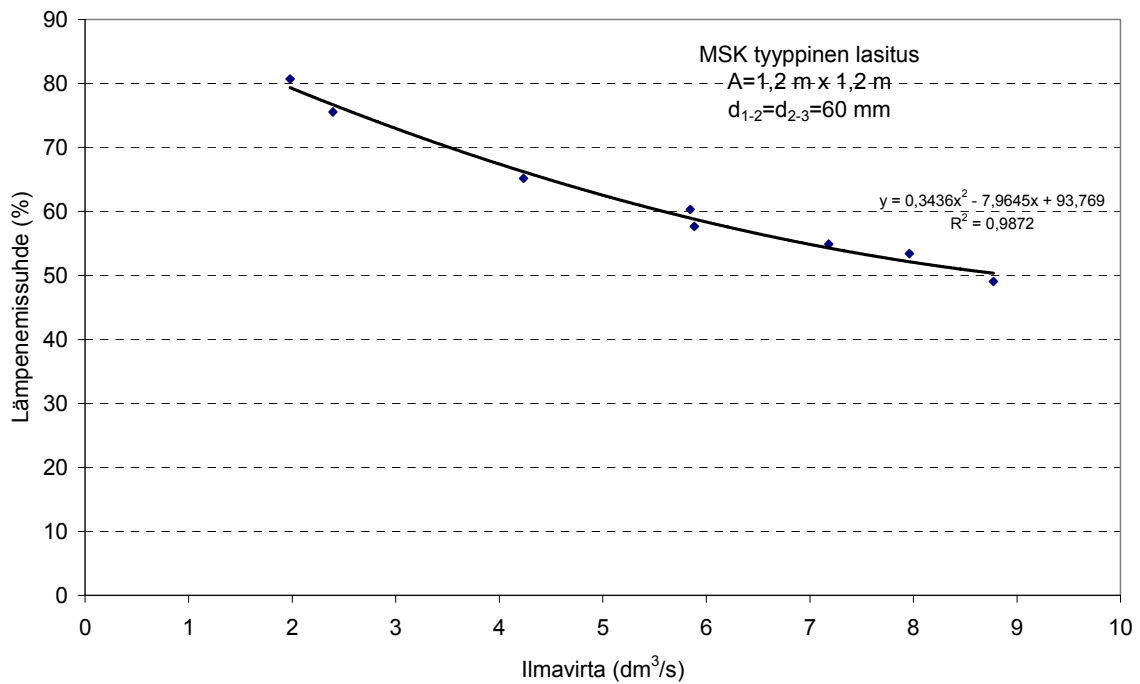
Kuva 30. MSK-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin eri ilmavirroilla.



Kuva 31. MSK-tyyppisen lasituksen tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$ ilmavirran funktiona.



Kuva 32. MSK-tyyppisen lasituksen tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$ ilmavirran funktiona, kun ilmavirta on alle $6 \text{ dm}^3/\text{s}$.



Kuva 33. Ilman lämpenemissuhde MSK-tyyppisessä rakenteessa. Ilma kiertää kahden lasivälin kautta.

6.2.4 MSE-tyyppisen lasituksen lämmönläpäisykerroin PASLINK-mittauksessa

Yritysten toimittamien ikkunoiden lämmönläpäisykerroimet mitattiin PASLINK-ulkoilmatestauskammiossa. Ikkunat olivat kokoa 1,23 m x 1,48 m, mikä on joidenkin eurooppalaisten ikkunastandardien suosittama koko. Lämmönläpäisykerroimet ja lämpenemissuhteet määritettiin ilmavirroilla 4–8 dm³/s. Eri ikkunoiden tapauksissa kyseiset ilmavirrat johtivat hyvin erilaisiin paine-eroihin mittauskammion ja ulkoilman välillä. Tyypillisesti alipaine mittauskammiossa oli 10–30 Pa.

Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto tuloksista. Tuloksista huomataan, että ikkunat ovat tuotteina hyvin erilaisia eikä tuloksia voida helposti yleistää. Tuloilmaikkunan virtausreitit ja virtausnopeuksien suunnittelulla voidaan vaikuttaa energiatekniseen toimivuuteen. Mitä paremmin puitteiden välitilassa saadaan lämpöä siirtymään ilmavirtaan, sitä suuremmaksi lämpöhäviö sisältä ulos kasvaa. Kirkkaan sisemmän lasin korvaaminen selektiivilasilla parantaa tuloilmaikkunan tehollista lämmönläpäisykerrointa $U-U_v$. Tuloilma lämpenee selektiivieristyslasin tapauksessa vähemmän kuin kirkkaan eristyslasin tapauksessa.

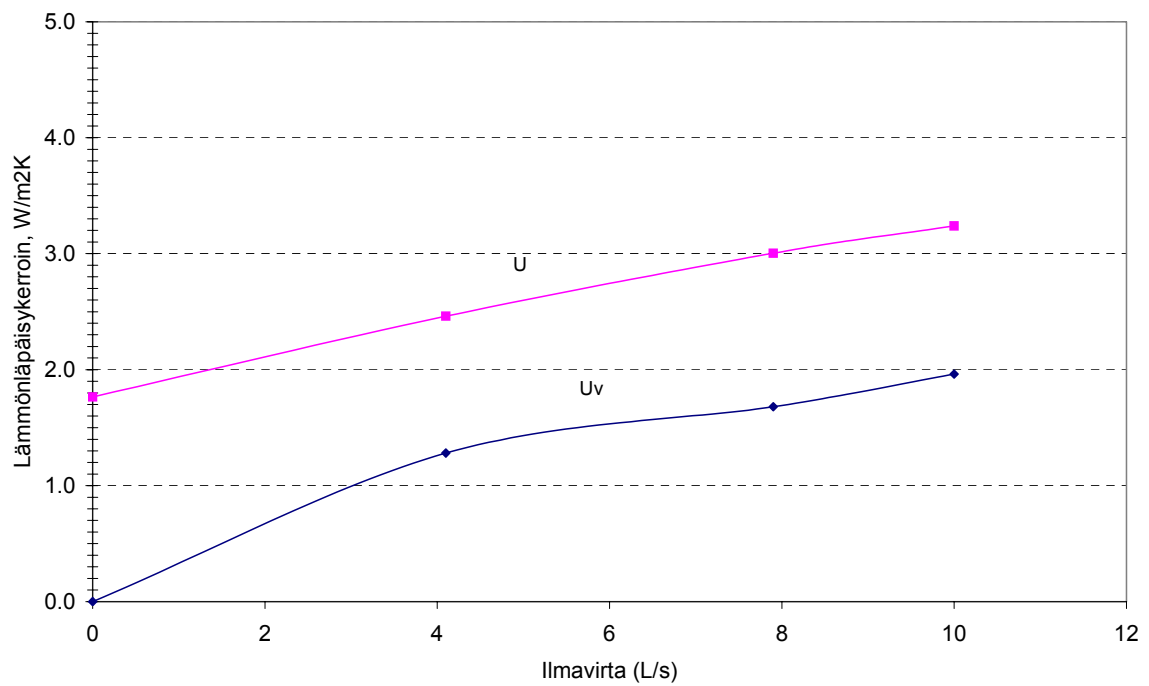
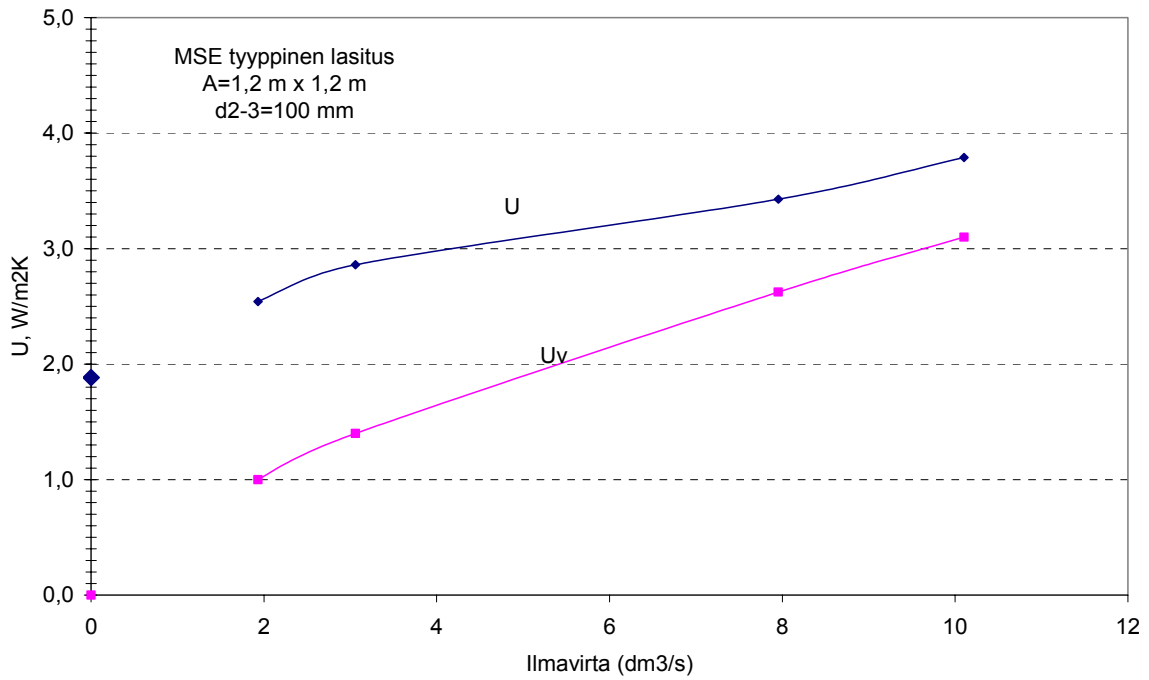
Taulukko 2. Tutkittujen tuloilmaikkunoiden lämmönläpäisykerroin (U - ja U_v -arvot), aurinkoenergian läpäisykerroin (g -arvo) sekä lämpenemissuhde (eff) eri ilmavirroilla (qv). Tulokset eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia, koska tulosten korjausta eri mittausolosuhteisiin ei ole tehty.

Case	U W/m ² K	g (-)	U _v W/m ² K	g _v (-)	U-U _v W/m ² K	eff %	qv dm ³ /s
Domus/Tiivi/Muoviitala, selektiivi	1.98	0.32	1.16	0.04	0.82	41.9	4.17
Domus/Tiivi/Muoviitala, selektiivi	1.83	0.32	1.11	0.05	0.72	40.3	4.17
Domus/Tiivi/Muoviitala, selektiivi	1.98	0.32	1.13	0.04	0.86	39.8	4.26
Domus/Tiivi/Muoviitala, kirkas Mfilt	2.42	0.22	1.70	0.06	0.72	34.4	7.47
Domus/Tiivi/Muoviitala, kirkas Mfilt	2.46	0.30	1.20	0.03	1.26	44.4	4.06
Domus/Tiivi/Muoviitala, kirkas Mfilt	2.99	0.40	1.45	0.04	1.54	40.2	5.44
Domus/Tiivi/Muoviitala, kirkas Mfilt	2.55	0.33	1.49	0.04	1.06	41.2	5.44
Fenstra/Dir-Air, selektiivi	1.63	0.29	0.92	0.03	0.70	26.5	5.27
Fenstra/Dir-Air, selektiivi	1.76	0.30	0.93	0.03	0.84	26.5	5.27
Fenstra/Dir-Air, selektiivi	1.60	0.29	1.00	0.03	0.60	24.0	6.28
Fenstra/Dir-Air, kirkas	2.63	0.33	0.99	0.02	1.64	32.7	4.57
Fenstra/Dir-Air, kirkas	2.55	0.33	1.28	0.02	1.27	30.6	6.3
Alumglas, 1+1+1	3.51	0.43	2.14	0.08	1.37	43.5	7.41
Alumglas, 1+1+1	3.73	0.39	2.03	0.08	1.70	40.7	7.51
Alumglas, 1+1+1	2.46	0.35	1.57	0.05	0.88	47.7	4.98

6.2.5 Hot-box- ja PASLINK-menetelmien U-arvon vertailu

Hot-box-mittauksen ja PASLINK-ulkoilmamittauksen tuloksia verrattiin mittaamalla molemmilla menetelmillä MSE-tyyppinen lasitus ilman karmirakennetta. Hot-box-mittauksessa ikkunakoko oli 1,2 m x 1,2 m ja PASLINK-mittauksessa 1,23 m x 1,48 m, joten tapaukset eivät olleet täysin samanlaisia.

Kuvissa (Kuva 34 ylä- ja alakuva) on esitetty lämmönläpäisykertoimet eri menetelmillä mitattuna. Menetelmät antavat samantyyppiset käyrät. Molemmissa menetelmissä tulosten epävarmuus kasvaa ilmavirran kasvaessa, ja suositeltava mittausalue onkin ilmavirta alle 6 dm³/s.

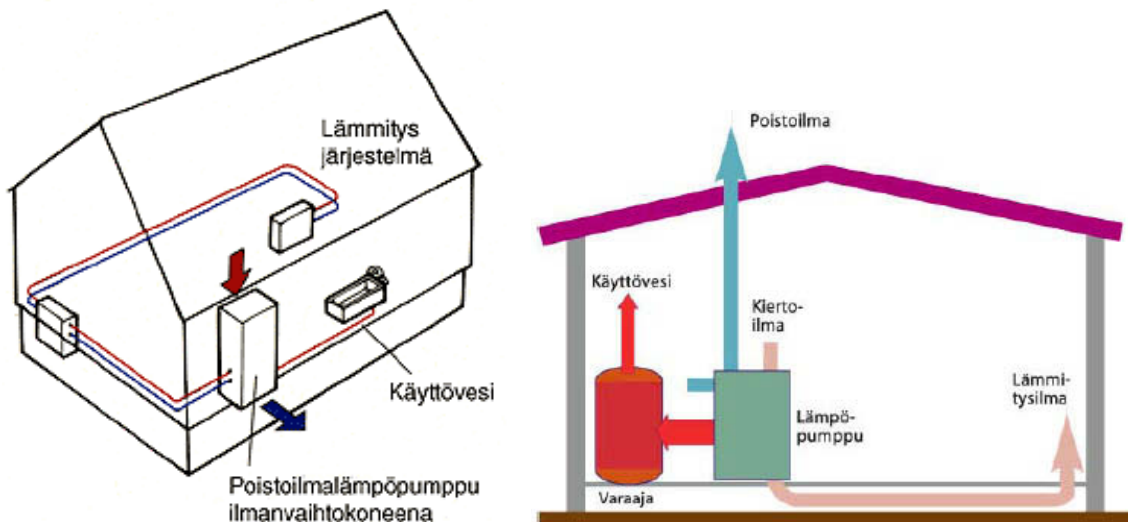


Kuva 34. Lämmönläpäisykertoimet eri menetelmillä mitattuna. Alakuvassa PASLINK-mittauksen tulos, yläkuvassa hot-box-mittauksen tulos.

7. Tuloilmaikkuna osana muuta energiajärjestelmää

Tuloilmaikkunaa käytetään yhdessä koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän kanssa. Koneellisesti poistettavan ilman tilalle virtaa tuloilmaikkunoiden kautta tuloilmaa. Huoneessa tarvitaan lämmitysjärjestelmä, jolla kompensoidaan rakenteiden lämpöhäviöt ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt. Lämmitysjärjestelmänä on tavallisesti vesikiertoinen patteri, suoran sähkölämmityksen patteri, lattialämmitys tai kattolämmitys. Tuloilmaikkunan ja koneellisen poiston järjestelmässä ei voida samalla tavalla siirtää lämpötehoa poistoilmasta tuloilmaan kuin koneellisen tulo-poiston järjestelmässä. Toisaalta ikkunan lämpöhäviöstä saadaan osa talteen tuloilmaan, ja auringonsäteily lämmittää tuloilmaa osan vuodesta. Tuloilmaikkunan kanssa voidaan lämmöntalteenotossa käyttää poistoilmalämpöpumppua

Poistoilmalämpöpumppu on rakennuksen lämpöpumppu/ilmastointikone/lämminvesivaraaja, jossa lämmön keruu tapahtuu höyrystin- tai liuospatterin avulla rakennuksen jäteilmasta, ja lämpö luovutetaan lauhdutinpatterin avulla valmistajien erilaisista tyypeistä riippuen rakennuksen käyttöveden lämmittämiseen varajaan, lämmitysverkoston veteen ja joissain tapauksissa myös tuloilmaan / 30 /, Poistoilmalämpöpumpun periaate on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Poistoilmalämpöpumpun periaate / 30 /. Lämpö luovutetaan lauhdutinpatterin avulla rakennuksen käyttöveden lämmittämiseen käyttövesivaraajaan, lämmitysverkoston veteen tai tuloilmaan.

8. Ohjeistus suunnitteluun ja rakennusvalvontaan

Tutkimuksessa on tehty ehdotus, kuinka tuloilmaikkunaa käsitellään lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittamisessa ja niihin liittyvissä tasauslaskelmissa. Vaihtoehtoisina tapoina ovat yksinkertainen menetelmä, jossa ilman lämpenemisvaikutusta tuloilmaikkunassa ei huomioida, ja tarkempi menetelmä, jossa energiatarkastelussa huomioidaan lämpenemisvaikutus käyttäen laskentaan lämpöhäviökerrointa $H = U - U_v$. Ensimmäinen tapa antaa mahdollisuuden käyttää laskelmissa karkeamman tason tietoa. Jälkimmäinen tapa edellyttää tarkemman tiedon hankkimista tuotteesta. Se kuitenkin ottaa energiatekniset hyödyt huomioon laskelmissa.

Ohjeistus on esitetty liitteessä B. Ohjeistus sisältää esimerkkilaskelmat asuinpuoleisen ja kerrostalon tapaukselle.

8.1 Yhteenveto ohjeistuksesta

Liitteen B ohjeistuksen käyttötapa suunnittelussa on seuraava:

- suunnittelija valitsee rakennuksen ikkunat ja koot (sekä muut rakenteet).
- rakenteiden lämmönläpäisykerroimet ja ilmavirrat valitaan tai suunnitellaan.
- tuloilmaikkunoiden tuoteominaisuudet selvitetään. Vaihtoehtoisina tapoina on käyttää:
 - tapaa 1, jolloin tuotteelle valitaan perusikkunan U-arvo (U-arvo mitattuna ilman ilmavirtausta rakenteen läpi) ja ilman lämpenemisvaikutusta tuloilmaikkunassa ei huomioida laskelmissa tai
 - tapaa 2, jolloin tuotteen tehollinen lämmönläpäisykerroin suunnitteluilmavirralla $H = U_{qv} - U_v$ selvitetään valmistajalta. Tämä on suositeltava tapa, koska tuloilmaikkunan energiatekniset hyödyt otetaan huomioon tässä käsittelytavassa.
- lasketaan ikkunoiden keskimääräinen lämmönläpäisykerroin painottaen rakennoskohtaisia lämmönläpäisykerroimia pinta-aloilla (liitteen B kaava 4).
- syötetään rakennuksen tiedot laskentapohjaan, joka laskee rakennuksen ominaislämpöhäviöt ja tarkastaa energiamääräysten mukaisuuden.
- mikäli määräystenmukaisuus ei toteudu, parannetaan rakenteiden ominaisuuksia ja uusitaan laskelma.
- tarkistetaan liitteessä B luvussa 5 esitetyt muut vaatimukset ja huomioon otettavat asiat.

8.2 Tuloilmaikkunoiden tuoteominaisuuksien selvittäminen

Liitteen B ohjeistuksen mukaiseen laskentaan tarvitaan tietoa valittavasta tuloilmaikkunasta. Valmistajalta tulee pyytää tiedot tuotteen toimivuusominaisuuksista. Energiämääräystenmukaisuuden mukaisuuden laskentaan tarvitaan tuloilmaikkunan lämmönläpäisykerroin U -arvo (tapa 1 ohjeistuksessa) tai tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U \cdot U_v$ suunnitteluilmavirralla määritettynä (tapa 2 ohjeistuksessa).

9. Tuotekehityksen tavoitearvot

Lämmöneristysmääräykset asettavat ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenotolle laskennallisen hyötysuhdevaatimuksen 30 % (perusratkaisun arvo; suunnitteluratkaisua verrataan perusratkaisuun). Mikäli lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde (prosentteina) kertaan 0,6 jää alle tason 30 %, alittava osuus on tasattava rakenteiden paremmalla U-arvolla. Vastaavasti jos hyötysuhde kertaan 0,6 ylittää 30 %:n tason, sitä voidaan hyödyntää tasauksessa. Esimerkkilaskelmat luvussa 8 osoittivat, että tuloilmaikkunoilla saavutettava lämpöhäviöiden tasausmahdollisuus on suhteellisen rajallinen, mikäli tuloilmaikkunan ominaisuuksilla on kompensoitava puuttuva lämmöntalteenottoalaite.

Tässä tutkimuksessa on esitetty tuloilmaikkunan energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät (Luku 2) sekä osoitettu tyypillisten markkinoilla olevien tuotteiden toimivuus (Luku 6). Tuotekehityksen tavoitearvoja voidaan tarkastella siitä näkökulmasta, että tuloilmaikkuna voisi tasata ilmanvaihdon vaadittavan lämpöhäviön hyvällä tehollisella lämmönläpäisykertoimella.

Seuraavassa on tarkasteltu pelkästään ilmanvaihdon ja ikkunoiden osuutta lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittavissa tasauslaskelmissa, olettaen että rakennuksen muut osat ovat perusvaatimuksen mukaisia.

Ilmanvaihdon osuus poistoilmanvaihdolla varustetussa järjestelmässä on $Q_{iv} = q_v \rho c_p$, kun se perusratkaisussa (vertailutaso tasauslaskelmissa) on $Q_{iv,ref} = 0,7 q_v \rho c_p$. Näiden erotus on $0,3 q_v \rho c_p$. Mikäli tämä osuus on pystyttävä tasaamaan pelkästään parantamalla ikkunoita alle minimitaso vaatimuksen $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, on täytettävä ehto

$$(1,4 - H) A_{ikk} > 0,3 q_v \rho c_p, \quad (13)$$

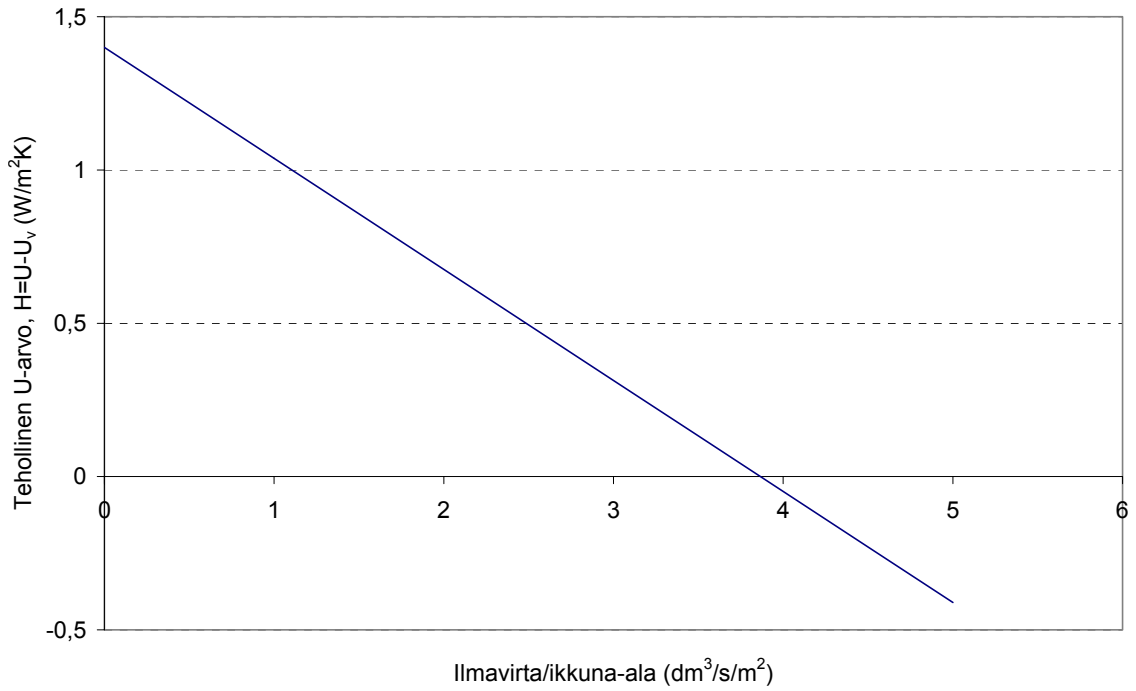
missä

$H = U - U_v$ on tuloilmaikkunan ns. tehollinen U-arvo.

Kaava voidaan edelleen kirjoittaa muotoon, missä ilmavirta ikkunapinta-alaa kohti on muuttujana

$$H < 1,4 - 0,3 \rho c_p (q_v / A_{ikk}). \quad (14)$$

Tämä voidaan esittää kuvan 36 muodossa. Kuva osoittaa, että ilmavirran ikkunapinta-alaa kohti kasvaessa yli $2,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ puuttuvan lämmöntalteenoton tasaukseen tarvitaan tehollinen U-arvo alle $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Kuva 36. Tuloilmaikkunalle asetettava tehollisen lämmönläpäisykertoimen vaatimus, kun tuloilmaikkunalla kompensoidaan puuttuva ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Kaikki tuloilma oletetaan otettavan tuloilmaikkunan kautta.

10. Yhteenveto ja jatkokehitystarpeet

Tutkimuksessa on selvitetty tuloilmaikkunoiden energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja tuotekehitysperspectiveita. Energiatehokkuuteen vaikuttavat ikkunan lasirakenne, virtausreitti, virtausaukkojen muoto ja koko sekä ikkunan koko ja muoto.

Ikkunoiden lämmönläpäisykerroin voidaan määrittää kokeellisen testauksen tai laskennan avulla. Tuloilmaikkunan lasiosalle on esitetty standardissa laskentamenetelmä. Menetelmä havaittiin soveltumattomaksi tuloilmaikkunoiden laskentaan. Menetelmä olettaa ideaalisen, säännöllisen virtauksen rakenteessa. Ilman oletetaan virtaavan tasaisesti alareunasta sisään rakenteeseen ja tasaisesti ulos rakenteen yläreunasta (tai päinvastoin). Käytännössä virtausreitti ja virtauksen tyyppi vaihtelevat sovelluksen mukaan ja standardin mukaista laskentaa ei voida käyttää. Laboratoriomittaukset antoivat jopa kaksinkertaisia lämpenemissuhteita laskelmien arvoihin verrattuna.

Energiatehokkuus voidaan mitata ns. hot-box-menetelmällä. Tuloilma asennetaan mittauskammioon, jossa simuloidaan ulkoilmaa ja sisäilmaa. Lämpimän puolen mittauskammiota joudutaan lämmittämään sisälämpötilan ylläpitämiseksi ja tämän tehon perusteella voidaan laskea ikkunan tehollinen lämmönläpäisykerroin. Vaihtoehtoisena menetelmänä voidaan käyttää ulkoilmatestausta PASLINK-testauskammiossa. Tässä tutkimuksessa esitetään menetelmäkuvaukset tuloilmaikkunan tehollisen lämmönläpäisykerroimen määrittämiseen hot-box- sekä PASLINK-mittausmenetelmillä. Tutkimus osoitti käytettyjen mittausmenetelmien hyvät ja huonot puolet sekä jatkokehitystarpeet. Hot-box-menetelmän etuna on mittauksen hyvä toistettavuus. Asennustapa ei kuitenkaan täysin vastaa ikkunan käyttöä todellisuudessa. Sisäilmaa sivuloiva mittauskammio on kapea ja korkea, eikä vastaa huonetilaa. Ilmavirtauksen kasvaessa ilman lämpötila mittauskammiossa ei ole enää tasainen ja kammion ilma ei sekoitu riittävästi. Tämä aiheuttaa epätarkkuutta suurilla ilmavirroilla ($> 6 \text{ dm}^3/\text{s}$) mitattaessa. Ulkoilmatestaus PASLINK-kammiossa vastaa enemmän todellista ikkuna-asennusta. Mittaustulokset riippuvat ulkoilman olosuhteista, ja tulosten korjaaminen ns. standardiolosuhteisiin on vaikeaa. Toisaalta mittauksista osoittaa toimivuuden todellisissa lämpötila- ja tuulioloissa. Molemmissa mittauksissa on edelleen jatkokehitystarpeita.

Lasiosan mittauksissa ilmavirtaus järjestettiin rakenteeseen tasaisesti. Todellisessa ikkunarakenneessa virtaus ohjataan rakenteen sisään ulkopuolelta tai karmissa olevan venttiilin kautta, ja ilman paikallinen nopeus on suurempi kuin ideaalisessa tasaisen virtauksen tapauksessa. Tämä parantaa lämmön siirtymistä lasivälissä lasin pinnalta ilmaan. Johtumislämpöhäviö ikkunan sisäpinnan kautta ulospäin kasvaa, mutta tästä lämpöhäviöstä otetaan osa talteen tuloilman esilämennyksen kautta. Sisäpinnan johtumislämpöhäviön kasvaessa ikkunan pintalämpötila alenee. Ilmavirran kasvattaminen pienentää tehollista lämmönläpäisykerrointa. Ilmavirta on valittava kohteessa vaadittavan

ilmanvaihtotarpeen mukaiseksi. Mittaukset osoittivat, että MSE-tyyppisen lasituksen (ulkopuitteessa yksi kirkas lasi, sisäpuitteessa eristyslaselementti) tehollinen lämmönläpäisykerroin ilmavirralla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ on noin $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vastaavan rakenteen lämmönläpäisykerroin tiiviinä, ilman ilmavirtaa rakenteen läpi on noin $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Lämpenemissuhde samalla ilmavirralla oli noin 43 %. MSK-tyyppisellä lasituksella (3 erillislasiä, ilmakierto kahden lasivälin kautta) mitattu tehollinen lämmönläpäisykerroin on hieman parempi kuin MSE-tyyppisellä lasituksella. Tehollinen lämmönläpäisykerroin ilmavirralla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ on alle $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vastaava lämpenemissuhde oli 60 %. Ilma kiertää rakenteessa pidemmän reitin, ja lämpöhäviöstä saadaan enemmän otettua talteen tuloilmaan. Toisaalta taas sisimmän lasin pintalämpötila jää matalammaksi kuin MSE-tyyppisellä lasituksella. Tutkimuksessa on esitetty, kuinka ikkunan pinta-ala vaikuttaa teholliseen lämmönläpäisykertoimeen ja tuloilman esilämpenemiseen rakenteessa. Koejärjestelyissä elementin kokoa kasvatettiin korkeutta kasvattamalla. Mitä korkeampi rakenne on (ja pitempi virtausreitti), sitä enemmän ilma esilämpenee rakenteessa.

Tuloilmaikkunan energiatehokkuus on tutkimuksessa mitattu MSK- ja MSE-tyyppisten lasitusten tapauksessa. Tuotteiden jatkokehittämiselle on tarvetta. Sisemmän puitteen eristyslasiin lämmöneristävyyden parantaminen pienentää johtumislämpöhäviötä, mutta toisaalta se johtaa taas pienempään lämpenemissuhteeseen. Virtausreittien ja -aukkojen sijoittelulla voidaan vaikuttaa jonkin verran energiatekniseen toimivuuteen. Tutkimuksessa on esitetty teoreettinen tavoitearvo, johon tuotekehityksellä tulee pyrkiä (Kuva 36).

Tutkimuksessa on tehty ehdotus, kuinka tuloilmaikkunaa voidaan käsitellä lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittamisessa ja siihen liittyvissä tasauslaskelmissa. Vaihtoehtoisina tapoina on yksinkertainen menetelmä, jossa ilman lämpenemisvaikutusta tuloilmaikkunassa ei huomioida, ja tarkempi menetelmä, jossa energiatarkastelussa huomioidaan lämpenemisvaikutus käyttäen laskentaan lämpöhäviökerrointa $H = U - U_v$. Ensin mainittu tapa antaa mahdollisuuden käyttää laskelmassa karkeamman tason tietoa. Jälkimmäinen tapa edellyttää tarkemman tiedon hankkimista tuotteesta. Se kuitenkin ottaa energiatekniset hyödyt huomioon laskelmassa.

Lähteet

- / 1 / Tuomola, T. & Reinilä, M. 1955. Ikkunat ja ilmanvaihto. Tutkimukset 1953–1955. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Lämpötekniikan laboratorio. 78 s.
- / 2 / Korkala, T. 1985. Tuloilmaikkunan vaikutus sisäilmastoon. Laboratoriokokeet. Espoo. VTT Tutkimuksia 352. ISBN 951-38-2322-9. 55 s. + liitt. 31 s.
- / 3 / Heimonen, I. 2004. Outdoor testing and analysis of the thermal performance of supply air window. Dynamic Analysis Methods Applied to Energy Performance Assessment of Buildings. Warsaw, 13–14 May 2004. DAME BC / PASLINK EEIG. 11 s.
- / 4 / Heimonen, I. & Hemmilä, K. 2003. Integration of windows and ventilation by smart supply air windows. – Conference Proceedings. Glass Processing Days 2003 – 8th Int. Conference on Architectural and Automotive Glass. Tampere 15–18.6.2003. Tamglass Ltd. Oy. S. 287–290.
- / 5 / Heimonen, I. 2003. Solar and thermal properties of double envelope facades. – IEA SHC Task 27 Performance of solar facade components, Dissemination Workshop. Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany, 6th Oct. 2003.
- / 6 / Heimonen, I. 2003. Thermal performance of smart supply air window – PASLINK outdoor test cell measurements and analysis. – Dynamic analysis and modelling techniques for energy in buildings. Ispra, Italy, 13–14 Nov. 2003. PASLINK.
- / 7 / Heimonen, I. & Hemmilä, K. 2003. Tuloilmaikkuna paremman sisäilmaston tekijänä – kuinka määräystenmukaisuus osoitetaan? Lasirakentaja, Vol. 13, Nr. 1, s. 12–15.
- / 8 / D2 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003. 30 s.
- / 9 / C3 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen lämmöneristys, Määräykset 2003. 7 s.
- / 10 / C4 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. 24 s.
- / 11 / G1 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Asuntosuunnittelu. Määräykset 1994. 4 s.

- / 12 / Nyman, M., Saari, M. & Kokko, E. 2003. Lämmöneristysmääräysten 2003 täytäminen Ympäristöopas 106. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.
- / 13 / Heimonen, I. 2002. Ikkuna- ja lasiteollisuuden uudet mahdollisuudet 'energiapakettin' C3,C4 & D2 ehdotuksessa. Lasirakentaja 1, s. 8–12.
- / 14 / Hemmilä, K. & Heimonen, I. 2003. Ikkunoiden lämmöneristävyttä ja kokoa koskevien määräysten muutokset. Lasirakentaja, Vol. 13, No. 1, s. 5–12.
- / 15 / Hemmilä, K. & Heimonen, I. 2001. Ikkunan lämmönläpäisykertoimen määrittäminen. Lasirakentaja No. 3, s. 5–10.
- / 16 / Ojanen, T. & Heimonen, I. 2003. Building integration of multi-functional glazed facades – Potential and risk assessment. Glass Processing Days 2003 – 8th Int. Conference on Architectural and Automotive Glass. Tampere 15–18.6.2003 – Glass Processing Days 2003 Conference Proceedings. Tamglass Ltd. Oy. S. 256–258.
- / 17 / Hemmilä, K. & Kovanen, K. 2004. Edistyksellinen tuloilmaikkuna, Rakennustaito 4, s. 52–53.
- / 18 / Heikkinen, J. 1987. Painesuhteet hallitaan vain tiiviissä talossa. LVI-lehti, Vol. 39, No. 11, s. 27–31.
- / 19 / PV-HYBRID-PAS, Development of Procedures for Overall Performance Evaluation of Hybrid Photovoltaic Building Components.
<http://www.paslink.org/pvhybrid/index.htm>
- / 20 / Ojanen, T. Heimonen, I. Simonson, C., Costa, M., Soria, M. & Faggenbauu, D. 2000. PV-panel siding for renovation of walls – Part 1: Thermal performance experiments in Northern climate conditions. EuroSun 2000. Copenhagen, 19–22 June 2000, ISES Europe, International Solar Energy Society. 9 s. (CD-rom)
- / 21 / Soria, M., Faggenbauu, D., Costa, M., Ojanen, T., Heimonen, I. & Simonson, C. 2000. PV-panel siding for renovation of walls – Part 2: Numerical analysis. EuroSun 2000. Copenhagen, 19–22 June 2000, ISES Europe, International Solar Energy Society. 10 s. (CD-rom)
- / 22 / Vandaele, L., Wouters, P. & Bloem, H. 2002. IQ-TEST: Improving quality in outdoor thermal testing. PASLINK paper on IQ-TEST, presented at Conference EPIC 2002 AIVC.

- / 23 / www.windat.org. WINDAT Thematic Network www-pages.
- / 24 / WIS Advanced window innovation system reference manual. 1996. 116 s.
- / 25 / Heimonen, I. 2004. WIS 3.0: Eurooppalainen laskentatyökalu ikkunoiden lämpö- ja säteilyteknisten ominaisuuksien laskentaan. Lasirakentaja, Vol. 14, No. 4, s. 22–24.
- / 26 / Heimonen, I. 2002. IEA Uusi lasirakentamisen tutkimusohjelma IEA Task 27 on käynnistynyt – pääteemoina toimivuus, kestävyys ja elinkaaritekniikka. Lasirakentaja, Vol. 10, No. 2, s. 19–21.
- / 27 / Thermal performance of windows, doors and shading devices – Detailed calculations. 2003. International Standard ISO/FDIS 15099:2003(E). 71 s.
- / 28 / EN ISO 10077-1. Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: Simplified method (ISO 10077-1:2000).
- / 29 / EN ISO 10077-2. Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames.
- / 30 / <http://www.sulpu>. Suomen Lämpöpumppuyhdistyksen, SULPU ry:n www-sivut.
- / 31 / http://erg.ucd.ie/rdpclevs/main_frame.htm. Projektin “Research and Demonstration Project of a Low-Energy Whole House Ventilation System” www-sivut.

Liite A: PASLINK ulkoilmamittauksen menetelmäkuvaus tuloilmaikkunoille

Lähde:

Heimonen, I. 2004. Outdoor testing and analysis of the thermal performance of supply air window. Dynamic Analysis Methods Applied to Energy Performance Assessment of Buildings. Warsaw, 13–14 May 2004. DAME BC / PASLINK EEIG (2004). 11 s.

OUTDOOR TESTING AND ANALYSIS OF THE THERMAL PERFORMANCE OF SUPPLY AIR WINDOW

ISMO HEIMONEN

VTT

PL 1000, 02044 VTT, Espoo, FINLAND

e-mail: ismo.heimonen@vtt.fi

SUMMARY

Ventilated windows and facades have been used in many buildings to improve the thermal performance and comfort of the facade and ventilation system. Reliable design parameters are needed in design practice. The principle of thermal and solar characterisation of the supply air window component is presented in general and with case study. PASLINK outdoor test cell was used as test environment. The main thermal and solar parameters for supply air window facade were analysed using graphical method and identification method.

The measured results for Finnish supply air windows were presented. The ventilated window improves the total energy efficiency compared to tight window and different ventilation opening. The measured ventilation air pre-heating due to heat losses expressed as heat recovery efficiency was 24–44 %.

This paper gives an improved analysis approach compared to paper presented in previous DAME-BC conference [1]. Also the measured cases are the different ones. The results are part of Finnish research project started in January 2004. The measurements will be done for six different supply air windows using different air flow rates.

GENERAL

Ventilated windows and facades have been used in many buildings to improve the thermal performance and comfort of the facade and ventilation system [2]. In the history the primary goal was to improve the thermal performance. Nowadays the main reason for selection of the supply air windows as renovation solution is to integrate the air inlet routes in window component. This is having a great potential in residential buildings having an exhaust ventilation system without designed air inlet routes.

In near history the use of ventilated windows decreased due to poor performance in building integration. The main problem in cold climate was the risk of condensation inside the ventilated glazing cavity. The buildings were designed to have exhaust ventilation system and underpressure in room space. The underpressure inside the building was not always realised due to wind and stack effects or lack of ventilation and risk of condensation existed during some periods. This problem has nowadays been solved in most commercially available applications by using 'one-way valve' preventing the humid inside air to flow backwards through window structure (figure 1). This has been a key element to increase the use of supply air windows as ventilation renovation solution in residential buildings.

Ventilated window is a design concept, which increases the role of window and glazing as multi-functional element. Window is working as ventilation opening with air pre-heating and heat recovery effect. The ventilation air can be filtered and the ventilation cavity can be optimized to improve the acoustical performance of the component. The building must be underpressured by mechanical extract ventilation system. This design concept has an important interaction on the ventilation and building system integration and design.

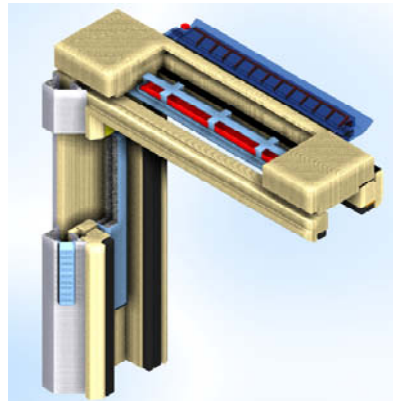
PRINCIPLE OF VENTILATED WINDOW

The principle of a supply air window is very simple: outdoor air is directed between glasses and incoming air pre-heats due to heat losses of window. The overall heat loss of ventilation and window becomes smaller and incoming air becomes warmer.

Ventilated windows have been used in many buildings to improve the thermal performance and comfort of the facade and ventilation system. Nowadays the main reason for selecting supply air windows while changing windows is to add air inlet routes in the residential buildings having an exhaust ventilation system without designed air inlet routes. The possible ways to get supply air are

- (I) window frame air valve, having direct route through the frame structure.
- (II) supply air window, having air route/channel through external sash to the space between the glasses and to the room air supply in the upper frame and sash structure.
- (III) exhaust air window, having a route/air inlet through the inner surface to the space between the glasses and to the outlet system of exhaust ventilation system.
- (IV) holes drilled through walls and valves added on inner surface of walls.

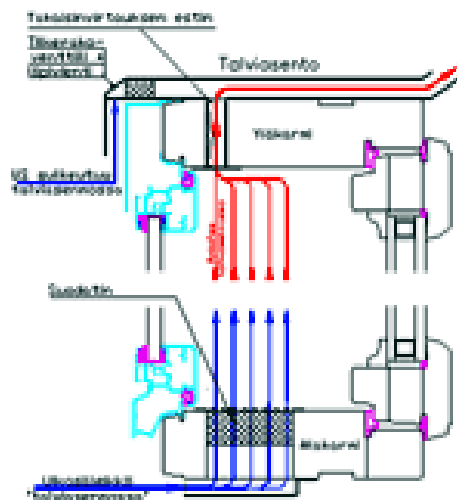
The supply air window (figure 1) and window frame air valve systems have achieved some markets in retrofit of residential buildings, due to possibilities integrate the ventilation and window retrofit actions.



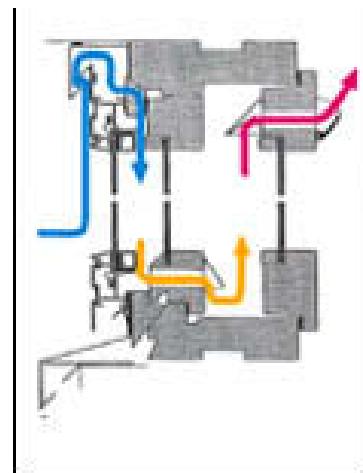
(a) <http://www.tiivi.fi>

(b) <http://www.domus.f>

(c) <http://www.perho.com/yritykset/muoviitala/>



(d) <http://www.dir-air.fi>



(e) <http://www.alumglas.fi>

Figure 1. The principle of supply air windows. Example of products at the Finnish market. Air inlet in side sash (a), (b) & (c), in bottom frame (e) and in top frame structure (f).

THERMAL AND SOLAR PERFORMANCE CHARACTERISATION

The thermal performance of ventilated building envelope parts can be characterised by four main parameters, which are the thermal transmittance (U-value) and the solar energy transmittance (g-value) [3], [4]. Both the U-value and g-value are separated to transmission and ventilation parts.

The idea is to determine the effect of solar radiation on the transmission and ventilation energy transmitted through the wall component. The g-value represent the relative part of the solar radiation energy transmitted directly or by conduction or convection. When solving the g-terms the reference case is without temperature difference and without solar radiation. The definition for the four terms are given below:

- g_{vent} Total solar energy fraction to ventilation air flow rate. The proportional amount of solar solar radiation energy transmitted to incoming air (heat flow through the wall due to temperature difference ΔT omitted, only solar effect included).
- g_{trans} Total solar energy transmittance fraction. The proportional amount of solar radiation energy transmitted by conduction inside the test cell and in case of window component, this is including direct transmittance (heat transmission through the wall due to temperature difference omitted, only solar effect included).
- U Thermal transmittance of the component. Heat flow rate under steady state conditions divided by temperature difference, no solar radiation included, unit W/m^2K .
- U_v The fraction of the thermal transmittance, which is transmitting to ventilation air flow rate, the amount $U-U_v$ is transmitting outside (defined during no solar radiation), unit W/m^2K .

HEAT BALANCE OF THE VENTILATED COMPONENT AND TEST ROOM

The heat flow inside the test cell without supply air flow (in steady state) can be expressed in simplified format:

$$\Phi_{trw} = U A \Delta T - g_{trans} A G_{sol} \quad (1)$$

$$\text{where } \Delta T = T_{indoor} - T_{out}$$

The heat flow transmitting to ventilation air flow rate (in steady state) can be expressed:

$$\Phi_{vent} = U_v A \Delta T + g_{vent} A G_{sol} \quad (2)$$

In case with supply air intake equations (1) and (2) could be coupled in one equation (3):

$$\Phi_{tot} = (U-U_v) A \Delta T - g_{trans} A G_{sol} - g_{vent} A G_{sol} \quad (3)$$

where Φ_{tot} is the total heat flow through the wall module, U is the measured U-value including the additional component caused by air convection flow, and U_v is the amount of heat losses transported to supply air flow.

When cold outdoor air flows through a wall structure to the indoor air space having higher temperature level, the flowing air warms up due to the heat recovery effect. At the same time the structure will be cooled down, which increases the transmission heat losses. The total sum of the transmission and ventilation heat losses of the room is typically lower than in a case without this heat recovery from the conduction heat losses to the supply air.

The relative heat losses can be presented with Nusselt number Nu. The Nusselt number is defined in equation (4).

$$\text{Nu} = q_{\text{tot}}/q_{\text{ref,tot}} \quad (4)$$

where q_{tot} is the sum of the heat losses (transmission and ventilation) in the studied air infiltration case and $q_{\text{ref,tot}}$ is the sum of the heat losses in reference case, where the same outdoor air flow rate is taken into the room space without warming up due to the heat recovery.

Nusselt number 1 means that there is no heat recovery and values < 1 that the total losses are lower due to the heat recovery.

Effectiveness is often used to compare air-to-air heat exchangers which recover energy from exhaust air to preheat supply air for buildings in cold climates. The effectiveness (ε) is defined as,

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{vent}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}} \quad (5)$$

where T_{vent} is the temperature of the preheated air before entering the building space, T_{out} is the cold side air temperature and T_{indoor} is the air temperature of the indoor air.

The energy balance of room is expressed

$$\Phi_{\text{heating}} + \Phi_{\text{fan}} + q_v \rho c_p (T_{\text{vent}} - T_{\text{indoor}}) - UA (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) - \Phi_{\text{heatlosses}} + g_{\text{trans}} A G_{\text{sol}} - H_{\text{inf}} (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) = 0 \quad (6)$$

This equation is more detailed compared to paper [1] including infiltration term Φ_{inf} (Eq. (7)) in heat balance. The infiltration coefficient H_{inf} will be determined by the measurements.

$$\Phi_{\text{inf}} = H_{\text{inf}} (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) \quad (7)$$

This can be written in form

$$(\Phi_{\text{heating}} + \Phi_{\text{fan}} + q_v \rho c_p (T_{\text{vent}} - T_{\text{indoor}}) - \Phi_{\text{heatlosses}} - \Phi_{\text{inf}}) / (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) = UA - g_{\text{trans}} A G_{\text{sol}} / (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) \quad (8)$$

defining

$$X_{\text{cell}} = G_{\text{sol}} / (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) \quad (9)$$

$$Y_{\text{cell}} = (\Phi_{\text{heating}} + \Phi_{\text{fan}} + q_v \rho c_p (T_{\text{vent}} - T_{\text{indoor}}) - \Phi_{\text{heatlosses}} - \Phi_{\text{inf}}) / (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) \quad (10)$$

simplifies (6) in form (11)

$$Y_{\text{cell}} = UA - (g_{\text{trans}} A) X_{\text{cell}} \quad (11)$$

The heat flow transmitting to ventilation air flow rate (in Eq. (2)) can be expressed from air side

$$\Phi_{\text{vent}} = q_v \rho c_p (T_{\text{vent}} - T_{\text{out}}) \quad (12)$$

Combining (2) and (12) and defining

$$X_{\text{air}} = G_{\text{sol}} / (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) \quad (13)$$

$$Y_{\text{air}} = q_v \rho c_p (T_{\text{vent}} - T_{\text{out}}) / (T_{\text{indoor}} - T_{\text{out}}) \quad (14)$$

simplifies

$$Y_{\text{air}} = U_v A + (g_{\text{vent}} A) X_{\text{air}} \quad (15)$$

Estimation of U's and g's are seen from the 24 hour averages of X,Y curves during the measurement periods. In case of non-massive component the instantaneous values can be used instead of 24 h average values.

OUTDOOR MEASUREMENTS IN PASLINK TEST CELL

The energy performance of window components were measured using PASLINK outdoor test cell [5]. Figure 2 presents the window and facade installed in test cell.

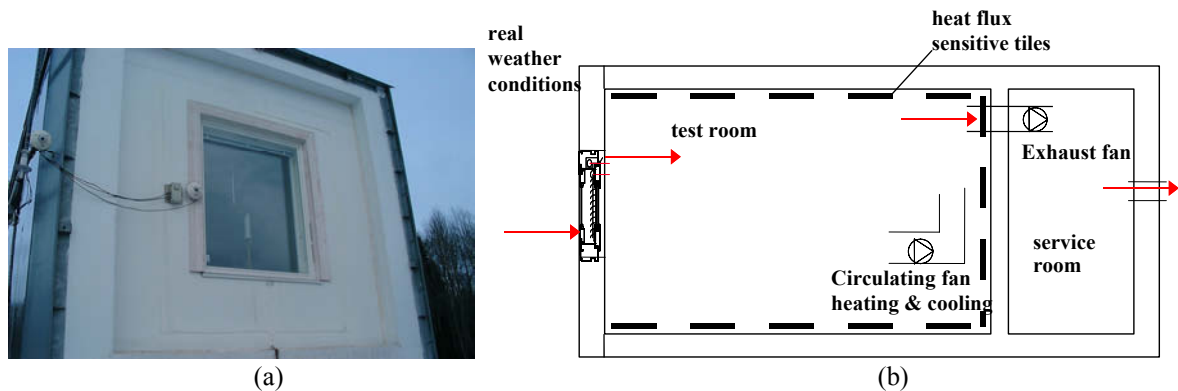


Figure 2. (a) Finnish type MSE supply air window installed in PASLINK outdoor test environment. (b) Principle of test cell installation.

Compared window types were

- (A) Finnish MSE supply air window type 1 (1 external glass, low-e DGU in inner sash, air inlet in side sash)
- (B) Finnish MSE supply air window type 2 (1 external glass, low-e DGU in inner sash, air inlet at bottom frame)
- (C) Finnish MSK supply air window type 3 (3 clear glasses in separate sashes, air inlet at top frame, outlet at top frame, both the gaps ventilated, principle in figure 1e).

The heating power, outdoor and indoor surface and air temperatures, heat fluxes of the test cell walls, external solar radiation, pressure difference over the test cell facade and exhaust air flow rate were measured during the test periods. The dynamic heat balance of the test cell and the component were determined. The solar and thermal design parameters were determined using 2 different methods, graphical and identification methods.

CALIBRATIONS

In the calibration phase, an opaque wall with 20 cm insulation covered with plywood in inner and outer surfaces was installed as south wall of the test cell. In the middle part of the facade there is a section of size 1250 mm x 1500 mm, which can be replaced by window component.

The calibration of the test cell was performed in the following order

1. Tightness test for the test cell. This phase gives the leakage air flow rate as function of pressure difference Δp . The leakage [dm^3/s] of the test cell can be expressed in fit form $q_v = 0,0995 \Delta p^{0,8206}$.
2. Calibration of the heat flux sensitive tiles. This is an overall calibration of the upgraded test cell determining the correction factor for the heat flux sensitive tiles. The correction factor is $\sim 1,0$. The system is described by model in figure 3a.

3. Determining the infiltration coefficient H_{inf} . The test cell is pressurised (~ 20 Pa underpressure) by exhaust fan, the walls are covered with heat flux sensitive tiles. The infiltration coefficient H_{inf} is determined by model in figure 3b.
4. Determining the average U-value of the opaque south wall using model in figure 3c. This average U-value is later used as mounting wall U-value. In this phase, the south wall inner heat flux sensitive tiles have been removed.

Figure 5 presents 24 hour sum of heat losses (measured by heat flux sensitive tiles) and infiltration loss compared to heating and fan power in test cell.

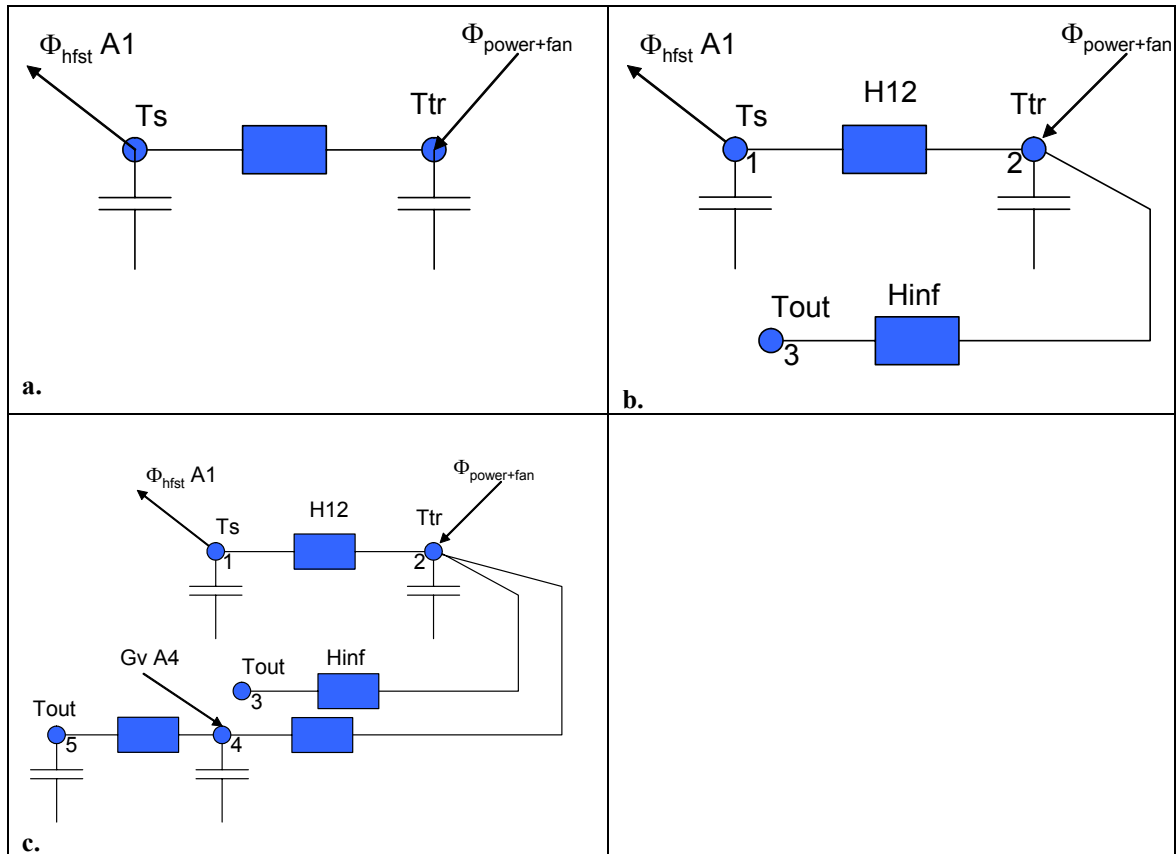


Figure 4. The model typologies for calibration analyses. (a) Model for calibration of heat flux sensitive tiles. (b) Model for determination of the leakage heat loss coefficient H_{inf} . (c) Model for determining the opaque wall U-value.

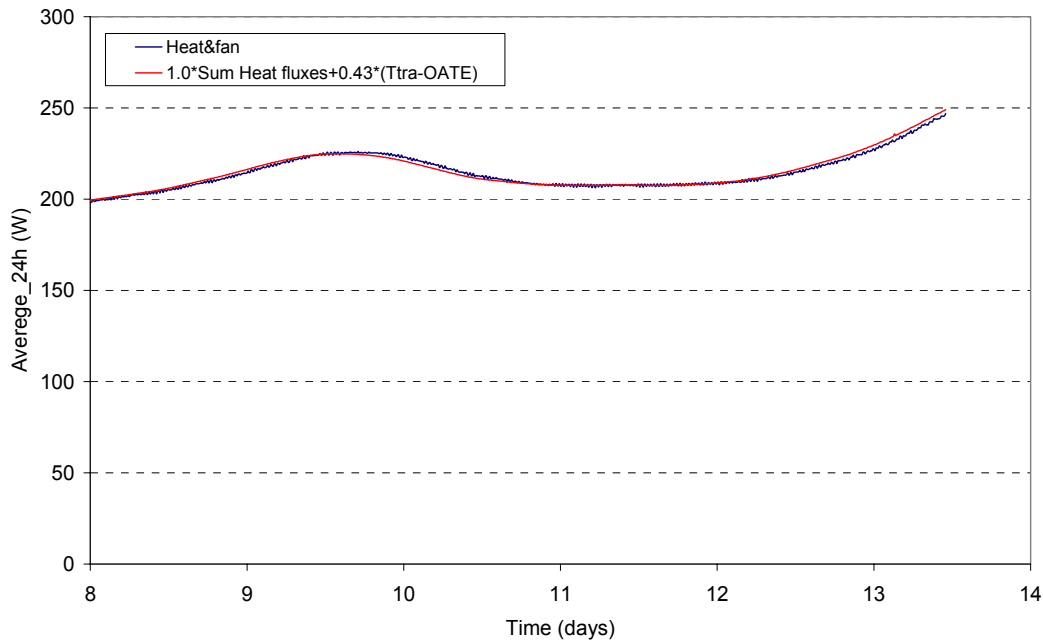


Figure 5. The sum of heat losses (measured by heat flux sensitive tiles) and infiltration loss compared to heating and fan power in test cell. $H_{inf} = 0,43 \text{ W/K}$. The curve presents 24 h average of the values.

MEASUREMENTS FOR THE WINDOW FACADE

After calibration periods the centre section of opaque wall was replaced with window size of 1230 mm x 1480 mm. The inner air temperature heating set point was set to 20 °C and the test room temperature was controlled by electrical heater. The heat was distributed by air heating system. The exhaust air flow rate was set as constant but in practice the wind speed and direction is having some influence on the air flow rate. Figure 6 presents the pressure difference between outdoor and indoor space and wind speed during the measurement period. The air pre-heating due to heat losses from the room space is seen in figure 7. The supply air is pre-heating about 42 % of the temperature difference between indoor and outdoor. The average air flow rate during the measurement period is 4,2 dm³/s. The heating power including fan power, heat losses through the heat loss sensitive tiles and external vertical solar radiation are presented in figure 8.

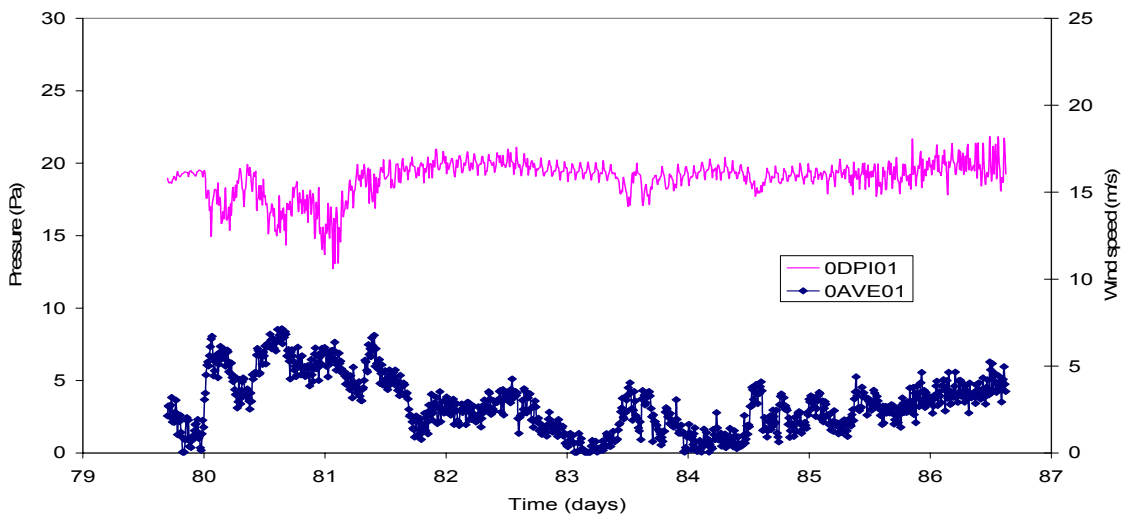


Figure 6. The pressure difference between outdoor and indoor space and wind speed during the measurement period. MSE supply air window type 1.

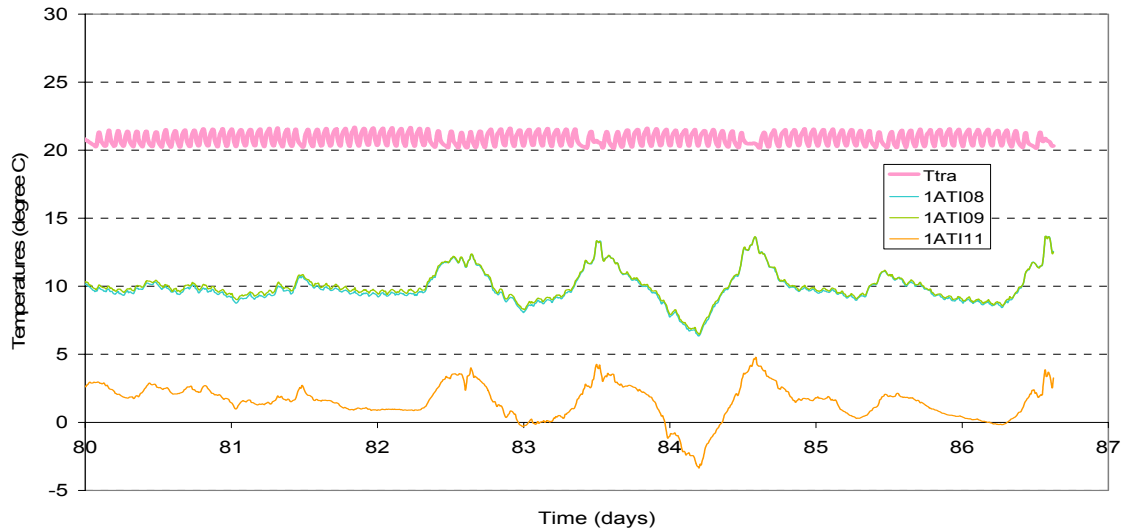


Figure 7. The indoor air temperature (T_{tra}), outdoor air temperature ($1ATI11$) and supply air temperature at the room vent opening ($1ATI08$ and $1ATI09$). MSE supply air window type 1.

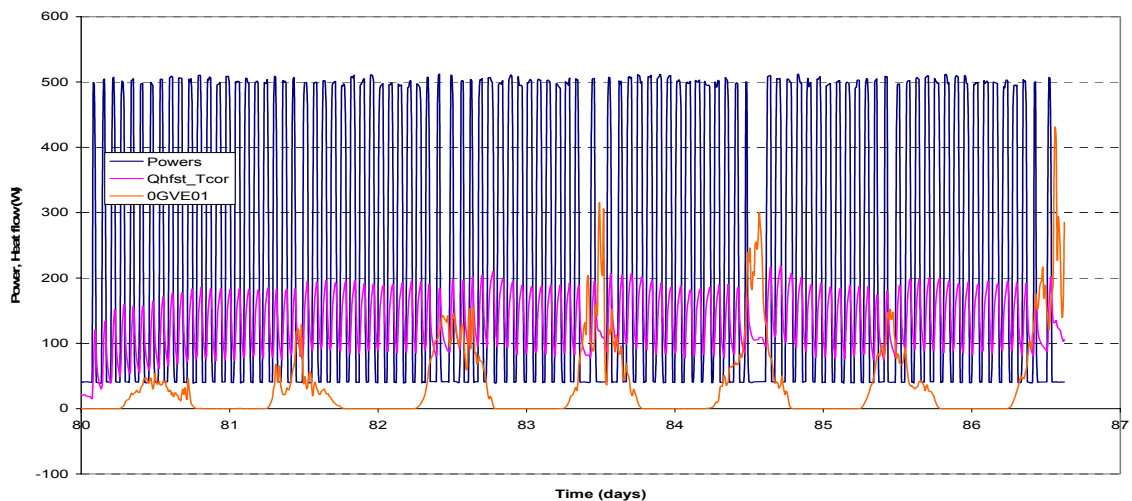


Figure 8. The heating power including fan power (W), heat losses through the heat loss sensitive tiles (W) and external vertical solar radiation (W/m^2) during the measurement period. MSE supply air window type 1.

ANALYSIS METHODS FOR WINDOW FACADES

Method 1: Graphical solution

Estimation of U 's and g 's are seen from the 24 hour averages of X, Y curves during the measurement periods. Definitions of X_{cell} and Y_{cell} are presented in Eq. (9) and (10) and X_{air} and Y_{air} in Eq. (13) and (14).

Method 2: Modelling lumped parameter model and identification of parameters in model

Two types of model were used in the analysis of ventilated windows. Model typology 1 (figure 9) is used for identifying heat loss out from the inner surface of the wall. This is expressed in form of heat transmittance, U -value. The same model 1 is used for identifying total solar energy transmittance of the wall. Model typology 2 (figure 10) is used for identify heat transfer from inner wall layer transmitting to ventilation air flow, expressed in form of U_v -value. The same model 2 is used for determining solar energy transmittance due to ventilation, g_{vent} .

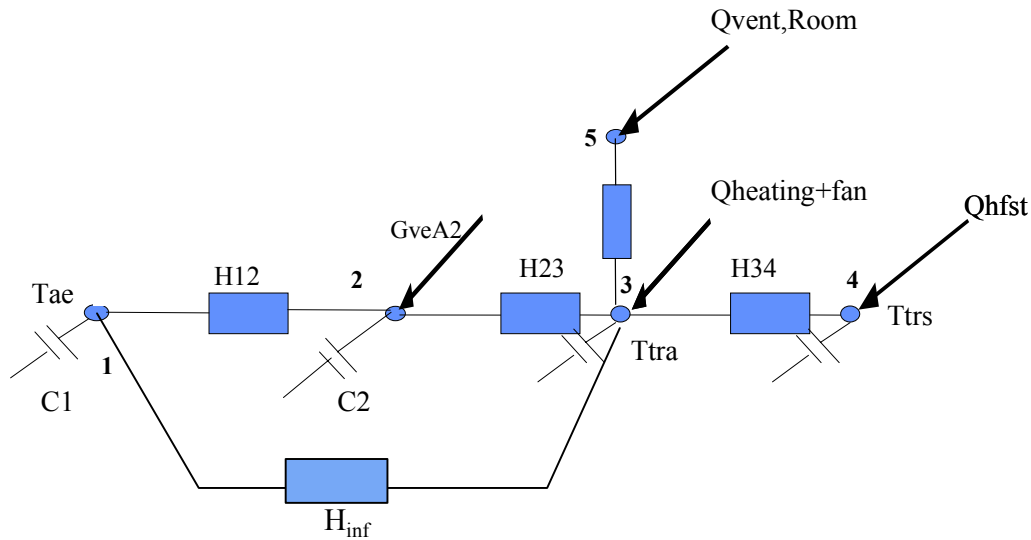


Figure 9. Model typology 1 is used for identifying heat loss out from the inner surface of the wall. This is expressed in form of heat transmittance, U -value. The same model 1 is used for identifying total solar energy transmittance g of the wall.

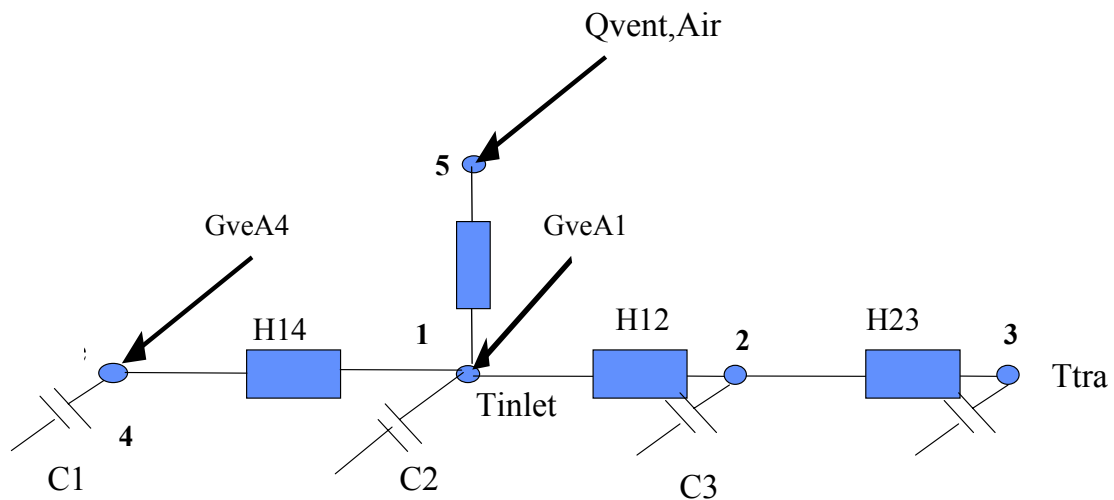


Figure 10. Model typology 2 is used for identify heat transfer from inner wall layer transmitting to ventilation air flow, expressed in form of U_v -value. The same model 2 is used for determining solar energy transmittance due to ventilation, g_{vent} .

RESULTS – GRAPHICAL ANALYSIS

Figures 11 and 12 present the results for supply air window 1 facade. The estimation of UA and $g_{trans}A$ are seen from the 24 hour averages of $Y_{cell} = f(X_{cell})$ curves during the measurement periods. Figure 11 gives $UA = 4,37$ W/K and $g_{trans}A = 0,58$ m². The estimation of U_vA and $g_{vent}A$ are seen from the 24 hour averages of $Y_{air} = f(X_{air})$ curves during the measurement periods. Figure 12 gives $U_vA = 2,03$ W/K and $g_{vent}A = 0,09$ m². The correlation of instantaneous X_{air}, Y_{air} value is presented in figure 13. In case of non-massive component the instantaneous values can be used instead of 24 h average values.

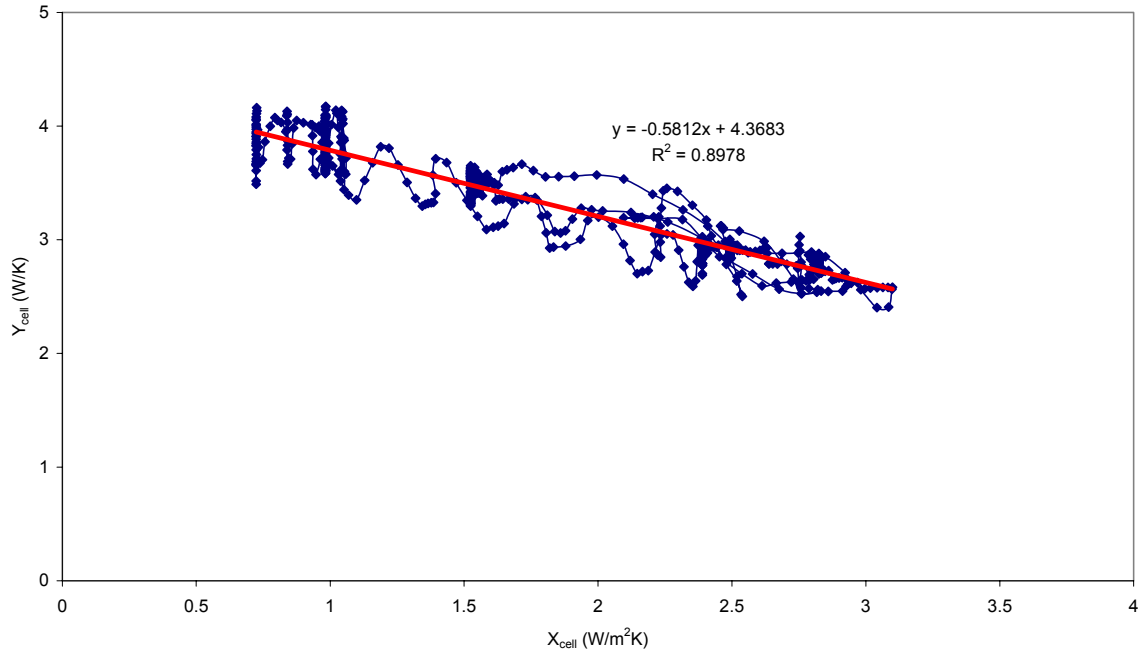


Figure 11. Graphical solution for UA and gA , supply air window 1.

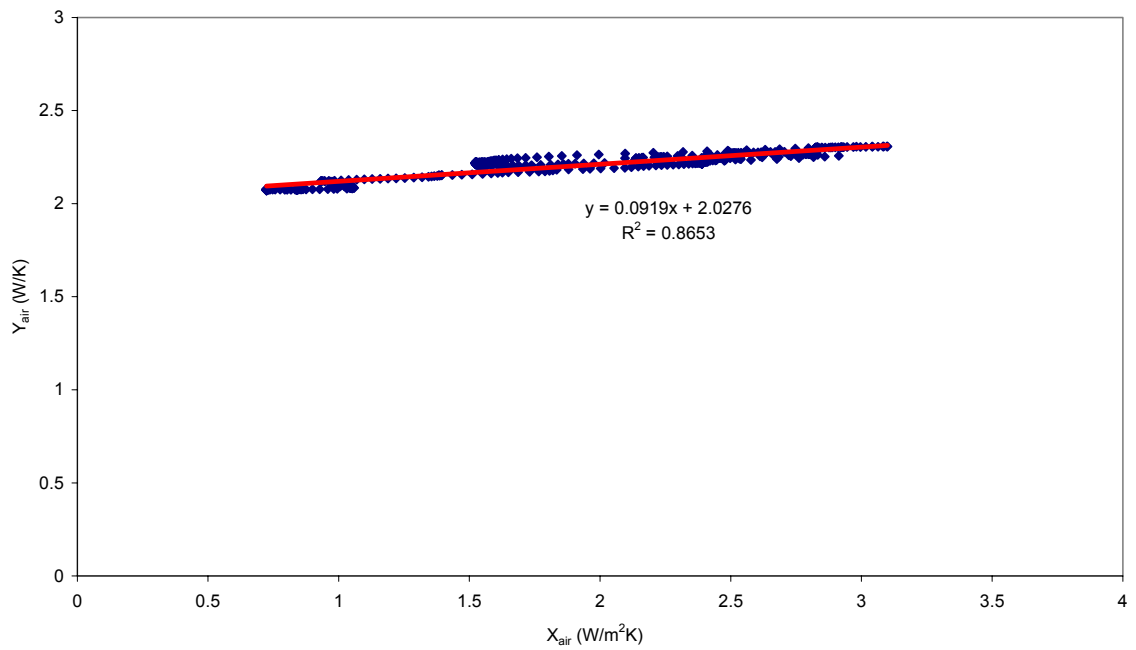


Figure 12. Graphical solution for U_vA and g_vA , supply air window 1. 24 hour averages of X and Y .

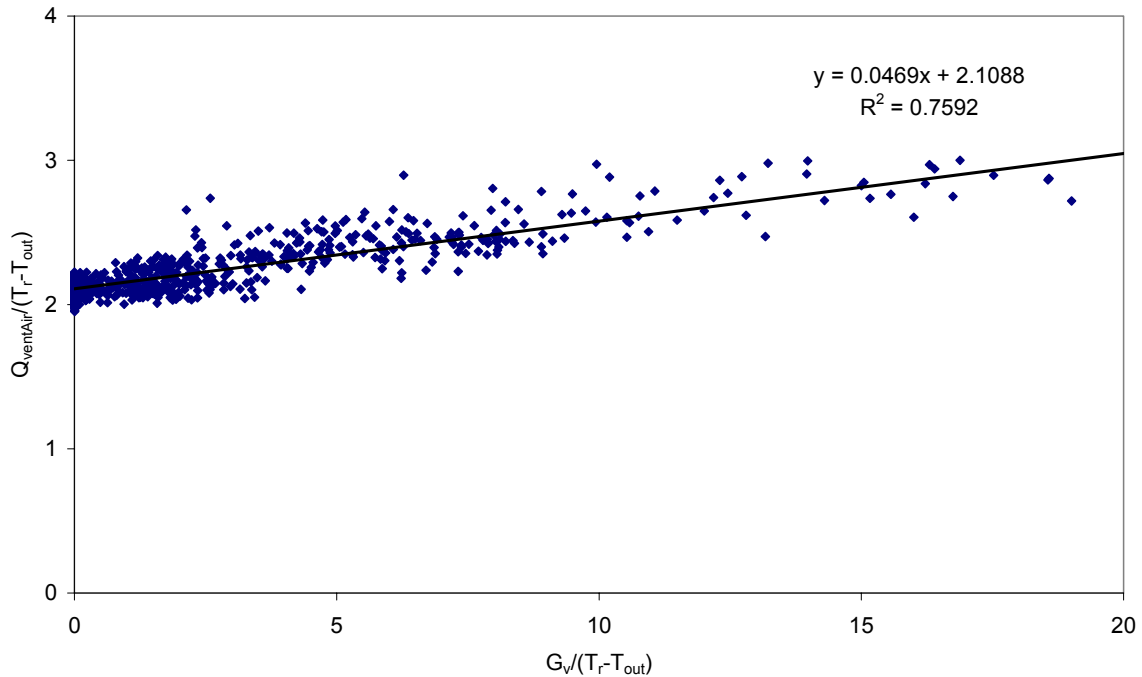


Figure 13. Graphical solution for $U_v A$ and $g_v A$, supply air window 1.

RESULTS – IDENTIFICATION METHOD

Identification using LORD (Logical R-Determination) [6] gave the results for the facade thermal parameters and the window component UA's and gA's are calculated subtracting opaque wall part of total facade values. The results are presented in table 1.

Table 1. Window thermal and solar parameters.

Case	Analysis method	U W/m ² K	g m ²	U _v W/m ² K	g _v m ²	U-U _v W/m ² K	ε %	q _v dm ³ /s
MSE 1	Lord	1.98 ±0.10*	0.32 ±0.01	1.16 ±0.06	0.04	0.82	41.9	4.17
MSE 1	Graphical	1.83	0.32	1.11	0.05	0.72	40.3	4.17
MSE 2	Lord	1.63 ±0.13	0.29 ±0.02	0.92 ±0.05	0.03	0.70	26.5	5.27
MSE 2	Lord	1.60	0.29	1.00	0.03	0.60	24.0	6.28
MSK 3	Lord	3.51 ±0.14	0.43 ±0.03	2.14 ±0.13	0.08	1.37	43.5	7.41

* A rough error analysis has been done. The following values has been evaluated as signal errors:

- Indoor temperature 0,5 K
- Outdoor temperature 0,5 K
- Heating power 0,5 %
- Heat flow of heat flux sensitive tiles 1 %
- Ventilation heat flow 5 %
- Solar radiation 5 %

The U-value of MSE type window (single glass in external sash, low-ε DGU in internal sash) is 1.60...1.98 W/m²K and U_v-value 0.92...1.16 W/m²K. In case of MSK type supply air window (3 separate sashes with single glasses), the U-value is increasing compared to MSE type window but this is partly compensated with increased heat recovery effect in the structure.

Smart ventilated window improves the total energy efficiency compared to tight window and different ventilation opening. The heat recovery efficiency ϵ in measured case was 24–44 %. The ventilation through the window increases U-value, but the net effect on energy consumption is positive. The heat recovery from heat losses to ventilation air is bigger than increase in heat losses. The results were measured for air flow rate $\sim 4,2\text{--}7,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ and 18–22 Pa underpressure in room. The air preheating (figure 7) in the structure improves the thermal comfort during cold periods because of less draught problems.

CONCLUSIONS

The principle of thermal and solar characterisation of the supply air window component was presented in general and with case study. PASLINK outdoor test cell was used as test environment. The main thermal and solar parameters for supply air window facade were analysed using graphical method and identification method. The measured results for Finnish supply air windows were presented: the ventilated window improves the total energy efficiency compared to tight window and different ventilation opening. The air pre-heating due to heat losses expressed as heat recovery efficiency was 26–44 %.

The results are part of Finnish research project (short name ET-TULO) started in January 2004. The measurements will be done for six different supply air windows using different air flow rates.

REFERENCES

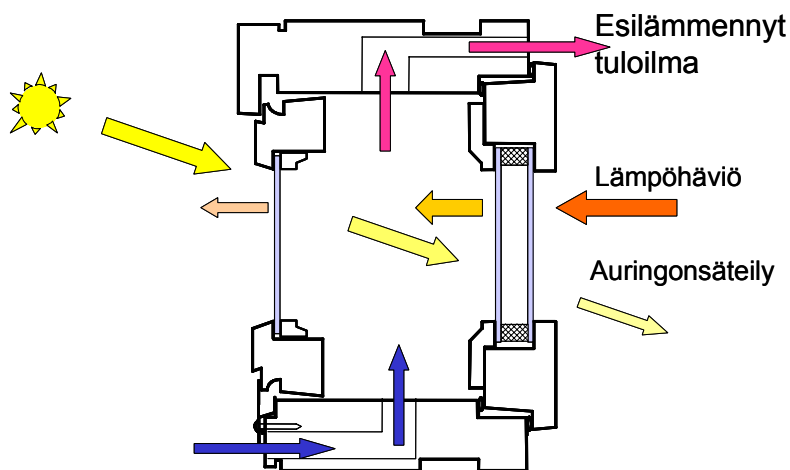
- [1] Heimonen, I. 2003. Thermal performance of smart supply air window – PASLINK outdoor test cell measurements and analysis. – Dynamic analysis and modelling techniques for energy in buildings. Ispra, Italy, 13–14. Nov. 2003. PASLINK / DAME-BC. 9 p.
- [2] Heimonen, I. & Hemmilä, K. 2003. Integration of windows and ventilation by smart supply air windows. Glass Processing Days Conference, June 2003, Tampere. 4 p.
- [3] van Dijk, H.A.L. & van der Linden, G.P. 1993. MRQT user guide – Manual for MRQT and the MRQT/PASTA version 5.31, TNO Building and Construction Research.
- [4] Ojanen, T., Heimonen, I. & Mähönen, T. 2001. Applicability of solar hot-box measurements on the evaluation of pv-panel siding wall systems. North Sun 2001, 6.–8.5.2001, Leiden. 10 p.
- [5] The PASSYS services summary report. Publication number EUR 15113 EN of European Commission. 1994. 106 p.
- [6] Gutschker, O. LORD, LOGical R-Determination. Modelling and identification software for thermal systems. User manual. 30 p.

Liite B: Tuloilmaikkunoiden lämmöneristysmääräystenmukaisuuden osoittaminen sekä huomioon ottaminen tasauslaskelmissa

Tämä dokumentti on ehdotus laskentatavaksi, jolla tuloilmaikkunoiden määräystenmukaisuus osoitetaan sekä tuoteominaisuudet otetaan huomioon tasauslaskelmissa.

1. Yleistä

Tuloilmaikkunan (Kuva 1) kautta johdetaan tuloilmaa huonetilaan, joka on alipaineistettu koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Tuloilma lämpenee ikkunarakenteessa ennen saapumistaan huoneilmaan, mikä parantaa viihtyisyyttä. Toisaalta tuloilman virtaaminen rakenteen kautta alentaa lasin sisäpinnan lämpötilaa.



Kuva 1. Tuloilmaikkunan periaate.

Määritelmät

Tuloilmaikkuna on ikkuna, jonka lasivälin kautta otetaan ulkoilmaa huonetiloihin tuloilmaksi. Ulkoilma lämpenee ikkunan lämpövuodosta, mikä vähentää ikkunan lämpöhäviötä. Lisähyötynä on tavallista ulkoilmaventtiiliä lämpimämpi sisälle tuleva ilma, mikä vähentää vedontunnetta. Myös auringon lämpösäteily lämmittää rakenteen kautta sisään johdettavaa tuloilmaa.

Perusikkuna-termillä viitataan tuloilmaikkunaa vastaavan rakenteen ikkunaa, jonka kautta ei johdeta tuloilmaa huonetilaan.

Takaisinvirtauksen esto on toiminto (rakenne, laite tms.), joka estää ilman virtauksen ikkunan kautta sisäilmasta ulkoilmaan tai puiteväliin.

Suodatin on vaihdettava kertakäyttöinen tai puhdistettava ilmanavaan asennettava osa, joka poistaa tuloilmasta ulkoilmassa olevia epäpuhtauksia.

Koneellisella poistoilmajärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla, ja tilalle tulee ulkoilmaa sekä ulkoilmalaitteiden kautta että rakenteiden ilmapuotoina (RakMK osa D2 määritelmä). Ulkoilmalaitteita ovat mm. ulkoilmaventtiilit, rakoventtiilit, karmiventtiilit sekä tuloilmaikkunaventtiilit.

Symbolit

- A ikkunan pinta-ala, yksikkö m^2
- Φ hetkellinen lämpövirta ikkunan läpi, yksikkö W
- G_{sol} auringonsäteilyn teho ikkunan ulkopinnalle, yksikkö W/m^2
- ΔT ikkunan yli vaikuttava sisä- ja ulkolämpötilojen erotus $\Delta T = \text{sisälämpötila} - \text{ulkolämpötila}$, yksikkö K
- Δp ikkunan yli vaikuttava ulko- ja sisätilojen paine-ero, yksikkö Pa
- q_v tuloilmavirta, yksikkö dm^3/s
- U lämmönläpäisykerroin, U-arvo, on rakennusosan läpi menevä lämpövirta jaettuna lämpötilaerolla (auringonsäteilyn vaikutusta ei oteta huomioon), yksikkö W/m^2K . Perusikkunan U-arvo määritetään ilman tuloilmavirtaa.
- U_{qv} lämmönläpäisykerroin U_{qv} on rakennusosan läpi menevä lämpövirta jaettuna lämpötilaerolla, kun rakennusosan läpi virtaa ilmavirta q_v (auringonsäteilyn vaikutusta ei oteta huomioon), yksikkö W/m^2K .
- U_v osuus lämmönläpäisykertoimesta, mikä siirtyy tuloilmavirtaan, osuus $U_{qv}-U_v$ johtuu ulos rakenteesta (auringonsäteilyn vaikutusta ei oteta huomioon), yksikkö W/m^2K .
- g_v suhteellinen osuus ulkopinnalle osuvasta auringonsäteilyn tehosta, mikä siirtyy tuloilmavirtaan (ainoastaan auringonsäteilyn vaikutus otetaan huomioon, lämpötilaero seinän yli nolla)
- g suhteellinen osuus ulkopinnalle osuvasta auringonsäteilyn tehosta, mikä johtuu ikkunan läpi huonetilaan (ainoastaan auringonsäteilyn vaikutus otetaan huomioon, lämpötilaero seinän yli nolla)

T_v tuloilman lämpötila
 T_u ulkoilman lämpötila
 T_s sisäilman lämpötila.

2. Tuloilmaikkunan energiatekninen toimivuus

Tuloilmaikkunan energiatekninen toimivuus voidaan esittää komponenttitasolla muodossa:

$$\Phi = (U_{qv} - U_v) A \Delta T - g A G_{sol} - g_v A G_{sol} \quad (1)$$

Määräystenmukaisuuden osoituksessa, kun huomioidaan ainoastaan ikkunan lämpöhäviöt eikä huomioida auringonsäteilyn vaikutusta, kaava yksinkertaistuu muotoon:

$$\Phi = (U_{qv} - U_v) A \Delta T \quad (2)$$

Arvot U_{qv} ja U_v ovat ilmavirrasta riippuvia.

Tuloilman lämpenemistä kuvaa lämpenemissuhde ε , jonka perusteella voidaan arvioida huoneeseen ikkunan läpi virtaavan tuloilman lämpötilaa eri ulkoilman olosuhteissa.

$$\varepsilon = \frac{T_v - T_u}{T_s - T_u} \quad (3)$$

3. Vaihtoehdot määräystenmukaisuuden osoittamiseen

3.1. Suunnitteluarvojen käyttäminen lämmöneristysmääräysten 2003 mukaisuuden osoituksessa:

Ympäristöopas 106 esittää vaihtoehtoiset tavat lämmöneristysmääräysten 2003 täyttämisen osoittamiseen. Oppaassa on esitetty 3 vaihtoehtoista tapaa täyttää lämmöneristysvaatimukset (Ympäristöopas 106, s. 13):

Tapa 1: Perusvaatimukset täytetään, kun rakennusosien lämmönläpäisykerroimet ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotto täyttävät määräysten vaatimukset. Ympäristöoppaan 106 Tapaa 1 ei voida soveltaa tuloilmaikkunoiden tapauksessa, koska ilmanvaihdon lämmöntalteenoton perusvaatimus ei täyty. Tuloilmaikkunaa ei voida käyttää varsinaisena lämmöntalteenottolaitteena.

Tapaa 2: Rakennuksen vaipan lämpöhäviöille asetettu vaatimus täytetään, kun tasauslaskelmin osoitetaan, että vaipan lämpöhäviöt eivät ylitä perusvaatimuksen mukaista vertailutasoa ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotto täyttää perusvaatimuksen. Ympäristöoppaan 106 Tapaa 2 ei voida soveltaa tuloilmaikkunoiden tapauksessa, koska ilmanvaihdon lämmöntalteenoton perusvaatimus ei täyty. Tuloilmaikkunaa ei voida käyttää varsinaisena lämmöntalteenottolaitteena.

Tapaa 3: Rakennuksen lämmityksen lämpöenergiatarpeelle asetettu vaatimus täytetään, kun tasauslaskelmin osoitetaan, että rakennuksen vaipan ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö (kokonaislämpöhäviö) tai rakennuksen lämmityksen lämpöenergian tarve ei ylitä perusvaatimuksen mukaista vertailutasoa. Ympäristöoppaan 106 Tapaa 3 sovelletaan tuloilmaikkunoiden tapauksessa.

Tavan 3 tasauslaskennassa täytyy toteutua Ympäristöoppaan 106 liitteen 1 kaavan (10) ehto:

$$\Sigma(U_{is}A_{is}) + 1000(1 - \eta_{as})1,2q_v \leq \Sigma(U_{ip}A_{ip}) + 1000(1 - \eta_{ap})1,2q_v$$

alaindeksi s viittaa suunnitteluarvoihin ja p perusratkaisun (minimitaso) arvoihin.

Tuloilmaikkunan suunnitteluarvot Tapaan 3 on esitetty alla (vaihtoehdot 1, 2 ja 3).

Vaihtoehto 1; hyväksyntä, jossa ei oteta huomioon energian talteenottovaikutusta:

Vaihtoehtoa 1 voidaan käyttää, kun perusikkunan U-arvo $\leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, jolloin laskelmissa käytetään perusikkunan U-arvoa. Lämpöhäviöiden talteenottoa ei oteta huomioon eri energia- ja tehollaskelmissa eli lämpenemissuhteena käytetään $\varepsilon = 0$.

Vaihtoehto 1 on yksinkertaistettu tapa, joka ei edellytä suunnitteluilmavirtaa vastaavien U- ja U_v -arvojen selvittämistä. Toisaalta vaihtoehto ei ota huomioon tuloilmaikkunan energiataloudellisia etuja täysimääräisesti.

Vaihtoehto 2; hyväksyntä, jossa otetaan huomioon energiavirrat vaipan lämpöhäviöiden tasauksessa.

Vaihtoehtoa 2 voidaan käyttää, kun perusikkunan U-arvo $\leq 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, jolloin U-arvona käytetään lämpöhäviökerrointa H (lämpöhäviökerroin $H = U_{qv} - U_v$), energia- ja tehollaskelmissa lämpenemissuhde $\varepsilon = 0$, koska lämmön talteenotto on jo otettu huomioon lämpöhäviökertoimessa tekijällä U_v . Arvot U_{qv} ja U_v ovat ilmavirrasta riippuvia. Laskelmissa niiden arvoina käytetään suunnitteluilmavirtaa (tai suunnittelupaine-eroa) vastaavia arvoja. Tuloilman lämpenemistä voidaan arvioida kaavalla (3).

Vaihtoehto 3; muu osoitus

Vaihtoehto 3 on muu luotettava tapa osoittaa tuloilmaikkunoiden määräystenmukaisuus.

Ympäristöoppaan 106 mukaisten esimerkkilaskelmien taulukkoarvojen kohtaan ikkunat sijoitetaan tarkasteltavan rakennuksen tai sen osan ikkunoiden kokonaispinta-ala ja keskimääräinen U-arvo (vaihtoehtoa 2 käytettäessä keskimääräinen lämpöhäviökerroin H U-arvon sijaan, ks. kaava (4)).

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{tuloilmaikkunaa}}} (A_{ikk,i} (U_{qv} - U_v)) + \sum_{j=1}^{M_{\text{normaalia_ikkunaa}}} A_{ikk,j} U_j}{\sum_{i=1}^{N_{\text{tuloilmaikkunaa}}} A_{ikk,i} + \sum_{j=1}^{M_{\text{normaalia_ikkunaa}}} A_{ikk,j}} \quad (4)$$

4. Suunnitteluparametrien määrittäminen

Ikkunan tuoteominaisuudet määritetään ikkunakoolle 1,2 m x 1,2 m (sallitaan +25 % ylitys mittoihin). U_{qv} - ja U_v -arvot määritetään suunnitellulla ilmavirralla, jolla ikkunaa käytetään. Hyväksyttäviä menetelmiä ovat ns. hot-box-menetelmä (ISO 8990) sekä muut vastaavat menetelmät, joilla on osoitetusti riittävä tarkkuustaso.

Tuloilmaikkunalle tulee esittää ilmavirran ja paine-eron välinen riippuvuus, jotta voidaan osoittaa, että suunnitelluilmavirta on saavutettavissa. Suunnitelluilmavirta on saavutettava alle 30 Pa:n paine-erolla.

Suunnittelussa tulee huolehtia siitä, että rakentamismääräyskokoelman osassa D2 esitetyt huonekohtaiset ilmavirtavaatimukset täyttyvät.

5. Tuloilmaikkunalle asetettuja muita vaatimuksia ja huomioon otettavia asioita

5.1. Ilmamäärä

Tuloilmaikkunalle tulee esittää ilmavirran ja paine-eron välinen riippuvuus, jotta voidaan osoittaa, että suunnitelluilmavirta on saavutettavissa. Suunnitelluilmavirta on saavutettava alle 30 Pa:n paine-erolla. Ilmavirta-paine-erokäyrästä mitataan ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntä- ja testausohjeen määrittelemällä tavalla tai eurooppalaisten tai kansainvälisten standardien mukaisesti. Mikäli venttiilirakenteessa on eri säätöasentoja

tai useita rakenne- ja varustevaihtoehtoja, ilmoitetaan, millä säätöasennolla ja rakenne- ja varustevaihtoehdolla ilmavirta-paine-erokäyrä on mitattu.

5.2. Rakennuksen alipaineisuus

Rakennuksen sisätiloissa on oltava koneellisesti tehty riittävä alipaine ulkoilmaan verrattuna, jotta voidaan varmistua ilman virtaamisesta tuloilmaikkunan läpi ulkoa sisälle.

Tuloilmaikkuna on oltava varustettu laitteella tai rakenteella, joka estää ilman virtaamisen ikkunan läpi huoneilmasta ulkoilmaan. Tämä riski on olemassa, mikäli rakennuksen painesuhteet muuttuvat hetkellisesti esimerkiksi tuuliolojen tai puhaltimen toimintahäiriön vuoksi.

5.3. Ilman puhtaus ja suodatus

Suunnitteluratkaisussa on varmistettava, että tuloilman suodatusta koskevat määräykset ja ohjeet (RakMK osa D2, kohta 3.3) täyttyvät myös tuloilmaikkunalle. Tuloilmaikkunassa on yleensä suodatin ilmakehässä suodattamassa ulkoilman epäpuhtauksia. Suodatinta käytetään myös ikkunan puhdistustarpeen vähentämiseksi erityisesti taajamissa ja teollisuusalueilla.

RakMK osassa D2 luvussa 3.3 todetaan, että:

3.3.1 Tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Oleskelutilojen tuloilma on yleensä suodatettava.

3.3.1.1 Tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimien erotusaste on vähintään 80 % 1,0 µm:n hiukkasilla suodattimen käyttöajan aikana. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on F7.

3.3.1.2 Taajama- ja teollisuusalueiden ulkopuolella sijaitsevien rakennusten tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimena on vähintään karkeasuodatin. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on G4.

5.4. Pintalämpötilat, kondenssialttius ja vedottomuus

Tuloilmaikkunan sisäpinnan pintalämpötila on matalampi kuin vastaavalla perusikkunalla. Suunnittelussa on tarkastettava, ettei tuloilmaikkunan sisäpintaan tiivisty huoneilman kosteutta haitallisia määriä. Tämä voidaan varmistaa esimerkiksi tuloilmaikkunalle tehdyllä kondenssikokeella (osana tyyppihyväksyntämenettelyn mukaisia testejä), jolla varmistetaan, ettei kondenssiongelmaa esiinny tavanomaisissa käyttötilanteissa.

Ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntä- ja testausohjeiden esittämä vaatimus kondensiaalitiuden osalta on: ulkoilmaelimen on oltava sellainen, ettei elimeen mahdollisesti tiivistyvä vesi aiheuta vahinkoja rakenteessa.

Suunnitteluilmavirta voidaan ilmoittaa lisämaininnalla vedoton, mikäli vedottomuus on hyväksyttävästi mitattu puolueettomassa tutkimuslaitoksessa. Venttiilin vedottomuus todennetaan esimerkiksi ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntä- ja testausohjeen mukaisella vetokäyrän mittauksella.

5.5. Ääneneristävyys

Suunnitteluratkaisussa on varmistettava, että ääneneristysvaatimukset täyttyvät myös tuloilmaikkunalle.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 ei ole esitetty täsmällisiä ääneneristysvaatimuksia rakennusosille, vaan vaatimus on esitetty yleisesti:

"Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että melu, jolle rakennuksessa tai sen läheisyydessä altistuvat, pysyy niin alhaisena, ettei se vaaranna näiden henkilöiden terveyttä ja että se antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa."

Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista (993/1992) pykälässä 3§ on sisämelulle ohjearvot:

"Asuin-, potilas- ja majoitushuoneissa on ohjeena, että ulkoa kantautuvasta melusta aiheutuva melutaso sisällä alittaa melun A-painotetun ekvivalenttitason (L_{Aeq}) päiväohjearvon (klo 7–22) 35 dB ja yöohjearvon (klo 22–7) 30 dB. Opetus- ja kokoontumistiloissa sovelletaan ainoastaan melutason päiväohjearvoa 35 dB sekä liike- ja toimistohuoneissa päiväohjearvoa 45 dB."

Edellä mainittujen lisäksi kunnat saattavat joillain alueilla esittää vaatimuksia ulkoseinän osien ääneneristävyydelle kaavamerkinnoissa tai -vaatimuksissa. Tällaisia alueita ovat muun muassa suurten liikenneväylien ympäristöt ja lentomelualueet.

Tuloilmaikkunan ääneneristävyys tulee määrittää standardin mukaisella testillä. Mikäli testatut ominaisuudet pätevät eri tuotevariaatioille, se on selvästi esitettävä dokumenteissa.

5.6. Kesäajan lämpötilojen hallinta

Auringonsäteily lämmittää tuloilmaikkunan lasien välissä sisälle tulevaa ilmaa. Samoin lasirakenne läpäisee suoraan auringonsäteilyä, mikä lämmittää huonetilaa. Ajoittain

tämän ylimääräisen lämpöenergian tuloa voidaan haluta vähentää, jottei huoneilman lämpötila kohoa liian korkeaksi. Suunnittelussa on otettava huomioon RakMK osan D2 kohdan 2.2. lämpötilavaatimukset. Tuloilmaikkunan lasien välissä lämmentyneen ilman lämpöenergian pääsy huonetiloihin voidaan estää johtamalla ulkoilma muuta kautta kuin tuloilmaikkunan lävitse. Ratkaisumalleina on esimerkiksi ulkoilmaventtiilin, tuuletusikkunan tai -luukun avaaminen. Vaihtoehtoisesti tuloilmaikkunassa voi olla toiminto, jota käytettäessä sisälle tuleva ilma otetaan suoraan ulkoa eikä lasien välistä. Lasirakenteen läpi tulevaa suoraa auringonsäteilyä voidaan rajoittaa esimerkiksi säleverhoilla, verhoilla tai auringonsuojalaseilla.

5.7. Rakennuksen tiiviys

Rakennuksen vaipan ilmanpitävyys on varmistettava RakMK osan C3 kohdan 2.3 mukaisesti.

Rakennuksen vaipan tulee olla niin ilmanpitävä, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. RakMK kohdan 2.3.1 selostusosassa todetaan, että ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta rakennuksen ilmanpitävyyden tulisi olla mielellään lähellä arvoa $n_{50} = 1 \text{ 1/h}$ (rakennuksen vaipan läpi virtaa yksi rakennuksen tilavuus tunnissa paine-eron sisä- ja ulkoilman välillä ollessa 50 Pa). Lisäksi ikkunan liittyminen ympäröiviin rakenteisiin tulee olla ilmanpitävä (C3 kohta 2.3.2).

5.8. Käytön ohjeistus

Tuloilmaikkunan käyttö on ohjeistettava asianmukaisella tavalla. Mikäli ikkunassa on toiminto, jota käytettäessä sisälle tuleva ilma otetaan suoraan ulkoa eikä lasien välistä, ohjeistuksella on varmistettava, että toimintoa käytetään ainoastaan lämmityskauden ulkopuolella. Tuloilmaikkunan suodattimien vaihto sekä ilmanvaihtoreittien puhdistus on ohjeistettava.

5.9. Testausmenetelmät

Tuoteominaisuudet ilmoitetaan yleensä yhdelle, samalle tuotteelle. Mikäli testatut ominaisuudet pätevät eri tuotevariaatioille, se on selvästi esitettävä dokumenteissa.

Tuloilmaikkunoiden testausmenetelminä hyväksytään ”Ulkoilmaelimien virtaus- ja äänitekniset tyyppihyväksyntä- ja testausohjeet”, 1988 menetelmät, sekä vastaavat menetelmät, joiden tarkkuustaso ja vertailtavuus ovat osoitettavissa.

Seuraavassa on lueteltu joitakin hyväksyttäviä testausmenetelmiä ja tuotestandardeja, jotka edelleen viittaavat testausmenetelmiin:

Ulkoilmaelimien virtaus- ja äänitekniset tyyppihyväksyntä- ja testausohjeet, 1988. 17 s. + liitt. 1 s.

EN 14351-1:2004 "Industrial, commercial and garage doors and gates – Product Standard – Part 1: Products without fire resistance or smoke control characteristics".

SFS-EN 13141-1. Ventilation for buildings. Performance testing of components /products for residential ventilation. Part 1: Externally and internally mounted air transfer devices. 2004-08-16. 21 s.

SFS-EN 13141-2. Ventilation for buildings. Performance testing of components /products for residential ventilation. Part 2: Exhaust and supply air terminal devices. 2004-08-16. 21 s.

ISO 5221 (1984) Air distribution and air diffusion. Rules to methods of measuring air flow rate in an air handling duct. 1984-01-01. 33 s.

SFS – EN ISO 5167-1:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 1: General principles and requirements. 2003-09-08. 41 s.

SFS – EN ISO 5167-2:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 2: Orifice plates. 2003-09-08. 56 p.

SFS – EN ISO 5167-3:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 3: Nozzles and Venturi nozzles. 2003-09-08. 39 s.

SFS – EN ISO 5167-4:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 4: Venturi tubes. 2003-09-08. 32 s.

SFS – EN ISO 717-1: Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien ääneneristävyyden luokitus. Osa 1: Ilmaääneneristävyys. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. 1996-12-05. 40 s.

SFS – EN ISO 140-3:1995 Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien ääneneristävyyden mittaaminen. Osa 3: Rakennusosien ilmaääneneristävyyden laboratorio-mittaukset. Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. 1995-09-25. 20 s.

SFS – EN ISO 12567-1 Ikkunoiden ja ovien lämpötekniset ominaisuudet. Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen hot-box menetelmällä. Osa 1: Valmiit ikkunat ja ovet. Thermal performance of windows and doors. Determination of thermal transmittance by hot box method. Part 1: Complete windows and doors. 2000-12-22. 49 s.

6. Esimerkkilaskelmat Ympäristöoppaan 106 menettelytavalla toteutettuna

6.1. Pientaloesimerkki

Esimerkkikohteena lasketaan pientaloesimerkki 3 (Ympäristöopas 106, s. 49), jota on muutettu siten, että tuloilmaikkunoita käytetään osassa rakennuksen ikkunoista. Ilmanvaihto on koneellisen poiston järjestelmä eli LTO:ta ei ole.

Perustietoja:

- kerrosala 165 m²
- ulkoseinien U-arvo 0,25 W/m²K, pinta-ala 128 m²
- yläpohjan U-arvo 0,25 W/m²K, pinta-ala 165 m²
- alapohjan U-arvo 0,25 W/m²K, pinta-ala 165 m²
- ulko-ovien U-arvo 1,4 W/m²K, pinta-ala 6 m²
- ikkunoita 24,8 m²:
 - tuloilmaikkunoita 14 m², joista ilmavirta 49 L/s (3,5 L/s/m²), H = U_{qv}-U_v = 1,0 W/m²K,
 - 4 L/s seinäventtiilistä tai rakojen kautta
 - muut ikkunat 10,8 m² U = 1,4 W/m²K.
- oletetaan poistoilmavirta suuremmaksi kuin tuloilmavirta, oletusarvona poiston ilmavirta 53 L/s.
- hallitsematon vuotoilmanvaihto, ilmanvaihtokerroin 0,1 1/h.

Lasketaan ikkunan keskimääräinen U-arvo Ympäristöoppaan 106 laskentapohjaan kaavalla:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{tuloilmaikkunaa}}} (A_{\text{ikk},i} (U_{qv} - U_v)) + \sum_{j=1}^{M_{\text{normaalia_ikkunaa}}} A_{\text{ikk},j} U_j}{\sum_{i=1}^{N_{\text{tuloilmaikkunaa}}} A_{\text{ikk},i} + \sum_{j=1}^{M_{\text{normaalia_ikkunaa}}} A_{\text{ikk},j}}$$

$$U = (1,0 * 14 + 1,4 * 10,8) / (14 + 10,8) = 1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sijoittamalla lukuarvot laskentapohjaan (taulukko 1 ja taulukko 2) huomataan, että suunnitteluratkaisu ei täyty vaatimuksia. Perusvaatimus lämmöntalteenotosta ei täyty, ja vaipan lämpöhäviöiden pieneneminen ei riitä kattamaan ilmanvaihdon lämmöntalteenoton perusvaatimusta.

Parannusvaihtoehto 1:

Parannetaan yläpohjaa $U = 0,125 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja alapohjaa $U = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tällöin suunnitteluratkaisu täyttää laajennetun lämpöhäviöiden tasauksen vaatimuksen (taulukot 3 ja 4).

Parannusvaihtoehto 2:

Parannetaan ikkunoita (muut kuin tuloilmaikkunat) $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, ulko-ovia $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ sekä yläpohjaa $U = 0,125 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lasketaan ikkunan keskimääräinen U -arvo Ympäristöoppaan 106 laskentapohjaan: $U = (1,0 * 14 + 1,0 * 10,8) / (14 + 10,8) = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (14 m² tuloilmaikkunoita ja 10,8 m² tavallisia ikkunoita).

Tällöin suunnitteluratkaisu täyttää laajennetun lämpöhäviöiden tasauksen vaatimuksen (taulukot 5 ja 6).

6.2. Asuinkerrostalo

Esimerkkinä lasketaan 3-kerroksinen kerrostaloesimerkki (Ympäristöopas 106, s. 57), jota on hieman muutettu.

Perustietoja:

- kerrosala on 1350 m²
- talossa on 17 huoneistoa
- ulkoseinien U -arvo on 0,25 W/m²K, pinta-ala 633 m² (ulkoseinä on perusvaatimuksen mukainen)
- yläpohjan U -arvo on 0,16 W/m²K, pinta-ala 444 m²
- alapohjan U -arvo on 0,20 W/m²K, pinta-ala 444 m², rajoittuu ryömintätilaan
- ulko-ovet 46 m², U -arvo 1,4 W/m²K
- ikkunoiden pinta-ala on 203 m²
- hallitsematon vuotoilmanvaihto 0,1 1/h vastaa ilmavirtaa 0,086 m³/s.

Taulukoissa 7 on esitetty laskelmat, kun ikkunat ovat perusratkaisun vaatimia $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja tuloilma otetaan suoraan ulkoa ilman lämmöntalteenottoa. Huomataan, että ratkaisu ei täytä vaatimuksia, koska lämmöntalteenoton vaatimus ei täyty, eikä sitä kompensoida millään (taulukko 8). Ominaislämpöhäviö suunnitteluratkaisussa on 155,5 W/K suurempi kuin perusratkaisussa.

Korvataan ikkunat osittain tuloilmaikkunoilla

- tuloilmaikkunoita 150 m^2 , joista otetaan tarvittava tuloilmavirta $0,5 \text{ l/h}$ ($0,432 \text{ m}^3/\text{s}$ eli $3 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{ikkuna-m}^2$), $H = U_{qv} - U_v = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

- muut ikkunat 53 m^2 , U-arvo $1,4 \text{ m}^2$.

Lasketaan ikkunan keskimääräinen U-arvo Ympäristöoppaan 106 laskentapohjaan kaavalla:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{tuloilmaikkunaa}}} (A_{\text{ikk},i} (U_{qv} - U_v)) + \sum_{j=1}^{M_{\text{normaaliala_ikkunaa}}} A_{\text{ikk},j} U_j}{\sum_{i=1}^{N_{\text{tuloilmaikkunaa}}} A_{\text{ikk},i} + \sum_{j=1}^{M_{\text{normaaliala_ikkunaa}}} A_{\text{ikk},j}}$$

$$U = (1,0 * 150 + 1,4 * 53) / (150 + 53) = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sijoittamalla lukuarvot taulukkoon (taulukko 9 ja 10) huomataan, että suunnitteluratkaisu ei täytä vaatimuksia.

Parannetaan myös muita ikkunoita U-arvoon $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, jolloin keskimääräiseksi ikkunoiden U-arvoksi saadaan

$$U = (1,0 * 150 + 1,1 * 53) / (150 + 53) = 1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty laskentatulokset. Huomataan, että suunnitteluratkaisu ei täytä vaatimuksia. Pelkästään ikkunoita parantamalla on vaikeaa kompensoida lämmön talteenoton puuttumista.

Edelleen parannetaan ulko-ovia U-arvoon $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ulkoseinää U-arvoon $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$, jolloin suunnitteluratkaisu täyttää vaatimukset (taulukot 13 ja 14).

Mikäli halutaan käyttää puuttuvan ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tasauksessa pelkästään ikkunoiden ja ovien lämmöneristävyyden parantamista, huomataan, että jos ovia parannetaan U-arvoon $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, ikkunoiden keskimääräiseksi U-arvoksi täytyy saada $U = 0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ (taulukko 15).

Lähde

Ympäristöopas 106. Nyman, M. Saari, M. & Kokko, E. Lämmöneristysmääräysten 2003 täyttäminen. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. (2003).

Taulukko 1

Kohde: Pientaloesimerkki 3 + tuloilmaikkunat
Tilaja: ET-TULO -projekti

Laskija: I.H.
Päiväys: 24.4.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	500	rak -m ³	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	165	krs -m ²	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	140	m ²	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	378	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/m ² K [U]			
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Maks	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä	128,0	128,0	0,25		0,60	0,25
Yläpohja	165,0	165,0	0,16		0,60	0,16
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16		0,60	
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	0,0	0,0	0,20		0,60	
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	165,0	165,0	0,25	0,15	0,60	0,25
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25		0,60	
Ikkunat	24,8	24,8	1,40		1,80	1,17
Ulko-ovet	6,0	6,0	1,40		-	1,40
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50		1,80	
Puolilämpimät tilat						
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40		0,60	
Yläpohja	0,0	0,0	0,30		0,60	
Alapohja	0,0	0,0	0,30		0,60	
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60	
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36		0,60	
Ikkunat	0,0	0,0	1,80		2,80	
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80		-	
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45	
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80	
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	488,8	488,8				
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0				

2. Vaipan lämpöhäviöiden taseus

Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
32,0	32,0
26,4	26,4
0,0	0,0
0,0	0,0
41,3	41,3
0,0	0,0
34,7	29,0
8,4	8,4
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
142,7	137,1
0,0	0,0

Ilmanvaihto

Hallittu ilmanvaihto	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat	0,0530		30	0
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,0000		0	0
Puolilämpimät tilat	0,0000		30	0
Vuotoilmanvaihto				
Lämpimät tilat	0,0105			
Puolilämpimät tilat	0,0000			

Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2 * 1000 * q_v * (1-η_a)]

Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
44,5	63,6
0,0	0,0
0,0	0,0
12,6	12,6
0,0	0,0

3. Laajennettu lämpöhäviöiden taseus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	199,8	213,3
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 2

Määraysten mukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Pinta-alavaatimukset</i>				
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	x		15 %	15 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	x		50 %	16 %
G1: valoaukon pinta-ala on asuuhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-ala			(Suunnittelijan ilmoitus)	
<i>Rakennusosien U-arvo vaatimukset</i>				
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimuksia	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>			Vaatimus- arvo	u arvo
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %			30 %	0 %
-lämpimissä tiloissa		x	0 %	0 %
-puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset?		x		
Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla				
			Ei täyttä vaatimuksia	

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Rakennusosien U-arvojen vaatimus:</i>				
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Maks)	x			
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	x			
<i>Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen			142,7 W/K	137,1 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>				
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		x		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset?		x		
Mikäli vaipan lämpöhäviö vaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettu lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman lämmöntalteenotto parantamalla.				
			Ei täyttä vaatimuksia	

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Vaipan ominaislämpöhäviö enintään 10 % perusratkaisua suurempi			110 %	96 %
- lämpimissä tiloissa	x		110 %	0 %
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen:			199,8 W/K	213,3 W/K
- lämpimissä tiloissa		x	0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetun lämpöhäviövaatimuksen?		x		
Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen.				
			Ei täyttä vaatimuksia	

Taulukko 3

Kohde: Pientaloesimerkki 3 + tuloilmaikkunat + hyvä YP ja AP
Tilaja: ET-TULO -projekti

Laskija: I.H.
Päiväys: 24.4.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	500	rak -m ³	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	165	krs -m ²	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	140	m ²	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	378	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/m ² K [U]				2. Vaipan lämpöhäviöiden taseus	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Maks	Suunnittelu- ratkaisu	Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
Lämpimät tilat							Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Ulkoseinä	128,0	128,0	0,25		0,60	0,25	32,0	32,0
Yläpohja	165,0	165,0	0,16		0,60	0,125	26,4	20,6
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16		0,60		0,0	0,0
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	0,0	0,0	0,20		0,60		0,0	0,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	165,0	165,0	0,25	0,15	0,60	0,20	41,3	33,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	24,8	24,8	1,40		1,80	1,17	34,7	29,0
Ulko-ovet	6,0	6,0	1,40		-	1,40	8,4	8,4
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50		1,80		0,0	0,0
Puolilämpimät tilat								
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40		0,60		0,0	0,0
Yläpohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60		0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	0,0	0,0	1,80		2,80		0,0	0,0
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80		-		0,0	0,0
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45			
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80			
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	488,8	488,8					142,7	123,0
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0					0,0	0,0

Ilmanvaihto	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2 * 1000 * q _v * (1-η _a)]	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,0530		30	0	44,5	63,6
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,0000		0	0	0,0	0,0
Puolilämpimät tilat	0,0000		30	0	0,0	0,0
Vuotoilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,0105				12,6	12,6
Puolilämpimät tilat	0,0000				0,0	0,0

3. Laajennettu lämpöhäviöiden taseus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	199,8	199,2
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 4

Määräysten mukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Pinta-alavaatimukset</i>				
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	x		15 %	15 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	x		50 %	16 %
G1: valoaukon pinta-ala on asuuhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-alasta			(Suunnittelijan ilmoitus)	
<i>Rakennusosien U-arvo vaatimukset</i>				
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimuksia	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>			Vaatimus- arvo	Sunnittelu- arvo
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %			30 %	0 %
-lämpimissä tiloissa		x	0 %	0 %
-puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset?		x		
Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla				
			Ei täyttä vaatimuksia	

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Rakennusosien U-arvojen vaatimus:</i>				
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Maks)	x			
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	x			
<i>Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen			142,7 W/K	123,0 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>				
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		x		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset?		x		
Mikäli vaipan lämpöhäviö vaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettu lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman lämmöntalteenotto parantamalla.				
			Ei täyttä vaatimuksia	

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Vaipan ominaislämpöhäviö enintään 10 % perusratkaisua suurempi			110 %	86 %
- lämpimissä tiloissa	x		110 %	0 %
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen:			199,8 W/K	199,2 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetun lämpöhäviövaatimuksen?	x			
Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen.				
			Täyttää vaatimukset	

Taulukko 5

Kohde: Pientaloiesimerkki 3+tuloilmaikkunat+hyvät YP, ovet ja ikkunat
Tilaja: ET-TULO -projekti

Laskija: I.H.
Päiväys: 24.4.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	500	rak -m ³	Mitoittava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	165	kras -m ²	Mitoittava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	140	m ²	Mitoittava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	378	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/m ² K [U]			
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Maks	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä	128,0	128,0	0,25		0,60	0,25
Yläpohja	165,0	165,0	0,16		0,60	0,13
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16		0,60	
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	0,0	0,0	0,20		0,60	
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	165,0	165,0	0,25	0,15	0,60	0,25
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25		0,60	
Ikkunat	24,8	24,8	1,40		1,80	1,00
Ulko-ovet	6,0	6,0	1,40		-	0,70
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50		1,80	
Puolilämpimät tilat						
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40		0,60	
Yläpohja	0,0	0,0	0,30		0,60	
Alapohja	0,0	0,0	0,30		0,60	
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60	
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36		0,60	
Ikkunat	0,0	0,0	1,80		2,80	
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80		-	
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45	
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80	
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	488,8	488,8				
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0				
Ilmanvaihto						
	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]			
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu		
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,0530		30	0		
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,0000		0	0		
Puolilämpimät tilat	0,0000		30	0		
Vuotoilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,0105					
Puolilämpimät tilat	0,0000					

2. Vaipan lämpöhäviöiden tasaus

Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
32,0	32,0
26,4	20,6
0,0	0,0
0,0	0,0
41,3	41,3
0,0	0,0
34,7	24,8
8,4	4,2
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
142,7	122,9
0,0	0,0

Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2 * 1000 * q_v * (1-η_a)]

Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
44,5	63,6
0,0	0,0
0,0	0,0
12,6	12,6
0,0	0,0

3. Laajennettu lämpöhäviöiden tasaus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	199,8	199,1
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintötilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 6

Määräysten mukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Pinta-alavaatimukset</i>				
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	x		15 %	15 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	x		50 %	16 %
G1: valoaukon pinta-ala on asuuhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-alasta			(Suunnittelijan ilmoitus)	
<i>Rakennusosien U-arvo vaatimukset</i>				
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimuksia	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>			Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %			30 %	0 %
-lämpimissä tiloissa		x		
-puolilämpimissä tiloissa	x		0 %	0 %
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset?		x		
Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli perusvaatimukset eivät täytyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta.				
Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla				
			Ei täyttä vaatimuksia	

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Rakennusosien U-arvojen vaatimus:</i>				
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Maks)	x			
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	x			
<i>Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen				
- lämpimissä tiloissa	x		142,7 W/K	122,9 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>				
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		x		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset?		x		
Mikäli vaipan lämpöhäviö vaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli vaipan vaatimukset eivät täytyneet, tarvitaan laajennettu lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman lämmöntalteenotto parantamalla.				
			Ei täyttä vaatimuksia	

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Vaipan ominaislämpöhäviö enintään 10 % perusratkaisua suurempi				
- lämpimissä tiloissa	x		110 %	86 %
- puolilämpimissä tiloissa	x		110 %	0 %
<i>Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen:				
- lämpimissä tiloissa	x		199,8 W/K	199,1 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetun lämpöhäviövaatimuksen?	x			
Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen.				
			Täyttää vaatimukset	

Taulukko 7

Kohde: Kerrostaloesimerkki, ei lämmön talteenottoa
Tilaja: ET-TULO -projekti

Laskija: I.H.
Päiväys: 29.6.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	4 500	rak -m ³	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	1 350	kr -m ²	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	1 150	m ²	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	3 105	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/m ² K [U]				2. Vaipan lämpöhäviöiden taseus	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Maks	Suunnittelu- ratkaisu	Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Maks	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat								
Ulkoseinä	633,0	633,0	0,25		0,60	0,25	158,3	158,3
Yläpohja	444,0	444,0	0,16		0,60	0,16	71,0	71,0
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16		0,60		0,0	0,0
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	444,0	444,0	0,20		0,60	0,20	71,0	71,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)			0,25	0,15	0,60	0,25	0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	203,0	203,0	1,40		1,80	1,40	284,2	284,2
Ulko-ovet	46,0	46,0	1,40		-	1,40	64,4	64,4
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50		1,80		0,0	0,0
Puolilämpimät tilat								
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40		0,60		0,0	0,0
Yläpohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60		0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	0,0	0,0	1,80		2,80		0,0	0,0
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80		-		0,0	0,0
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45			
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80			
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	1 770,0	1 770,0					648,9	648,9
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0					0,0	0,0

Ilmanvaihto

Hallittu ilmanvaihto	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2 * 1000 * q _v * (1-η _a)]	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat	0,4320		30	0	362,9	518,4
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,2000		0	0	240,0	240,0
Puolilämpimät tilat	0,0000		30	0	0,0	0,0
Vuotoilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,0860				103,2	103,2
Puolilämpimät tilat	0,0000				0,0	0,0

3. Laajennettu lämpöhäviöiden taseus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	1 355,0	1 510,5
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 8

Määraysten mukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Pinta-alavaatimukset</i>				
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	x		15 %	15 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	x		50 %	23 %
G1: valoaukon pinta-ala on asuuhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-ala			(Suunnittelijan ilmoitus)	
<i>Rakennusosien U-arvo vaatimukset</i>				
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimuksia	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>			Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %			30 %	0 %
-lämpimissä tiloissa		x	0 %	0 %
-puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset?		x		
Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla				
	Ei täyttä vaatimuksia			

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Rakennusosien U-arvojen vaatimus:</i>				
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Maks)	x			
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	x			
<i>Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen			648,9 W/K	648,9 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>				
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		x		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset?		x		
Mikäli vaipan lämpöhäviö vaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettu lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman lämmöntalteenotto parantamalla.				
	Ei täyttä vaatimuksia			

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Vaipan ominaislämpöhäviö enintään 10 % perusratkaisua suurempi			110 %	100 %
- lämpimissä tiloissa	x		110 %	0 %
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen:			1 355,0 W/K	1 510,5 W/K
- lämpimissä tiloissa		x	0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetun lämpöhäviövaatimuksen?		x		
Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen.				
	Ei täyttä vaatimuksia			

Taulukko 9

Kohde: Kerrostaloesimerkki, ei lämmön talteenottoa, tuloilmaikkunat
Tilaja: ET-TULO -projekti

Laskija: I.H.
Päiväys: 29.6.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	4 500	rak -m ³	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	1 350	kr -m ²	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	1 150	m ²	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	3 105	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/m ² K [U]				2. Vaipan lämpöhäviöiden taseus	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Maks	Suunnittelu- ratkaisu	Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
							Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat								
Ulkoseinä	633,0	633,0	0,25		0,60	0,25	158,3	158,3
Yläpohja	444,0	444,0	0,16		0,60	0,16	71,0	71,0
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16		0,60		0,0	0,0
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	444,0	444,0	0,20		0,60	0,20	71,0	71,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)			0,25	0,15	0,60	0,25	0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	203,0	203,0	1,40		1,80	1,10	284,2	223,3
Ulko-ovet	46,0	46,0	1,40		-	1,40	64,4	64,4
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50		1,80		0,0	0,0
Puolilämpimät tilat								
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40		0,60		0,0	0,0
Yläpohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60		0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	0,0	0,0	1,80		2,80		0,0	0,0
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80		-		0,0	0,0
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45			
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80			
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	1 770,0	1 770,0					648,9	588,0
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0					0,0	0,0
Ilmanvaihto								
Hallittu ilmanvaihto	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2 * 1000 * q _v * (1-η _a)]			
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu		
Lämpimät tilat	0,4320		30	0	362,9	518,4		
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,2000		0	0	240,0	240,0		
Puolilämpimät tilat	0,0000		30	0	0,0	0,0		
Vuotoilmanvaihto								
Lämpimät tilat	0,0860				103,2	103,2		
Puolilämpimät tilat	0,0000				0,0	0,0		

3. Laajennettu lämpöhäviöiden taseus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	1 355,0	1 449,6
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 10

Määraysten mukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Pinta-alavaatimukset</i>				
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	x		15 %	15 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	x		50 %	23 %
G1: valoaukon pinta-ala on asuishuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-ala			(Suunnittelijan ilmoitus)	
<i>Rakennusosien U-arvo vaatimukset</i>				
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimuksia	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>			Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %			30 %	0 %
-lämpimissä tiloissa		x	0 %	0 %
-puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset?		x		
Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla	Ei täyttä vaatimuksia			

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Rakennusosien U-arvojen vaatimus:</i>				
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Maks)	x			
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	x			
<i>Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen			648,9 W/K	588,0 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>				
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		x		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset?		x		
Mikäli vaipan lämpöhäviö vaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettu lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman lämmöntalteenotto parantamalla.	Ei täyttä vaatimuksia			

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Vaipan ominaislämpöhäviö enintään 10 % perusratkaisua suurempi			110 %	91 %
- lämpimissä tiloissa	x		110 %	0 %
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen:			1 355,0 W/K	1 449,6 W/K
- lämpimissä tiloissa		x	0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetun lämpöhäviövaatimuksen?		x		
Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen.				
	Ei täyttä vaatimuksia			

Taulukko 11

Kohde: Kerrostaloesimerkki, ei lämmön talteenottoa, tuloilmaikkunat
Tilaaja: ET-TULO -projekti

Laskija: I.H.
Päiväys: 29.6.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	4 500	rak -m ³	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	1 350	kras -m ²	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	1 150	m ²	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	3 105	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/m ² K [U]				2. Vaipan lämpöhäviöiden tasaus	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min	Maks	Suunnittelu- ratkaisu	Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
<i>Lämpimät tilat</i>							Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Ulkoseinä	633,0	633,0	0,25		0,60	0,25	158,3	158,3
Yläpohja	444,0	444,0	0,16		0,60	0,16	71,0	71,0
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16		0,60		0,0	0,0
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	444,0	444,0	0,20		0,60	0,20	71,0	71,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)			0,25	0,15	0,60	0,25	0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	203,0	203,0	1,40		1,80	1,03	284,2	209,1
Ulko-ovet	46,0	46,0	1,40		-	1,40	64,4	64,4
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50		1,80		0,0	0,0
<i>Puolilämpimät tilat</i>								
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40		0,60		0,0	0,0
Yläpohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60		0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	0,0	0,0	1,80		2,80		0,0	0,0
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80		-		0,0	0,0
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45			
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80			
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	1 770,0	1 770,0					648,9	573,8
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0					0,0	0,0
Ilmanvaihto	Ilmavirta, m ³ /s [q _v]		LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]				Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2 * 1000 * q _v * (1-η _a)]	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu			Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto	0,4320		30			0	362,9	518,4
Lämpimät tilat	0,2000					0	240,0	240,0
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,0000		30			0	0,0	0,0
Puolilämpimät tilat								
Vuotoilmanvaihto	0,0860						103,2	103,2
Lämpimät tilat	0,0000						0,0	0,0
Puolilämpimät tilat								

3. Laajennettu lämpöhäviöiden tasaus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	1 355,0	1 435,4
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 12

Määraysten mukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Pinta-alavaatimukset</i>				
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	x		15 %	15 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	x		50 %	23 %
G1: valoaukon pinta-ala on asuuhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-ala			(Suunnittelijan ilmoitus)	
<i>Rakennusosien U-arvo vaatimukset</i>				
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimuksia	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>			Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %			30 %	0 %
-lämpimissä tiloissa		x	0 %	0 %
-puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset?		x		
Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla				
			Ei täyttä vaatimuksia	

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Rakennusosien U-arvojen vaatimus:</i>				
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Maks)	x			
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	x			
<i>Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen			648,9 W/K	573,8 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>				
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		x		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset?		x		
Mikäli vaipan lämpöhäviö vaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettu lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman lämmöntalteenotto parantamalla.				
			Ei täyttä vaatimuksia	

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Vaipan ominaislämpöhäviö enintään 10 % perusratkaisua suurempi			110 %	88 %
- lämpimissä tiloissa	x		110 %	0 %
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen:			1 355,0 W/K	1 435,4 W/K
- lämpimissä tiloissa		x	0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetun lämpöhäviövaatimuksen?		x		
Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen.				
			Ei täyttä vaatimuksia	

Taulukko 13

Kohde: Kerrostaloesim., ei LTOa, tuloilmaikk., paremmat ovet ja seinä Laskija: I.H.
Tilaja: ET-TULO -projekti Päiväys: 29.6.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	4 500	rak -m ³	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	1 350	kras -m ²	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	1 150	m ²	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	3 105	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/m ² K			
	[A]		Perus-ratkaisu	[U]		Suunnittelu-ratkaisu
	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu		Min	Maks	
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	633,0	633,0	0,25	0,60	0,19	
Yläpohja	444,0	444,0	0,16	0,60	0,16	
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16	0,60		
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	444,0	444,0	0,20	0,60	0,20	
Alapohja (maavarainen, matalaper.)			0,25	0,15	0,60	0,25
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25	0,60		
Ikkunat	203,0	203,0	1,40	1,80	1,03	
Ulko-ovet	46,0	46,0	1,40	-	0,50	
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50	1,80		
<i>Puolilämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40	0,60		
Yläpohja	0,0	0,0	0,30	0,60		
Alapohja	0,0	0,0	0,30	0,60		
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60	
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36	0,60		
Ikkunat	0,0	0,0	1,80	2,80		
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80	-		
Väliseinä ja välipohja			0,45	0,45		
Ikkunat ja ovet			2,80	2,80		
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	1 770,0	1 770,0				
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0				

2. Vaipan lämpöhäviöiden taseus

Ominaislämpöhäviöt, W/K	
[A * U]	
Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
158,3	119,0
71,0	71,0
0,0	0,0
71,0	71,0
0,0	0,0
0,0	0,0
284,2	209,1
64,4	23,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
648,9	493,2
0,0	0,0

Ilmanvaihto

	Ilmavirta, m ³ /s		LTO:n vuosiyötysuhde, %		Ominaislämpöhäviöt, W/K	
	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	Perus-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
<i>Hallittu ilmanvaihto</i>						
Lämpimät tilat	0,4320		30	0	362,9	518,4
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)	0,2000		0	0	240,0	240,0
Puolilämpimät tilat	0,0000		30	0	0,0	0,0
<i>Vuotoilmanvaihto</i>						
Lämpimät tilat	0,0860				103,2	103,2
Puolilämpimät tilat	0,0000				0,0	0,0

3. Laajennettu lämpöhäviöiden taseus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	1 355,0	1 354,8
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintötilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Taulukko 14

Määraysten mukaisuuden tarkistuslista

1. Perusvaatimukset	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Pinta-alavaatimukset</i>				
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 15 % kerrosalasta	x		15 %	15 %
Ikkunapinta-ala saa olla enintään 50 % ulkoseinien bruttoalasta	x		50 %	23 %
G1: valoaukon pinta-ala on asuishuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-ala			(Suunnittelijan ilmoitus)	
<i>Rakennusosien U-arvo vaatimukset</i>				
U-arvot eivät ylitä määräysten perusvaatimuksia	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>			Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %			30 %	0 %
-lämpimissä tiloissa		x	0 %	0 %
-puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu perusvaatimukset?		x		
Mikäli kaikki perusvaatimukset täyttyivät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli perusvaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan vaipan lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat vaipan lämpöhäviöt tasataan muuta vaippaa parantamalla				
	Ei täyttä vaatimuksia			

2. Vaatimukset vaipan lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Rakennusosien U-arvojen vaatimus:</i>				
U-arvot eivät ylitä suurimpia sallittuja arvoja (Maks)	x			
Matalaperusteisen alapohjan U-arvot eivät alita pienimpiä sallittuja arvoja (Min)	x			
<i>Rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen			648,9 W/K	493,2 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen vaatimukset:</i>				
LTO:n vuosihyötysuhde on vähintään 30 %		x		
Täyttääkö suunnitteluratkaisu vaipan lämpöhäviövaatimukset?		x		
Mikäli vaipan lämpöhäviö vaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen eikä lisäselvityksiä tai laskelmia tarvita.				
Mikäli vaipan vaatimukset eivät täyttyneet, tarvitaan laajennettu lämpöhäviöiden tasausta. Siinä sallittua suuremmat lämpöhäviöt tasataan joko vaippaa parantamalla tai jäteilman lämmöntalteenotto parantamalla.				
	Ei täyttä vaatimuksia			

3. Vaatimukset laajennettuun lämpöhäviöiden tasaukseen	Täyttykö?		Vaatimus- arvo	Suunnittelu- arvo
	Kyllä	Ei		
<i>Suunnitteluratkaisun rakennusosien lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Vaipan ominaislämpöhäviö enintään 10 % perusratkaisua suurempi			110 %	76 %
- lämpimissä tiloissa	x		110 %	0 %
- puolilämpimissä tiloissa	x			
<i>Rakennusosien ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden vaatimukset:</i>				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään perusratkaisun suuruinen:			1 355,0 W/K	1 354,8 W/K
- lämpimissä tiloissa	x		0,0 W/K	0,0 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	x			
Täyttääkö suunnitteluratkaisu laajennetun lämpöhäviövaatimuksen?	x			
Mikäli kaikki laajennetut lämpöhäviövaatimukset täyttyvät, suunnitteluratkaisu on määräysten mukainen.				
	Täyttää vaatimukset			

Taulukko 15

Kohde: Kerrostaloesimerkki, ei lämmön talteenottoa, tuloilmaikkunat
Tilaja: ET-TULO -projekti

Laskija: I.H.
Päiväys: 29.6.2005

Yleistiedot:

Rakennustilavuus	4 500	rak -m ³	Mitoitettava sisälämpötila	21	°C
Kerrosala	1 350	kr -m ²	Mitoitettava sisälämpötila (puolilämmin)	16	°C
Lämmin huonetila	1 150	m ²	Mitoitettava ulkolämpötila	-26	°C
Kerroskorkeus	3,0	m			
Huonekorkeus	2,7	m			
Lämmin ilmatilavuus	3 105	m ³			
Puolilämmin ilmatilavuus	0	m ³			

1. Perusvaatimukset

Rakennusosat	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/m ² K [U]				2. Vaipan lämpöhäviöiden taseus	
	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Min		Suunnittelu- ratkaisu	Ominaislämpöhäviöt, W/K [A * U]	
				Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu		Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat								
Ulkoseinä	633,0	633,0	0,25		0,60	0,25	158,3	158,3
Yläpohja	444,0	444,0	0,16		0,60	0,16	71,0	71,0
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,0	0,0	0,16		0,60		0,0	0,0
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹	444,0	444,0	0,20		0,60	0,20	71,0	71,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)			0,25	0,15	0,60	0,25	0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,25		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	203,0	203,0	1,40		1,80	0,83	284,2	168,5
Ulko-ovet	46,0	46,0	1,40		-	0,50	64,4	23,0
Kattoikkunat	0,0	0,0	1,50		1,80		0,0	0,0
Puolilämpimät tilat								
Ulkoseinä	0,0	0,0	0,40		0,60		0,0	0,0
Yläpohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja	0,0	0,0	0,30		0,60		0,0	0,0
Alapohja (maavarainen, matalaper.)	0,0	0,0	0,36	0,25	0,60		0,0	0,0
Muu maanvastainen rakennusosa	0,0	0,0	0,36		0,60		0,0	0,0
Ikkunat	0,0	0,0	1,80		2,80		0,0	0,0
Ulko-ovet	0,0	0,0	1,80		-		0,0	0,0
Väliseinä ja välipohja			0,45		0,45			
Ikkunat ja ovet			2,80		2,80			
Lämpimät tilat yhteensä (vaippa)	1 770,0	1 770,0					648,9	491,8
Puolilämpimät tilat yhteensä (vaippa)	0,0	0,0					0,0	0,0
Ilmanvaihto								
		Ilmavirta, m ³ /s [q _v]	LTO:n vuosiyötysuhde, % [η _a]				Ominaislämpöhäviöt, W/K [1,2 * 1000 * q _v * (1-η _a)]	
		Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Perus- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto								
Lämpimät tilat		0,4320		30	0	362,9	518,4	
Lämpimät toissijaiset tilat (ei LTO:a)		0,2000		0	0	240,0	240,0	
Puolilämpimät tilat		0,0000		30	0	0,0	0,0	
Vuotoilmanvaihto								
Lämpimät tilat		0,0860				103,2	103,2	
Puolilämpimät tilat		0,0000				0,0	0,0	

3. Laajennettu lämpöhäviöiden taseus

Lämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	1 355,0	1 353,4
Puolilämpimien tilojen rakennusosien ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöt yhteensä	0,0	0,0

¹⁾ Lämpimissä tiloissa ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviöt kerrotaan luvulla 0,8 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Tekijä(t) Heimonen, Ismo & Hemmilä, Kari			
Nimeke Tuloilmaikkunan energiatehokkuus			
Tiivistelmä Korjaus- ja uudisrakentamisen tarpeita silmällä pitäen on kehitetty tuloilmaikkuna niihin koneellisen poiston järjestelmällä varustettuihin rakennuksiin, joissa ei ole muita korvausilman tuloreittejä. Tämä ikkunatyyppi tuo poistoilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen erityispiirteitä, joilla toteutus on joissakin tapauksissa kilpailukykyinen vaihtoehto koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kanssa. Ulkoilman sisäänjohtaminen ja integrointi ikkunaan on erittäin kustannustehokas ja yksinkertaistettu ratkaisu korjausrakentamisessa erityisesti, kun yhdistetään ikkuna- ja ilmanvaihtosaneeraus. Tämän tutkimuksen päämääränä oli esittää toteutusmallit energiatehokkaille tuloilmaikkunoille. Tavoitteena oli osoittaa tuloilmaikkunoiden energiatehokkuus, siihen vaikuttavat tekijät ja tuotekehityisperusteet sekä esittää ja dokumentoida menetelmät, joilla suunnitteluparametrit tuotetaan ja viedään lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittaviin laskelmiin. Tutkimuksessa on selvitetty tuloilmaikkunoiden energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, joita ovat ikkunan lasirakenne, virtausreitit, virtausaukkojen muoto ja koko sekä ikkunan koko ja muoto. Ikkunoiden lämmönläpäisykerroin voidaan määrittää kokeellisesti tai laskennallisesti. Standardin mukainen laskentamenetelmä havaittiin soveltumattomaksi tuloilmaikkunoiden lämmönläpäisykerroimen määrittämiseen. Tutkimuksessa esitetään kuvaukset tuloilmaikkunan tehollisen lämmönläpäisykerroimen määrittämiseen hot-box- sekä PASLINK-mittausmenetelmillä. Tutkimus osoitti käytettyjen mittausmenetelmien hyvät ja huonot puolet sekä jatkokehitystarpeet. Mittaukset osoittivat, että MSE-tyyppisen lasituksen tehollinen lämmönläpäisykerroin $H = U - U_v$ ilmavirralla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ on noin $1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (vastaavan rakenteen lämmönläpäisykerroin tiiviinä, ilman ilmavirtaa rakenteen läpi on noin $1,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$). Lämpenemissuhde samalla ilmavirralla oli noin 43 %. MSK-tyyppisellä lasituksella (ilmakierto kahden lasivälän kautta) mitattu tehollinen lämmönläpäisykerroin on hieman parempi kuin MSE-tyyppisellä lasituksella. Tehollinen lämmönläpäisykerroin ilmavirralla $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ on alle $0,9 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Vastaava lämpenemissuhde oli 60 %. Tuotteiden jatkokehittämiselle on tarvetta. Sisemmän puitteen eristyslasin lämmöneristävyyden parantaminen pienentää johtumislämpöhäviötä, mutta toisaalta se johtaa taas pienempään lämpenemissuhteeseen. Virtausreittien ja -aukkojen sijoittelulla voidaan vaikuttaa jonkin verran energiatekniseen toimivuuteen. Tutkimuksessa on tehty ehdotus, kuinka tuloilmaikkunaa käsitellään lämmöneristysmääräysten mukaisuuden osoittamisessa ja siihen liittyvissä tasauslaskelmissa.			
Avainsanat supply air window, ventilation, energy efficiency			
ISBN 951-38-6780-3 (nid.) 951-38-6781-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Projektinumero R5SU01127
Julkaisuaika Huhtikuu 2006	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 65 s. + liitt. 41 s.	Hinta C
Projektin nimi Energiateknisesti tehokkaiden tuloilmaikkunoiden toteutusmallit korjaus- ja uudisrakentamisessa		Toimeksiantaja(t) RT Rakennusteollisuus, ikkunavalmistajat, venttiilivalmistajat	
Yhteystiedot VTT Lämpömiehenkuja 2, PL 1000, 02044 VTT Puh. vaihde 020 722 111 Faksi 020 722 7054		Myynti VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Heimonen, Ismo & Hemmilä, Kari			
Title Energy efficiency of supply air window			
Abstract The supply air window has been developed for new buildings and renovation purposes and the window system will be used for the supply air inlet in mechanical exhaust ventilation system. The system has features improving the competitiveness compared to mechanical supply and exhaust ventilation system. Integration of the air inlet system in window is cost-effective and simple solution for renovation, especially combined renovation of ventilation and windows. The objective of this study was to present the concepts for energy-efficient supply air windows. The aim was to show energy efficiency, the affecting factors for thermal transmittance and the development basis for supply air windows. The aim was to present methods to determine design parameters and to show the method to prove the window fulfills the building energy codes in Finland. The study presents the affecting factors for energy-efficiency of supply air window. The energy performance depends on the glazing structure, air flow route of the ventilation air flowing through the window, the shape and size of the vent openings and the shape and size of the window. The thermal transmittance can be determined by testing and calculations. The calculation according to standards was realised to be unsuitable for calculation of ventilated window. The study presents the methods to measure the thermal transmittance of ventilated window using hot-box method or outdoor testing in PASLINK test cell. The good and bad features and needs for development of the test methods were presented. The measured effective thermal transmittance $H = U - U_v$ of the glazing of triple glazed MSE supply air window is about $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, when the air flow rate is $6 \text{ dm}^3/\text{s}$. The thermal transmittance of the similar airtight structure is $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$. The effectiveness in pre-heating of ventilation air is 43 % (expressed as percentage of temperature difference between indoor and outdoor environments). The effective thermal transmittance of MSK supply air window vented through both of the air gaps is better – below $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ with air flow rate $6 \text{ dm}^3/\text{s}$. The effectiveness in pre-heating is 60 %, respectively. There is need for future development of the applications. The improvement of the inner sash and glazing decreases the heat transmittance through the inner layer, decreasing also the efficiency in air pre-heating. The energy efficiency is influenced by the dimensioning the air flow routes and vents. This study presents the method to calculate the building level heating demand when using supply air windows. This calculation is needed to show the specific heat loss of the building compared to reference building.			
Keywords supply air window, ventilation, energy efficiency			
ISBN 951-38-6780-3 (soft back ed.) 951-38-6781-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Project number R5SU01127
Date April 2006	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 65 p. + app. 41 p.	Price C
Name of project Energiateknisesti tehokkaiden tuloilmaikkunoiden toteutusmallit korjaus- ja uudisrakentamisessa		Commissioned by RT Rakennusteollisuus, ikkunavalmistajat, venttiilivalmistajat	
Contact VTT Technical Research Centre of Finland Lämpömiehenkuja 2, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 111 Fax +358 20 722 7054		Sold by VTT P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

VTT Tiedotteita – Research Notes

- 2314 Häkkinen, Kai. Hankintatoimen ulkoistus metalliteollisuudessa. 2005. 77 s. + liitt. 3 s.
- 2315 Lahdenperä, Pertti, Nykänen, Veijo & Rintala, Kai. Elinkaarimallit. Tilapalveluhankkeiden vaihtoehtoiset toimintatavat. 2005. 56 s.
- 2316 Oedewald, Pia, Reiman, Teemu & Kurtti, Reetta. Organisaatiokulttuuri ja toiminnan laatu metalliteollisuudessa. 11 tapaustutkimusta suomalaisissa pk-yrityksissä. 2005. 81 s. + liitt. 4 s.
- 2317 Ajanko, Sirke, Moilanen, Antero & Juvonen, Juhani. Jätteiden syntypaikkalajittelujärjestelmän ja käsittelytekniikan vaikutus kierrätyspolttoaineen laatuun. 2005. 83 s. + liitt. 21 s.
- 2318 Hostikka, Simo, Mikkola, Esko, Rinne, Tuomo, Tillander, Kati & Weckman, Henry. Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä. 2005. 143 s. + liitt. 9 s.
- 2319 Weckman, Henry. Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä. Tehtävä B: Poistumisturvallisuus. 2005. 93 s. + liitt. 13 s.
- 2320 Pöyhönen, Ilpo. Lääkintälaitteiden ohjelmistot. Suunnittelun kehityskohteita vesiputous- ja XP-mallin näkökulmasta. 2006. 61 s. + liitt. 2 s.
- 2321 Tsupari, Eemeli, Monni, Suvi & Pipatti, Riitta. Non-CO₂ greenhouse gas emissions from boilers and industrial processes. Evaluation and update of emission factors for the Finnish national greenhouse gas inventory. 2005. 82 p. + app. 24 p.
- 2322 Kutinlahti, Pirjo, Lähteenmäki-Smith, Kaisa & Konttinen, Jari. Vaikuttavaa tutkimusta. Arviointikäytäntöjä julkisissa tutkimusorganisaatioissa: Helia ja SAMK. 2006. 131 s. + liitt. 6 s.
- 2323 Arnold, Mona, Kuusisto, Sari, Wellman, Kari, Kajolinna, Tuula, Räsänen, Jaakko, Sipilä, Jorma, Puumala, Maarit, Sorvala, Sanna, Pietarila, Harri & Puputti, Katja. Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä. 2006. 74 s. + liitt. 12 s.
- 2324 Kivisaari, Sirkku & Saranummi, Niilo. Terveysturvallisuuden systemiset innovaatiot vuorovaikutteisen kehittämisen kohteena. Case Pro Viisikko. 2006. 77 s. + liitt. 4 s.
- 2325 Häkkinen, Tarja, Rauhala, Kari & Huovila, Pekka. Rakennetun ympäristön kestävä kehityksen kriteerit ja indikaattorit. 2006. 89 s. + liitt. 29 s.
- 2327 Security-tutkimuksen roadmap. Mika Naumanen & Veikko Rouhiainen (toim.). 2006. 69 s.
- 2329 Heimonen, Ismo & Hemmilä, Kari. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus. 2006. 65 s. + liitt. 41 s.
- 2330 Apilo, Tiina & Taskinen, Tapani. Innovaatioiden johtaminen. 2006. 112 s. + liitt. 10 s.
- 2331 Niskanen, Antti. Työkalu luotettavuuden mallipohjaiseen analysointiin. 2006. 58 s.
- 2332 Kutinlahti, Pirjo, Lähteenmäki-Smith, Kaisa & Konttinen, Jari. Vaikuttavaa tutkimusta. Arviointikäytäntöjä julkisissa tutkimusorganisaatioissa: Helia ja SAMK. 2006. 131 s. + liitt. 6 s.

Tätä julkaisua myy
VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

Denna publikation säljs av
VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

This publication is available from
VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374