

**MATALAENERGIAIKKUNOIDEN TUTKIMUKSEN
SUUNNITTELU**

Tero Maaninka

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

2014

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIikka JA LIIKENNE
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

MATALAENERGIAIKKUNOIDEN TUTKIMUKSEN SUUNNITTELU

Tero Maaninka

2014

Toimeksiantaja Lapin ammattikorkeakoulu

Ohjaaja Petri Kuisma

Hyväksytty _____ 2014 _____

Työ on Theseus-verkkokirjastossa.

Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka

Tekijä	Tero Maaninka	Vuosi	2014
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Matalaenergiaikkunoiden tutkimuksen suunnittelu		
Sivu- ja liitemäärä	30 + 1		

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia nykyaikaisten ikkunarakenteiden energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä suunnitella Levin koulutus- ja työhyvinvointikeskuksen ikkunoille suoritettavat tutkimusmenetelmät. Tutkimukset aloitetaan touko-kesäkuun 2014 aikana. Opinnäytetyö on tehty Lapin ammattikorkeakoululle.

Työssä on esitetty yhtälöiden ja rakennekuvien avulla matalaenergiaikkunoiden laatuun vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi opinnäytetyössä on käsitelty ikkunoiden ulkopinnan huurtumista aiheuttavia tekijöitä ja niiden ehkäisemistä erilaisilla materiaali- ja rakennusratkaisuilla.

Tutkimusten perusteella ikkunoiden energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita, joista erityisesti selektiivipinnoitteet vaikuttavat ikkunan ulkopinnan kondenssin esiintymiseen huomattavasti. Opinnäytetyön tuloksena määritettiin tutkimuskohteeseen asennettujen ikkunoiden mittauspaiikat käytettävien menetelmien.

Avainsanat

ikkuna, energiatehokkuus, huurtumaton, kondenssi, selektiivipinnoite

School of Industry and Natural Resources
Degree Programme of Civil Engineering

Author	Tero Maaninka	Year	2014
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Planning of the Research of Low Energy Windows		
Number of pages	30 + 1		

The goal of this thesis was to research the factors that affect the energy efficiency of window structures. In addition, the purpose was to design an executable research method to the windows that are placed at the education and work welfare centre in Levi. The researches will be started in May or June 2014. The thesis was commissioned by Lapland University of Applied Sciences.

In this thesis the matters that affect the quality of low energy windows were presented by equations and structure images. In addition this thesis covered the reasons that cause frosting in outer surface of windows and prevent them by different materials and structure decisions.

According to the research there are multiple factors that affect the energy efficiency of window. Especially the selective coating significantly affects the appearance of condensation in the outer surface of the windows. The result of this thesis was to define the installed windows measurement site with the usable methods in the research subject.

Key words window, energy efficiency, frost free, condensate, selective coating

SISÄLTÖ

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	1
KÄSITTEITÄ.....	2
1 JOHDANTO	3
2 MATALAENERGIAIKKUNAT	4
2.1 YLEISTÄ.....	4
2.2 IKKUNOIDEN ENERGIAEHOOKKUUS.....	5
2.3 ENERGIALUOKITUS JA SEN MÄÄRITTÄMINEN.....	6
2.4 IKKUNOIDEN ULKOPINNAN KONDENSSI	11
3 SKAALAN FROSTFREE-ENERGIAIKKUNA.....	14
4 MITTAUSTEN SUUNNITTELU	18
4.1 WELLEVI JA TUTKITTAVAT IKKUNAT	18
4.1.1 <i>Kohteen esittely.....</i>	<i>18</i>
4.1.2 <i>Tutkittavat ikkunatyypit</i>	<i>20</i>
4.2 MITTAUSPAIKKOJEN KUVAUS	22
4.2.1 <i>Avattavien ikkunoiden mittauspisteet.....</i>	<i>22</i>
4.2.2 <i>Kiinteiden ikkunoiden mittauspisteet.....</i>	<i>23</i>
4.3 KÄYTETTÄVÄT MITTAUSLAITTEET JA -MENETELMÄT	24
4.3.1 <i>Sensirionin anturit.....</i>	<i>24</i>
4.3.2 <i>Flir B335 lämpökamera</i>	<i>26</i>
5 YHTEENVETO.....	28
LÄHTEET.....	29
LIITTEET.....	31

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVIO 1. ERILAISIA ERISTYSLASIELEMENTTEJÄ	4
KUVIO 2. IKKUNATYYPPIKOHTAINEN ENERGIANKULUTUS	6
KUVIO 3. IKKUNOIDEN LUOKITUSMERKINTÄ	10
KUVIO 4. ULKOLASIN LÄMPÖTASAPAINOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	12
KUVIO 5. HUURTUMATON AVATTAVA IKKUNARAKENNE	15
KUVIO 6. HUURTUMATON KIINTEÄ IKKUNARAKENNE 1	16
KUVIO 7. HUURTUMATON KIINTEÄ IKKUNARAKENNE 2	17
KUVIO 8. LEVIN KOULUTUS- JA TYÖHYVINVOINTIKESKUKSEN ASEMAPIIRROS.....	18
KUVIO 9. WELLEVIN C-OSA.....	19
KUVIO 10. WELLEVIN A-OSA	19
KUVIO 11. WELLEVIN B-OSA	20
KUVIO 12. SKAALAN ALFA 30- JA 40 -IKKUNAT	21
KUVIO 13. SKAALAN KIINTEÄ ALFA-IKKUNA.....	24
KUVIO 14. SHT11 DIGITAALINEN KOSTEUS- JA LÄMPÖTILA-ANTURI	25
KUVIO 15. SDP1000-R PAIN-EROANTURI	25
KUVIO 16. FLIR B335 -LÄMPÖKAMERA.....	26
KUVIO 17. LÄMPÖKAMERAKUVA FLIR B335:LLA.....	26
TAULUKKO 1. IKKUNOIDEN ENERGIALUOKITUSRAJAT.....	7
TAULUKKO 2. ILMANPITÄVYYDEN OLETUSARVOJA ERI IKKUNATYYPEILLE	10

KÄSITTEITÄ

Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin tarkoittaa ikkunalasin läpäisevän auringonsäteilyn ja lasitukseen imeytyneestä säteilystä sisälle tulevan lämmön summaa suhteessa ikkunan ulkopintaan tulevaan säteilyyn (Keränen–Kalema–Luhanka 2002, 14).

Emissiviteetti kuvaa lasin ominaisuutta heijastaa sisältä ulospäin suuntautuvaa pitkäaaltoista lämpösäteilyä takaisin huonetilaan. Mitä matalampi lasin emissiviteetti on, sitä suurempi on lämmön heijastavuus. (Sundell 2004, 24.)

Eristyslasi on kahdesta tai useammasta lasista ja yhdestä tai useammasta lasivälistä muodostuva umpinainen lasirakenne. Lasit on kiinnitetty toisiinsa lasin reunoilta välilistan ja saumausmassojen avulla ja täytekaasuna lasiväleissä voi olla ilmaa tai esimerkiksi argonia. Eristyslasin lasipinnoissa voi olla yhdestä kolmeen matalaemissiviteettipinnoitetta. (Keränen–Kalema–Luhanka 2002, 15.)

Konvektio kuvaa kaasun tai nesteen liikkeen johdosta siirtyvää lämpötehoa, joka sisältää myös johtumisen kaasussa (Keränen–Kalema–Luhanka 2002, 15).

Selektiivipinnoite eli matalaemissiviteettipinnoite on läpinäkyvä metalli- tai metallioksidipinnoite, joka vähentää ikkunalasien välistä lämpösäteilyä ja parantaa siten lämmöneristävyyttä (Motiva 2012).

Täytekaasu on eristyslasin ilmatiiviin lasivälin kaasu, joka voi olla ilmaa, mutta kun halutaan pienentää eristyslasin lämmönläpäisykerrointa, kaasuna käytetään esimerkiksi argonia, kryptonaa tai niiden ja ilman seosta (Keränen–Kalema–Luhanka 2002, 16).

1 JOHDANTO

Ikkunat ovat energiataloudellisesti rakennuksen heikoin rakenneosia, joten niiden kokoon, siihen mihin ilmansuuntaan ne asennetaan ja erityisesti laatuun, kannattaa kiinnittää huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Rakennusmateriaaleja vertailtaessa ikkunan ainutlaatuisena ominaispiirteenä on kyky tuoda luonnonvaloa asuntoon, mikä vähentää keinovalaistukseen tarvittavan energian kulutusta. Nykyaikana ikkunoilta, kuten muiltakin rakenneosilta, vaaditaan aina vain enemmän ja enemmän. Energiatehokkuudesta keskustellaan jatkuvasti ja määräykset tiukentuvat kerta toisensa jälkeen.

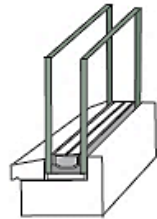
Kansallisten määräysten mukaan uudisrakennuksissa ikkunan lämmönläpäisykerroin lämpimässä tilassa ei saa ylittää arvoa $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ikkunavalmistajat ovat päässeet U-arvossa huomattavastikin alle kyseisen arvon, mutta lämmönläpäisykerroin ei ole ainut merkityksellinen tekijä energiatehokkuutta tarkasteltaessa. Nykyinen ikkunoiden energialuokitus on kehitetty, jotta kuluttajat pystyisivät vertailemaan ikkunoiden energiatehokkuutta mahdollisimman yksiselitteisesti. Energialuokitus onkin vastaava kuin kodinkoneista tuttu energiatehokkuutta kuvaava luokitus, jossa tuotteelle annetaan energiamerkki asteikkoväliltä A++...G.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Levin koulutus- ja työhyvinvointikeskukseen asennetuille Skaalan Alfa FrostFree-mallin ikkunoille tutkimusmenetelmät. Tutkittavat ikkunat ovat huurtumattomia energiaikkunoita, joiden innovatiivista ominaisuutta testataan Levin pohjoisissa olosuhteissa. Opinnäytetyöni teoriaosuudessa kerron yleisesti nykyaikaisten ikkunarakenteiden ominaisuuksista, energiaikkunoista ja niiden kehittymisen mukanaan tuomista haittapuolista, erityisesti ikkunan ulkopinnan huurtumisesta eli kondenssista lasipinnassa.

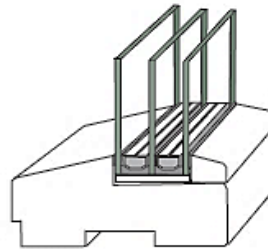
2 MATALAENERGIAIKKUNAT

2.1 Yleistä

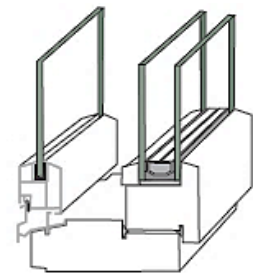
Nykyaikaiset matalaenergiainkkinat ovat eristyslaselementtejä, joissa on liittämättä kaksi tai useampia lasilevyjä ilmatiiviisti välilistakehään. Eristyslaselementin rakenteesta käytetään merkintää, jossa kerrotaan lasien lukumäärä, paksuus ja tyyppi, lasin pinnoite, välitilan leveys ja kaasu sekä välilistan materiaali. Ikkunavalmistajat käyttävät kuitenkin merkinnässä kehittämiensä tuotetunnistusjärjestelmän mukaisia tunnuksia, joita ei ole standardisoitu. Tämän vuoksi ikkunoiden rakennemerkitöjä voi olla hyvinkin vaikea tulkita. (RT 2008, 2, 4.)



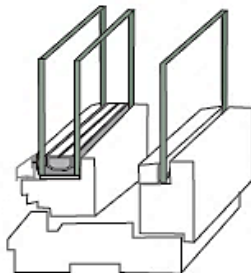
2-lasinen eristyslasi (2K). Eristyslasiä käytetään ikkunoissa, ovissa, julkisivuissa ja lasikatoissa. Lämmöneristävyyttä heikkenee merkittävästi pakkasella ja tuulisella säällä



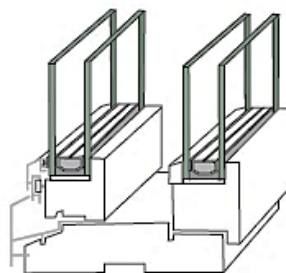
3-lasinen eristyslasi (3K) käytetään ikkunoissa, ovissa, julkisivuissa ja jonkin verran lasikatoissa. Suositellaan kiinteään lasitukseen. U-arvo ei ole herkkä sään muutoksille



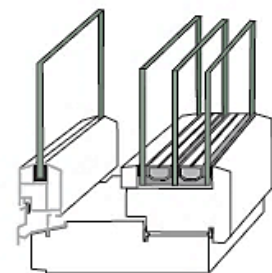
1+2K-lasirakennetta käytetään ikkunoissa ja ovissa. Yksinkertainen lasi on ulkopuitteessa (MSE-ikkuna)



2K+1-lasirakenne, jossa eristyslasi on ulompana. Tätä rakennetta käytetään joissakin tapauksissa ikkunoiden ja kytkettyjä puitteita sisältävien ovien korjauksen yhteydessä (MSE-ikkuna)



2K + 2K -lasirakenne. Ulko- ja sisäpuitteissa on eristyslasi



1 + 3K -lasirakenne, jonka sisäpuitteissa on 3-lasinen eristyslasi (3K)

Kuvio 1. Erilaisia eristyslaselementtejä (RT 2008, 3)

Kuvion 1 mukaisiin ikkunarakenteisiin voidaan käyttää lähes kaikenlaisia rakennuslaseja eristyslasin osana käyttötarkoituksesta riippuen. Välilistoina käytetään yleensä täysin käsittelemättömiä tai esimerkiksi polttomaalattuja alumiinisia listoja. Lisäksi voidaan käyttää ruostumattomasta teräksestä,

muovista tai komposiitista valmistettuja välilistoja. Nykyaikaisten ikkunoiden lasipinnat on usein pinnoitettu selektiivipinnoitteilla, joilla alennetaan lasin emissiivisyyttä. Lämmöneristävyyden parantamiseksi ikkunarakenteiden ilmatilaviit välitilat täytetään usein erilaisilla jalokaasuilla, joista argon on hintalaatusuhteensa vuoksi kaikkein käytetyin. Eristyslaseiksi on kehitetty myös tyhjiöeristeisiä ikkunarakenteita, mutta hintansa vuoksi ne eivät ole yleistyneet, vaikkakin lämmöneristävyydessä ne ovat samaa tasoa kuin parhaat eristyslaseit. Etuna tyhjiöeristyslaseissa olisi niiden pieni rakennepaksuus. (RT 2008, 2–3.)

2.2 Ikkunoiden energiatehokkuus

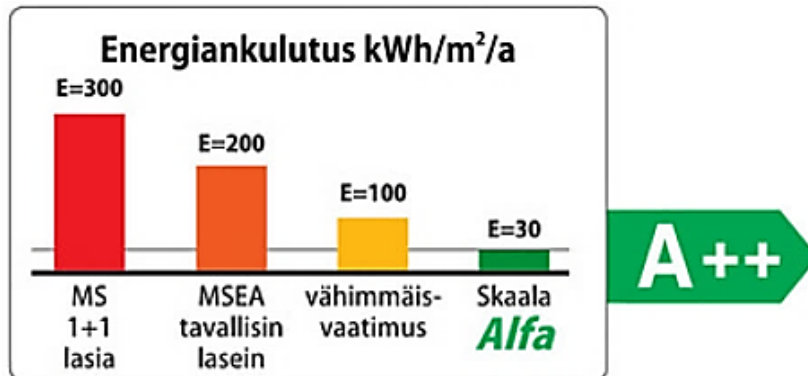
Ikkunoiden energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat

- lasiosan U-arvo
- ilmatiiveys
- auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin
- lasien selektiivipinnoitteet
- täytekaasut
- välilistan materiaalit (Motiva 2012).

Rakennuksen energiatehokkuutta ajateltaessa koko seinän kokoisia tai ylipäänsä suuria ikkunapintoja tulisi välttää. Mikäli suurikokoisia ikkunoita kuitenkin käytetään, kannattaa ne pääasiallisesti suunnata etelään, jonka myötä ne tuovat asuntoon valoa ja lämpöä myös talviaikana. Esimerkiksi passiivitalossa suuri ikkunapinta etelään suunnattuna voi kuitenkin aiheuttaa ylimääräistä jäähdytyksen tarvetta. Tällöin tulee tarkoin suunnitella riittävät räystäsrakenteet, jotka suojaavat liialliselta auringonvalolta kesäaikana. (Energiatehokas koti 2011.)

Ikkunarakenteen energiatehokkuuteen vaikuttaviin asioihin on viime vuosina kiinnitetty entistä enemmän huomiota ja kehitys on koko ajan mennyt eteenpäin. Kehityksen myötä ikkunoiden energiankulutus on tippunut murto-osaan entisaikoihin nähden. Paksummat ikkunarakenteet useilla lasiväleillä, erilaisilla pinnoitteilla, täytekaasuilla ja kehittyneemmillä puiteratkaisuilla ovat laske-
neet muun muassa ikkunan U-arvon huomattavasti alle nykyisten määräys-

ten. Toki eri ikkunavalmistajien välillä voi olla suuriakin eroja, mutta kuviosta 2 on helppo huomata nykyajan huippuikkunan ero tavallisiin lassein varustettuun ikkunaan, puhumattakaan 1+1-lasitetusta ikkunarakenteesta. Kuviosta 2 voidaan havaita, että Skaalan Alfa-mallin ikkunalla voidaan säästää vuositasolla esimerkiksi 25 m²:n ikkunapinta-alalla olevassa rakennuksessa jopa useita tuhansia kilowattitunteja vertailtaessa esimerkiksi MSEA-tyyppin ikkunaan.



Kuvio 2. Ikkunatyypikohtainen energiankulutus (Skaala Oy 2014)

Ikkunan lämmöneristävyyttä kuvataan muiden rakenneosien tapaan lämmönläpäisykerroimella eli U-arvolla, joka kertoo kuinka hyvin ikkuna eristää lämpöä. Pieni U-arvo tarkoittaa, että ikkuna päästää vähemmän energiaa ulkopuolelleen kuin suuren U-arvon omaava ikkunarakenne. Pelkän U-arvon huomioiminen ei kuitenkaan anna riittävää kuvaa ikkunan energiatehokkuudesta. Huomioitavia arvoja ovat lisäksi auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin eli g-arvo ja ilmanvuotoluku eli L-arvo. Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin kuvaa, kuinka hyvin ikkuna hyödyntää auringonvaloa. Mitä suurempi g-arvo on, sitä paremmin ikkuna hyödyntää aurinkoenergian. Ilmanvuotoluvulla puolestaan kuvataan ilmatiiveyttä; pieni L-luku tarkoittaa vähäistä ilmanvuotoa ikkunan lävitse. (Energiatehokas koti 2011.)

2.3 Energialuokitus ja sen määrittäminen

Edellisessä kappaleessa mainituista arvoista (U-, g- ja L-arvo) saadaan laskettua ikkunan vuotuinen energiankulutus eli E-luku, joka määrittää ikkunan energialuokan. E-luku lasketaan kaavalla 1.

$$E = 140 \cdot U_w - 160 \cdot g_w + 20 \cdot L \quad (1)$$

missä

E	on	vuotuinen energiankulutus [kWh/m ² /a]
U_w	on	ikkunarakenteen lämmönläpäisykerroin [W/m ² K]
g_w	on	ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisysuhde
L	on	ikkunan ilmavuoto 50 Pa:n paine-erolla [m ³ /m ² h]. (Motiva 2014a.)

Esimerkiksi Skaalan ikkunatyypin Alfa 40, 4:lle, jonka taulukkoarvot ovat liitteessä 1, on laskettu E-luku kaavan 1 mukaisesti:

$$E = 140 \cdot 0,67 - 160 \cdot 0,30 + 20 \cdot 0,30 = 51,8 \text{ kWh/m}^2/\text{a}.$$

Kyseinen ikkuna kuuluu siis taulukon 1 mukaisesti energialuokkaan A+, koska se kuluttaa energiaa vuodessa alle 65, mutta yli 45 kWh.

Taulukko 1. Ikkunoiden energialuokitusrajat (Motiva 2014b)

Luokkarajat	
A++	< 45
A+	< 65
A	< 85
B	< 105
C	< 125
D	< 145
E	< 165
F	< 185
G	≥ 185

Suureet U_w , g_w ja L sijoitetaan kaavaan 1 kahden desimaalin tarkkuudella. Vuotuisena energiankulutuksena E esitetään kaavasta lasketun tuloksen kokonaislukuosuus. (Motiva 2013.)

Ikkunarakenteen lämmönläpäisykerroin U_w lasketaan kaavalla 2. Laskettu lukuarvo ilmoitetaan kahdella merkitsevällä numerolla.

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \psi_g}{A_g + A_f} \quad (2)$$

missä

A_g	on	valoaukon pinta-ala [m ²]
U_g	on	valoaukon lämmönläpäisykerroin [W/m ² K]
A_f	on	karmi- ja puiteosan projektiopinta-ala ikkunan lasituksen tasossa [m ²]
U_f	on	karmi- ja puiteosan lämmönläpäisykerroin [W/m ² K]
l_g	on	valoaukon reunaan muodostuvan viivamaisen kylmäsilän pituus [m]
ψ_g	on	valoaukon reunan viivamainen lisäkonduktanssi [W/mK]. (RakMK C4 2003, 17.)

Ikkunarakenteen valoaukon lämmönläpäisykerroin U_g lasketaan kaavan 3 mukaisesti:

$$U_g = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{sj}} \quad (3)$$

missä

$R_{si}+R_{se}$	on	sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa
λ_j	on	lasin tai läpinäkyvän ainekerroksen j lämmönjohtavuus [W/mK]
d_j	on	lasin tai läpinäkyvän ainekerroksen j paksuus [m]
R_{sj}	on	lasivälin j lämmönvastus [m ² K/W]

(RakMK C4 2003, 16).

Puuikkunan kehän lämmönläpäisykerroin lasketaan puolestaan kaavan 4 mukaisesti:

$$U_f = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + \frac{\beta \cdot d}{\lambda_n}} \quad (4)$$

missä

$R_{si}+R_{se}$	on	sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa
d	on	karmi- ja puiteaineen keskimääräinen paksuus [m]
λ_n	on	karmi- ja puiteaineen normaalin lämmönjohtavuus [W/mK]
β	on	todellisuudessa moniulotteisen lämpövirtauksen huomioon ottava korjauskerroin (0,7) (RakMK C4 2003, 17).

Ikkunarakenteen auringonsäteilyn kokonaisläpäisysuhde g_w lasketaan kaavan 5 mukaisesti:

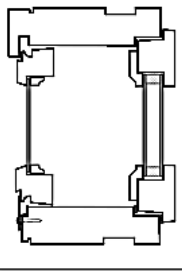
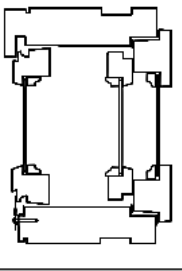
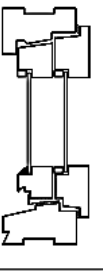
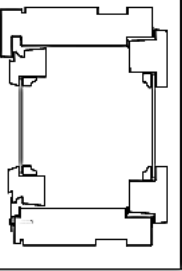
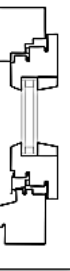
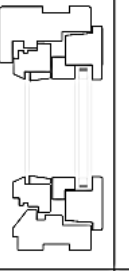
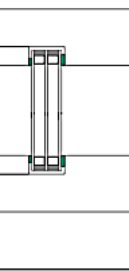
$$g_w = g_g \cdot (A_g/A_w) \quad (5)$$

missä

g_w	on	ikkunan auringonsäteilyn kokonaisläpäisysuhde
g_g	on	valoaukon auringonsäteilyn kokonaisläpäisy
A_g	on	valoaukon pinta-ala [m ²]
A_w	on	karmin ulkomittojen mukaan laskettu ikkunan pinta-ala [m ²] (Motiva 2013).

L-arvon laskennassa käytetään puu- ja puu-alumiini-ikkunoiden osalta taulukon 2 mukaisia arvoja. Muilla materiaaleilla varustettujen ikkunoiden osalta ilmavuotoluku tulee aina mitata erikseen. (Motiva 2014a.)

Taulukko 2. Ilmanpitävyyden oletusarvoja eri ikkunatyypeille (Motiva 2013)

MSE	MSK	SK	MS	SE	SEK	MEK
						
0,3 m ³ /m ² h						0,1 m ³ /m ² h

Luokitellut ikkunat merkitään kuvion 3 mukaisesti, josta tulee käydä ilmi ikkunan valmistaja, ikkunamalli, energialuokka ja E-arvon kokonaislukuosuus siihen vaikuttavine tekijöineen. Mallimerkinnässä on lisäksi oltava merkittynä ikkunan karmisyvyys. Luokitustoimikunta tai luokitusjärjestelmän sihteeristö toimittaa luokitellun ikkunan luokitusmerkinnän ikkunavalmistajalle tulostettavassa muodossa, jota ikkunavalmistaja saa käyttää tulostamalla, painamalla tai sähköisesti hyödyntämällä. (Motiva 2013.)

EnergiaIKKUNA

Valmistaja Yritys Oy
Malli Ikkunamalli 123

Vähän kuluttava

A⁺⁺

A⁺

A

B

C

D

E-G

← A⁺⁺

Paljon kuluttava


E-arvo (laskennallinen vuotuinen energiankulutus, kWh/m²/a) 00

(Perustuu luokitusjärjestelmän laskenta-kaavaan ja 1,23 x 1,48 m kokoiseen ikkunaan)

E = 140 × U – 160 × g + 20 × L

Todelliseen energiankulutukseen vaikuttavat myös sisälämpötila, ilmasto ja ilmansuunta

Lämmönläpäisykerroin (U), W/m ² K	0,00
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy (g)	0,00
Ilmanvuoto (L), m ³ /m ² , h	0,00

Vapaaehtoinen energiamerkintä. 

Energiaikkuna on Puutuoteteollisuus ry:n rekisteröimä tuotemerkki

Kuvio 3. Ikkunoiden luokitusmerkintä (Motiva 2013)

2.4 Ikkunoiden ulkopinnan kondenssi

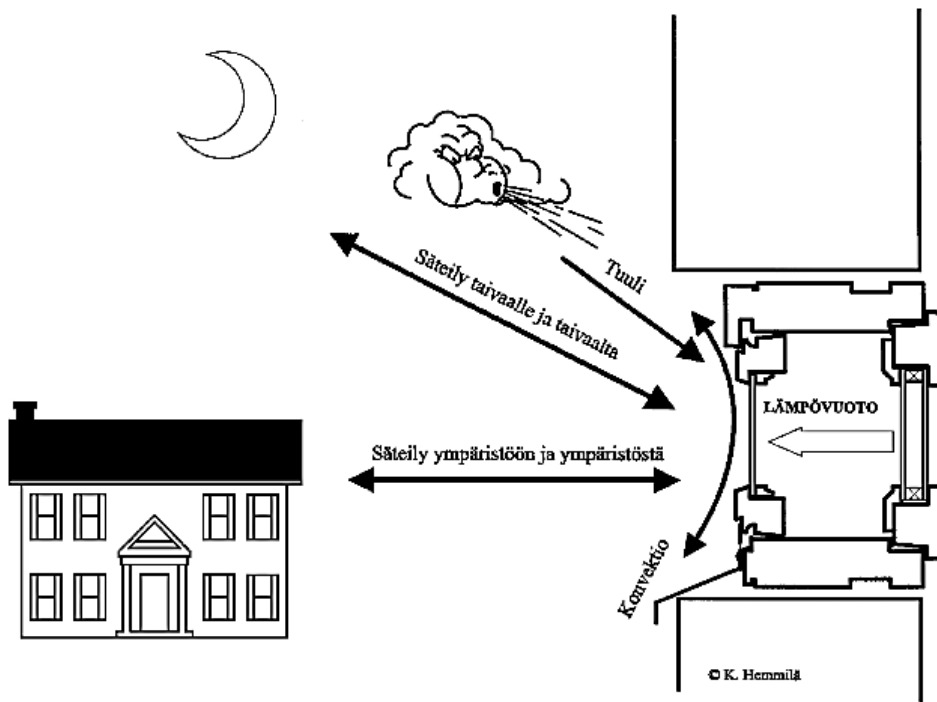
Matalaenergiaikkunoiden yleistyminen on tuonut ikkunateollisuudessa esille uuden ilmiön, kondenssin. Ulkoilman kosteuden tiivistyminen hyvin lämpöä eristävien ikkunoiden ulkopintaan on yllättänyt sekä ikkunoiden valmistajat että käyttäjät. Ilmiön aiheuttama haitta sijoittuu ajallisesti kuitenkin niin pimeisiin hetkiin ja lyhytaikaisena, että sen vuoksi ei kannata hylätä uutta energia- tehokasta lasiteknologiaa. (Heimonen 1997, 1.)

Kondenssin esiintymistä ikkunan ulkopinnalla edistävät seuraavat tekijät:

- ikkunan lasiosan pieni lämmönläpäisykerroin ($U < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- kostea ulkoilma
- ulko- ja sisäilman pieni lämpötilaero (etenkin loppukesällä ja syksyllä)
- tuuleton sää
- räystäätön rakennus
- ikkunoiden ulkopuolinen esteettömyys (ei puita tai muita rakennuksia) (RT 2009, 9).

Kondenssin esiintyminen ikkunarakenteen ulkopinnalla johtuu siitä, että uloimman lasin pintalämpötila alittaa ulkoilman kastepistelämpötilan. Tämä aiheutuu siitä, kun ikkunan ulkopinta säteilee ympäristöön ja taivaalle lämpöä, eikä pilvetön taivas ulkoilmaa kylmempänä säteile ikkunaan päin niin paljoa lämpöä, kuin ikkuna säteilee pois päin. Tämän seurauksena ikkunan ulkopinta jäähtyy ulkoilmaa kylmemmäksi. Perinteisissä kaksi- ja kolmilasissa ikkunoissa sisältä päin tuleva lämpövuoto kompensoi ulkopinnan säteilyn eron, mutta nykyaikaisissa ikkunoissa lämpövuoto on niin vähäistä, että ulkopinta voi jäähtyä ulkoilmaa kylmemmäksi. (Heimonen 1997, 1.)

Kuviossa 4 on esitetty ikkunan uloimman lasin lämpötasapainoon vaikuttavat tekijät. Kuviossa esitetyistä lämpövirroista säteily taivaalle aiheuttaa lasin jäähtymisen ilmaa kylmemmäksi ja muut hidastavat tai estävät jäähtymisen. (Heimonen 1997, 1.)



Kuvio 4. Ulkolasin lämpötasapainoon vaikuttavat tekijät (Heimonen 1997, 1)

Todennäköisin vuodenaika ilmiölle on syksy, koska silloin kosteus on suuri ja ikkunan lämpöhäviö ulko- ja sisäilman pienen lämpötilaeron vuoksi on pieni. Myös ikkunoiden korkeussijainnilla rakennuksessa on merkitystä ilmiön esiintymisessä. Korkealla oleviin ikkunoihin ja kattoikkunoihin taivaalta tuleva lämpöenergia vaikuttaa enemmän kuin ensimmäisen kerroksen ikkunoihin, minkä vuoksi korkealla sijaitsevien ikkunoiden kondenssiriski on huomattavasti suurempi. (Heimonen 1997, 1.)

Yleisesti ottaen kondenssia esiintyy, mikäli lasin ulkopinnan lämpötila on matalampi kuin ulkoilman kastepistelämpötila. Lisäksi kirkas yö, jolloin ilman suhteellinen kosteus on yli 95 %, tuuli vähäistä ja lämpötila välillä 0–10 °C, on havaittu olevan tavanomaisin tilanne kondenssin esiintymiselle ikkunoissa. Huurtumisen estämiseksi on olemassa useita ratkaisuja, mutta lähinnä ulkonäkösyiden vuoksi niitä ei käytetä. Esimerkiksi lipat ikkunoiden yläpuolella, pitkät räystäät, ulkopuoliset säleiköt tai suljettavat luukut ikkunoiden ulkopuolella voisivat estää kondenssin esiintymisen. Lisäksi ikkunoiden ulkopinnan puhdistamisen on sanottu vähentävän kondenssiriskiä, mutta ei tiedetä, kuinka suuri vaikutus sillä on käytännössä. (Heimonen 1997, 2.)

Ikkunoiden ulkopuolinen kondenssi ei liity suoranaisesti ikkunavalmistajaan eikä edes ikkunan tyyppiin, vaan se on seurausta hyvästä lämmöneristävyydestä. Kondenssiriskin pelossa ei kuitenkaan pitäisi tyytyä vanhoihin kaksi- ja kolmilasisiin ikkunoihin, koska niissä voi esiintyä kovilla pakkasilla jopa sisäpuolista kondenssia, joka on huomattavasti pitkäkestoisempaa ja voi pahimmassa tapauksessa vaurioittaa ikkunan puuosia ja pintakäsittelyä. Kondenssin esiintymistiheyden arviointi on vaikeaa, koska se riippuu voimakkaasti vallitsevista sääolosuhteista. Yleisimmin ilmiötä esiintyy kuitenkin loppukesällä ja syksyllä, ja silloinkin lähinnä yön pimeinä hetkinä ja aamuhämärässä, minkä vuoksi haitta on melko vähäistä. (Heimonen 1997, 3.)

3 SKAALAN FROSTFREE-ENERGIAIKKUNA

Skaala Oy julkisti vuonna 2010 FinnBuild rakennus- ja talotekniikkamessuilla Alfa FrostFree-energiaikkunan, joka on käytännössä täysin huurtumaton. Kyseisellä ratkaisulla varustetut ikkunat ovat myös tutkimuskohteena Levin koulutus- ja työhyvinvointikeskus Welleissä. Ikkunateollisuudessa on pyritty jo kauan ratkaisemaan uloimman lasin ulkopinnan kosteusongelma ja Skaalan huurtumaton energiaikkuna on markkinoiden ensimmäinen, joka siihen pystyi. (Skaala Oy 2014.)

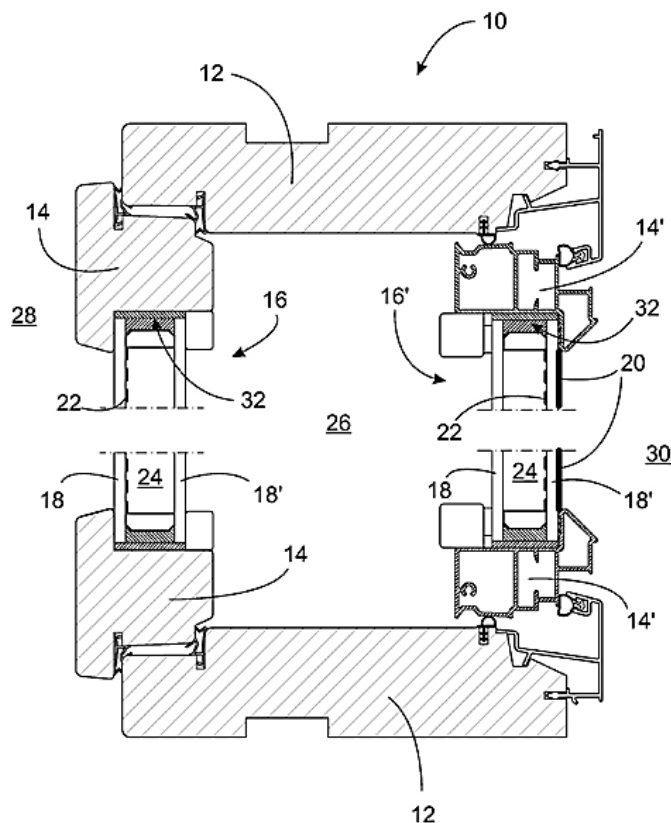
FrostFree-ominaisuudella varustetuissa ikkunoissa erityisen tärkeitä rakennosia huurtumattomuuden näkökulmasta ovat pinnoitteet, joita on kahdenlaisia; kovia ja pehmeitä selektiivipinnoitteita. Selektiivipinnoitteet ovat käytännössä täysin läpinäkyviä metalli- tai metallioksidipinnoitteita. Yleensä ikkunarakenteen ulkotilan puoleiseen lasipintaan sijoitetaan kova selektiivipinnoite, koska se on sään- ja kosteudenkestävä sekä kestää normaaleja käyttö-, pesu- ja huoltotoimenpiteitä vaurioitumatta. Pehmeä selektiivipinnoite on puolestaan lämpösäteilyä paremmin heijastava pinnoite eli sen emissiviteetti on matalampi kuin kovalla selektiivipinnoitteella. (Patentti- ja rekisterihallitus 2014.)

Huurtumattomuus on mahdollista saavuttaa ikkunarakenteella, jossa on yksi tai useampia ikkunaelementtejä ja vähintään kaksi selektiivipinnoitteen omaavaa lasia, joista yksi toimii ulkolasina. Erityisen tärkeää on, että yksi selektiivipinnoite, käytännössä aina kova selektiivipinnoite, on sijoitettuna ulkolasin ulkopuolisessa pinnassa lämmön keräämiseksi ulkolasiin. Tämän rakenneratkaisun myötä uloimmainen ikkunalasi on pintalämpötilaltaan pinnoittamatonta lasia korkeampi, jolloin ikkunarakenne pystytään toteuttamaan huurtumattomana heikentämättä kuitenkaan ikkunan lämmöneristävyttä. (Patentti- ja rekisterihallitus 2014.)

Kuviossa 5 on esitetty leikkauskuvana FrostFree-ratkaisun omaava ikkunarakente, jossa ikkunaelementteinä on kaksi eristyslaselementtiä. Kuvion mukaisesti eristyslaselementin (16) ilmatiiviin tilan (24) puolelle sisempää ikkunalasia on sijoitettu pehmeä selektiivipinnoite (22), joka on suojassa esimerkiksi sään tai käyttäjän mahdollisesti aiheuttamilta rasituksilta. Pehmeä selek-

tiivipinnoite voi olla kumman tahansa ikkunalasin (18 ja 18') ilmatiivistä tilaa vasten olevalla pinnalla. Kyseisen selektiivipinnoitteen sijoittamiseen vaikuttavat ikkunalta halutut ominaisuudet ja käyttökohde. Mikäli halutaan, että ikkuna läpäisee mahdollisimman paljon aurinkoenergiaa, asennetaan pinnoite sisimmän lasin ilmatiiviin tilan puoleiseen pintaan ja jos halutaan mahdollisimman hyvä suojaus aurinkoenergialta, asennetaan auringonsuojausominaisuudella varustettu pinnoite mahdollisimman lähelle ulkotilaa. (Patentti- ja rekisterihallitus 2014.)

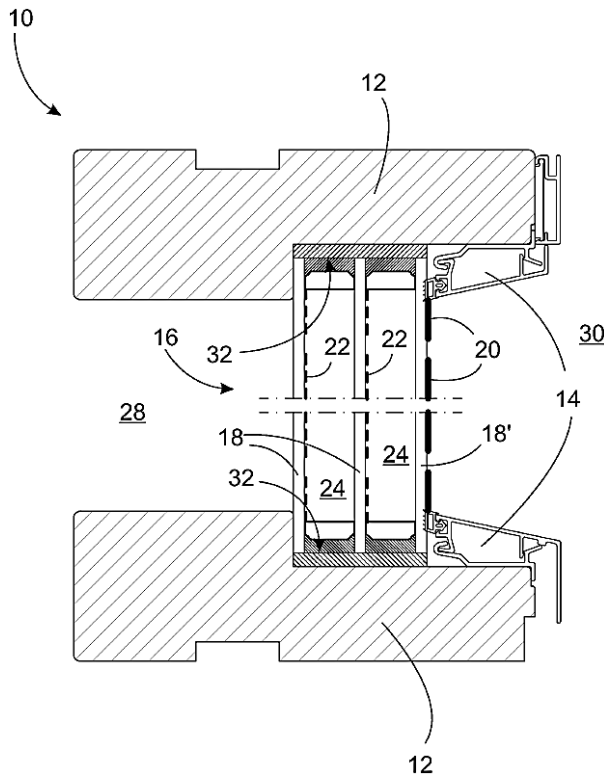
FrostFree-ominaisuuden kannalta oleellisinta on kuitenkin, että yksi selektiivipinnoite on ulomman ikkunaelementin (16') ulkolasin (18') ulkotilan (30) puoleisessa pinnassa lämmön keräämiseksi ulkopintaan. Selektiivipinnoitteille ominaista on niiden kyky hidastaa lämmön johtumista ja säteilyä, jonka myötä selektiivipinnoite ikkunan ulkopinnassa pitää lämpötilan korkeamana, joka puolestaan ehkäisee kondenssin esiintymistä lasipinnassa. (Patentti- ja rekisterihallitus 2014.)



Kuvio 5. Huurtumaton avattava ikkunarakenne (Patentti- ja rekisterihallitus 2014)

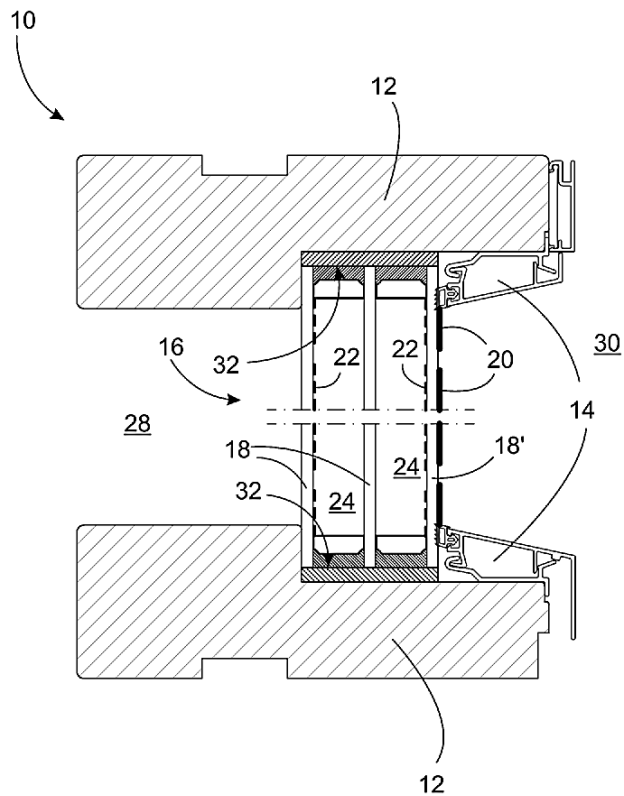
Kuviossa 6 on esitetty leikkauskuvana sivulta päin kiinteän mallin FrostFree-pinnoitettu ikkunarakenne, jossa ikkunaelementtinä on yksi kolmilasinen eris-

tyselementti (16), jonka lasit on kiinnitetty ja tiivistetty liitosvälineillä (32). Kyseiseen ikkunaelementtiin kuuluu kaksi ilmatiivistä tilaa (24), joiden sisempiin lasipintoihin asennetaan pehmeä selektiivipinnoite (22) mikäli halutaan säästää mahdollisimman paljon lämpöenergiaa. Tällöin lämpösäteily heijastuu sisätilan (28) suuntaan. Huurtumisen estämiseksi ulkolasin (18') ulkotilan (30) puoleiseen pintaan asennetaan kova selektiivipinnoite (20) kuvioiden 5, 6 ja 7 mukaisesti. (Patentti- ja rekisterihallitus 2014.)



Kuvio 6. Huurtumaton kiinteä ikkunarakenne 1 (Patentti- ja rekisterihallitus 2014)

Kuvion 7 mukaisesti uloimman lasin (18') sisäpuoliseen pintaan voidaan käyttötarkoituksesta riippuen asentaa myös auringonsuojausominaisuudella varustettu pehmeä selektiivipinnoite (22). Kuvioiden 5, 6 ja 7 mukaisissa ikkunarakenteissa karmit (12) voivat olla joko täyspuuta tai ulkopinnaltaan ontelomaisella metalli- tai komposiittirakenteella verhoiltuja. Ulkoilman aiheuttamien rasitusten vuoksi myös ikkunoiden ulkopuitteet voivat olla ontelomaisia metalli- tai komposiittirakenteita, kuten ikkunaleikkauksissa on esitetty. Toki myös ulkopuitteet voivat olla puisia, koska materiaalin valinta on täysin riippuvainen käyttökohteesta. Ikkunoiden sisäpuitteet valmistetaan yleensä kokonaan puusta. Ikkunaelementit kiinnitetään puitteisiin liimalla tai mekaanisin kiinnitysvälinein. (Patentti- ja rekisterihallitus 2014.)



Kuvio 7. Huurtumaton kiinteä ikkunarakenne 2 (Patentti- ja rekisterihallitus 2014)

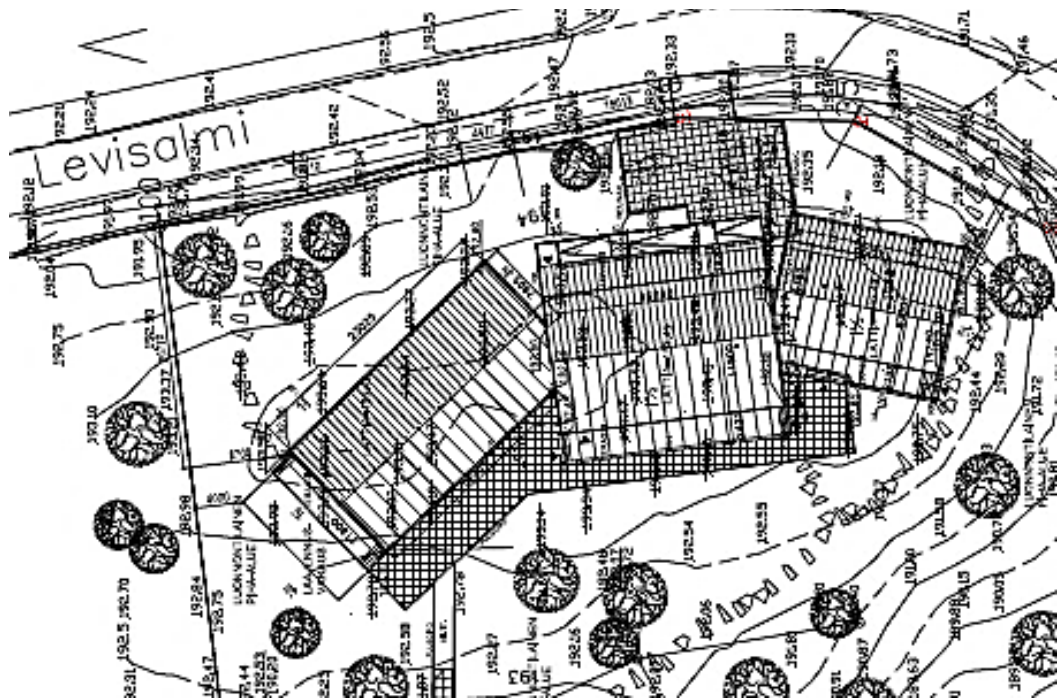
Huurtumatonta ikkunarakennetta voidaan käyttää erilaisien rakennustyyppien ikkunoina sekä kylmissä että lämpimissä olosuhteissa. Kylmiin olosuhteisiin ja sellaisiin ympäristöihin, joissa lasien huurtuminen on yleisenä ongelmana, huurtumattomat ikkunarakenteet ovat soveltuvuudeltaan erityisen hyviä. Kyseisiä ikkunoita voidaan käyttää lisäksi kaikenlaisissa käyttökohteissa, joissa sisä- ja ulkopuolen välinen lämpötilaero on suuri. (Patentti- ja rekisterihallitus 2014.)

4 MITTAUSTEN SUUNNITTELU

4.1 Wellevi ja tutkittavat ikkunat

4.1.1 Kohteen esittely

Rovaniemen koulutuskuntayhtymän omistaman koulutus- ja työhyvinvointikeskus Wellevin rakennustyöt aloitettiin lokakuussa 2010 Kittilän Levillä. Rakennus valmistui tammikuussa 2014 ja vihkiäisiä siellä vietettiin 27.2.2014. Kuviossa 8 sijaitsevan keskuksen tarkoituksena on tukea koulutuskuntayhtymän organisaatioiden tehtäviä tutkimus-, kehitys- ja palvelutoiminnan sekä aluekehityksen tukemisen näkökulmista. Wellevissä on lisäksi tavoitteena kouluttaa opiskelijoita, kehittää eri alojen palveluita sekä testata tuotteita ja palveluita. (Wellevi 2014.)

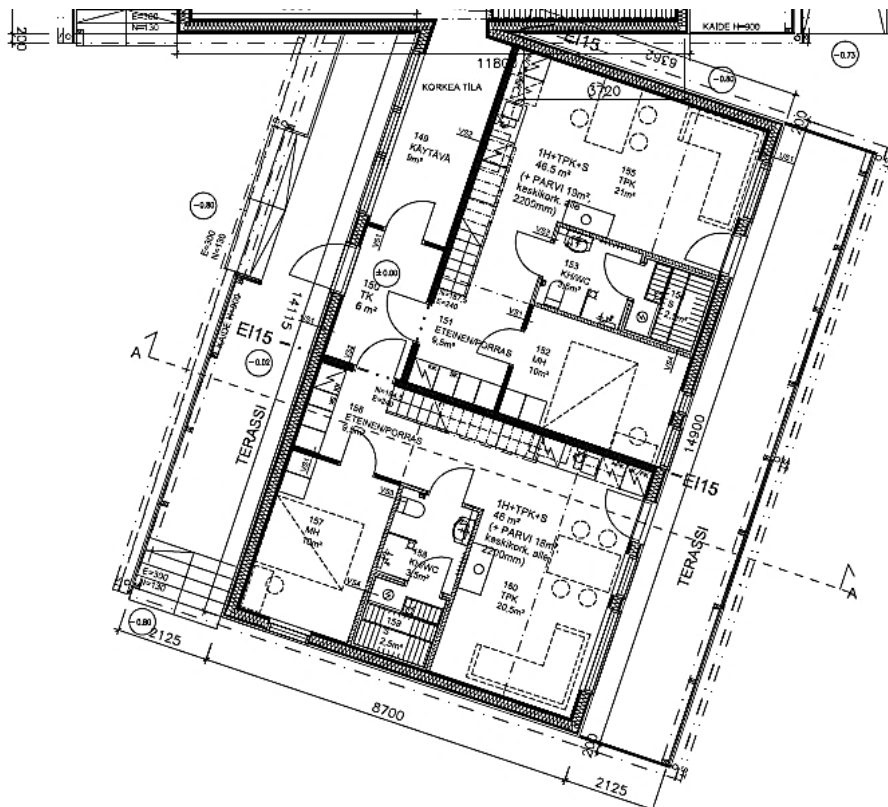


Kuvio 8. Levin koulutus- ja työhyvinvointikeskuksen asemapiirros (Arkkitehtitoimisto Sipark Oy 2010)

Welleviin valmistui yhteensä yhdeksän kahden hengen huonetta, jotka sijaitsevat kuvion 9 mukaisesti C-osassa, joka on päärakennuksen pohjoispääty. Lisäksi majoitustiloina keskuksessa on kaksi saunallista enintään kahdeksan hengen huoneistoa, jotka sijaitsevat A-osassa (kuvio 10) eteläpäädyssä.

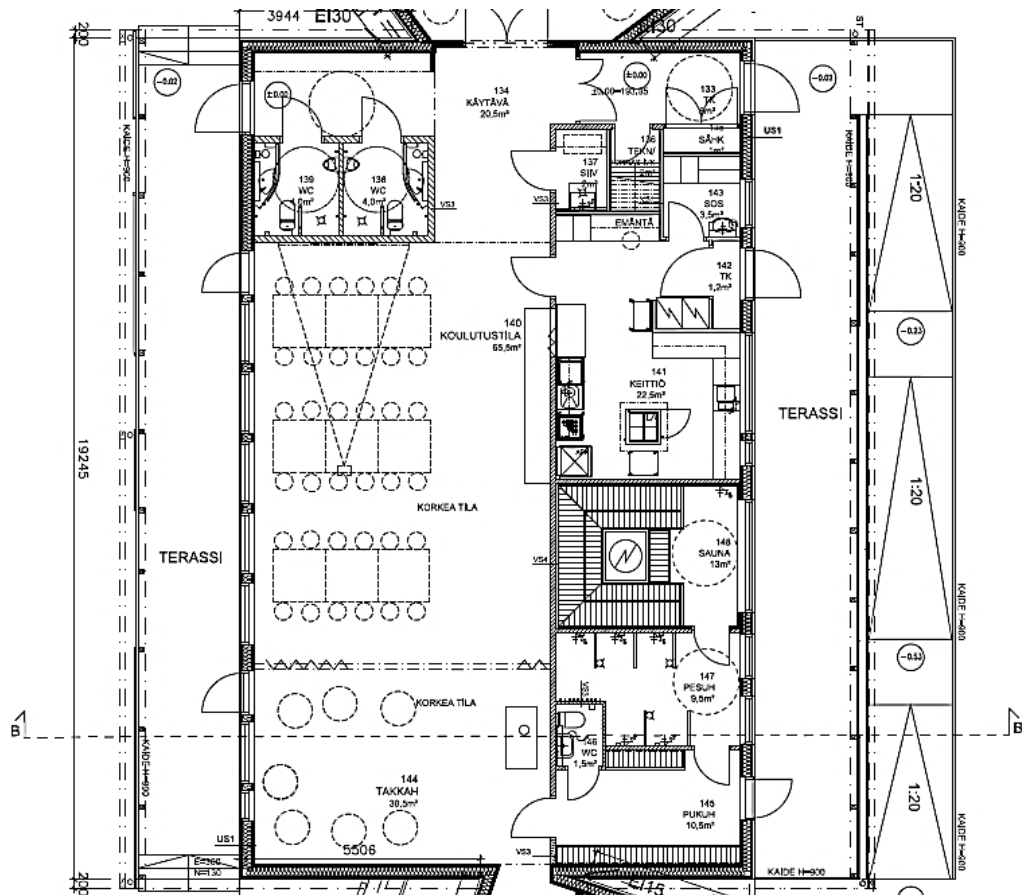


Kuvio 9. Wellevin C-osa (Arkkitehtitoimisto Sipark Oy 2010)



Kuvio 10. Wellevin A-osa (Arkkitehtitoimisto Sipark Oy 2010)

Rakennuksen keskimmaisessä B-osassa (kuvio 11) on muun muassa yhdistetyn koulutustilan ja takkahuoneen lisäksi keittiö, kolme WC:tä, puku- ja pesuhuone sekä sauna. B-osan toiseen kerrokseen ovat sijoitettuna tutkimus- ja konehuoneet. Yhteensä Wellevin bruttoala on 800 m² ja kerrosala 680 m². (Wellevi 2014.)

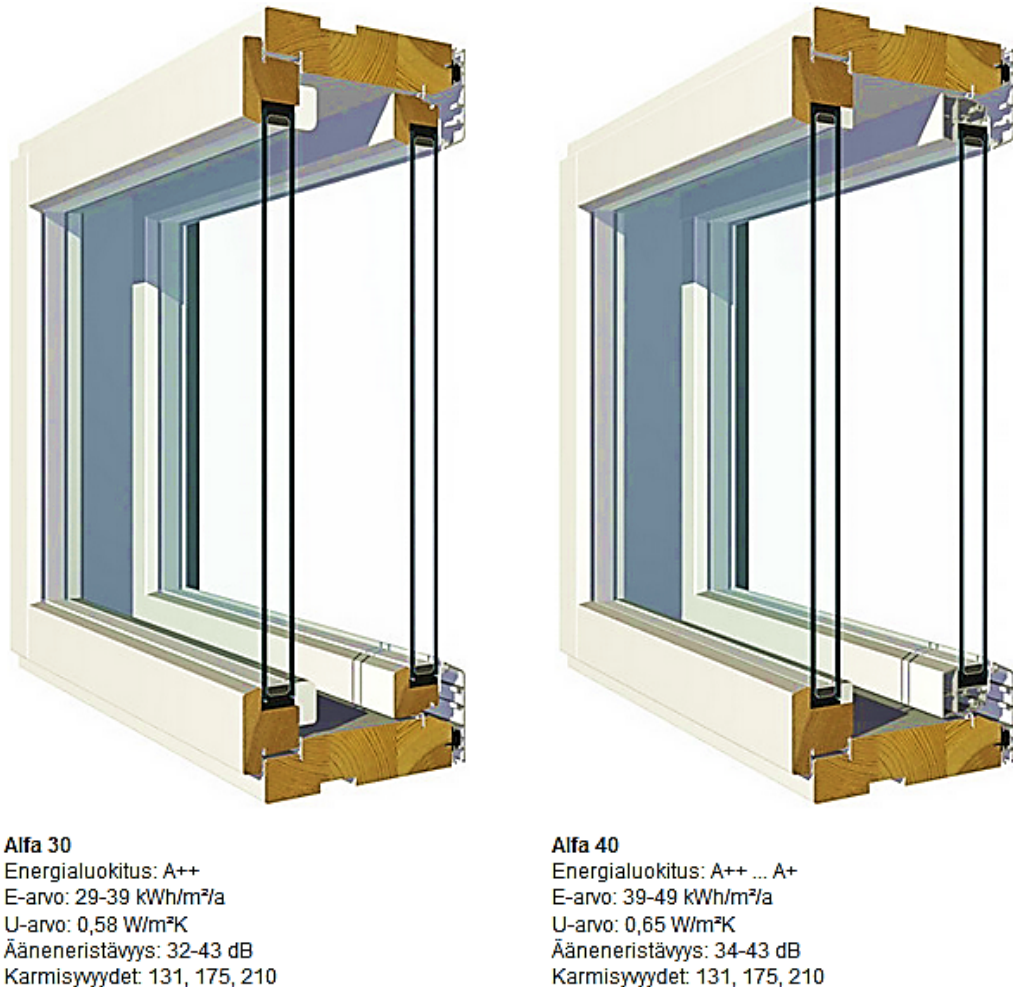


Kuvio 11. Wellevin B-osa (Arkkitehtitoimisto Sipark Oy 2010)

4.1.2 Tutkittavat ikkunatyypit

Huhtikuun 2014 aikana Levin kohteessa olevat ikkunat ovat vielä Alfa- ja Beeta-sarjan ikkunoita, jotka edustivat toimitushetken parhaimmistoa Skaalan tuotevalikoimassa. Kyseisten ikkunoiden U-arvot ovat 0,72 W/m²K Alfassa ja 0,80 W/m²K Beetassa. Skaalan suurin mielenkiinto on kuitenkin tutkimuksellisesti mahdollisimman energiatehokkaissa tuotteissa eli Alfa 30- ja 40-malleissa, joiden U-arvot ovat kuvion 12 mukaisesti 0,58 W/m²K ja 0,65 W/m²K (Skaala Oy 2014). Ikkunarakenteen ulkopinnan huurtumisen ollessa todennäköisempää energiatehokkuuden parantuessa, on ymmärrettävää,

että Skaalan puolesta halutaan toimittaa nykyistä tuotevalikoiman tasoa vastaavat ikkunat Welleihin ennen tutkimusten aloittamista.



Alfa 30
 Energialuokitus: A++
 E-arvo: 29-39 kWh/m²/a
 U-arvo: 0,58 W/m²K
 Ääneneristävyys: 32-43 dB
 Karmisyydydet: 131, 175, 210

Alfa 40
 Energialuokitus: A++ ... A+
 E-arvo: 39-49 kWh/m²/a
 U-arvo: 0,65 W/m²K
 Ääneneristävyys: 34-43 dB
 Karmisyydydet: 131, 175, 210

Kuvio 12. Skaalan Alfa 30- ja 40 -ikkunat (Skaala Oy 2014)

Tutkimuksissa pyritään selvittämään eri materiaaliyhdistelmien ja rakenneratkaisujen teknistä ja lämpöteknistä toimivuutta ääriolosuhteissa. Suoritettavien tutkimusten pääpaino tulee olemaan syksyn, talven ja kevään aikana ikkunarakenteen ulkopinnan huurtumisen ja huurtumattomuuden seuraamisessa. Kesäaikana seurannan pääpaino sen sijaan on ikkunarakenteen välitilan lämpötilojen muutoksien seuraamisessa. (Skaala Oy–Rovaniemen ammattikorkeakoulu 2011.)

Kaikki tutkimuskohteena olevat ikkunat ovat Skaalan Alfa-mallin FrostFree-pinnoitettuja ikkunoita, joista tutkitaan sekä tuloilmaratkaisulla että ilman tuloilmaratkaisua varustettuja variaatioita. Tutkittavana on myös sekä avattavan että kiinteän mallin ikkunoita.

4.2 Mittauspaikkojen kuvaus

4.2.1 Avattavien ikkunoiden mittauspisteet

Rovaniemen koulutuskuntayhtymän koulutus- ja työhyvinvointikeskus Welle-viin asennettujen ikkunoiden tutkittavien pisteiden kuvaukset avattavien ikkunoiden osalta ovat seuraavat:

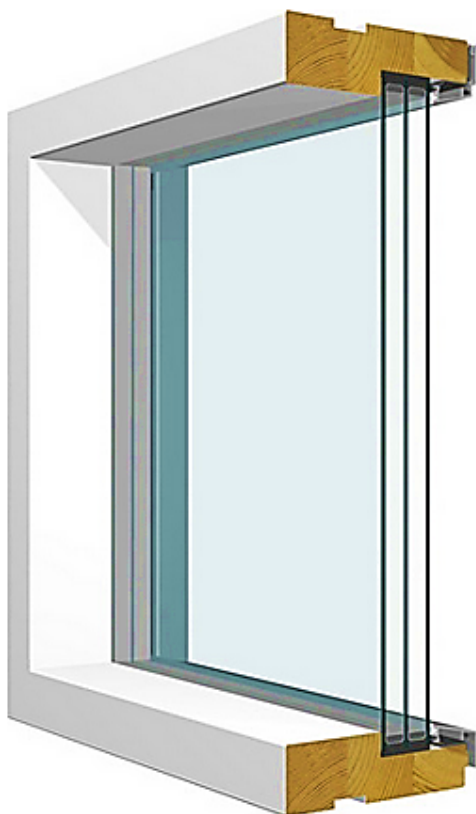
- ikkunan ulkopinnan lämpötila lasipinnan keskellä (mittaus menetelmällä, joka ei vaikuta lasin lämpötilaan)
- ikkunan sisäpinnan lämpötila lasipinnan keskellä (mittaus menetelmällä, joka ei vaikuta lasin lämpötilaan)
- ulkoseinän ulkopinnan lämpötila ikkunan läheisyydessä (500 mm etäisyydellä ikkunasta)
- ulkoseinän sisäpinnan lämpötila ikkunan läheisyydessä (500 mm etäisyydellä ikkunasta)
- ulkoilman lämpötila kohdasta, jossa ei olla räystäään alla (metrin etäisyydellä ikkunasta)
- ulkoilman suhteellinen ilmankosteus kohdasta, jossa ei olla räystäään alla (metrin etäisyydellä ikkunasta)
- sisäilman lämpötila metrin etäisyydellä ulkoseinän sisäpinnasta ja lattiasta
- sisäilman suhteellinen kosteus metrin etäisyydellä ulkoseinän sisäpinnasta ja lattiasta
- lasipinnan lämpötila ulkopuitteen ulomman lasin alareunan ja ulkopuitteen saumassa
- lasipinnan lämpötila ulkopuitteen sisemmän lasin alareunan ja ulkopuitteen saumassa
- lasipinnan lämpötila sisäpuitteen ulomman lasin alareunan ja sisäpuitteen saumassa
- lasipinnan lämpötila sisäpuitteen sisemmän lasin alareunan ja sisäpuitteen saumassa
- karmin alapuun ulkopinnan lämpötila ulkoseinärakenteen höyrynsulun kohdalla (mittaus siten, että ei vaikuta rakenteeseen, johtokanavat yms.)
- ikkunan välitilan lämpötila keskellä ikkunaa ja välitilaa

- suhteellinen kosteus ikkunan välitilassa keskellä ikkunaa ja välitilaa
- pitkäaikaista lämpökamerakuvaa ikkunasta suoraan sisäpuolelta kuvattuna
- paine-ero ikkunan yli (Hänninen 2014).

4.2.2 Kiinteiden ikkunoiden mittauspisteet

Tutkimuskohteeseen asennettujen kuvion 13 mukaisten kiinteiden ikkunoiden mittapistekuvaukset ovat seuraavat:

- ikkunan ulkopinnan lämpötila lasipinnan keskellä (mittaus menetelmällä, joka ei vaikuta lasin lämpötilaan)
- ikkunan sisäpinnan lämpötila lasipinnan keskellä (mittaus menetelmällä, joka ei vaikuta lasin lämpötilaan)
- karmin alapuun ulkopinnan lämpötila ulkoseinärakenteen höyrynsulun kohdalla (mittaus siten, että ei vaikuta rakenteeseen, johtokanavat yms.)
- lasipinnan lämpötila lasielementin ulkopinnan ja karmin saumassa
- lasipinnan lämpötila lasielementin sisäpinnan ja karmin saumassa
- karmin alapuun lämpötila 50 mm sisäänpäin lasielementin sisäpinnasta mitattuna
- karmin alapuun lämpötila karmipuun sisimmästä kohdasta (Hänninen 2014).



Alfa kiinteä

Energialuokitus: A++ ... A+

E-arvo: 27-45 kWh/m²/a

U-arvo: 0,64 W/m²K

Ääneneristävyys: 24-38 dB

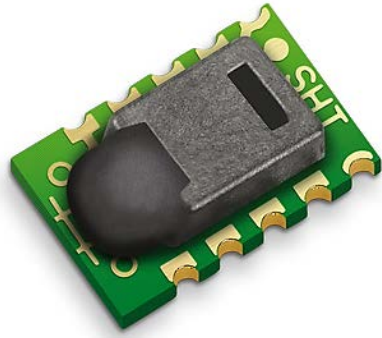
Karmisyydet: 131, 175, 210

Kuvio 13. Skaalan kiinteä Alfa-ikkuna (Skaala Oy 2014)

4.3 Käytettävät mittauslaitteet ja -menetelmät

4.3.1 Sensirionin anturit

Tutkimuksissa käytettävät kosteus- ja lämpötila-anturit sekä paine-eroanturit ovat Sensirionin tuotteita. Kuvion 14 mukainen Sensirionin SHT11 digitaalinen kosteus- ja lämpötila-anturi on monipuolinen kapasitiivinen anturi, joka on täysin kalibroitu ja varustettu digitaalisella ulostulolla. Laite voi mitata suhteellista kosteutta väliltä 0–100 % RH ja lämpötiloja -40...+125 asteen väliltä puolen prosentin mittatarkkuudella. SHT11 on pienikokoinen ja kevyt anturi, joka on helppo sijoittaa tutkimuskohteessa haluttuun paikkaan. Anturin korkeus on 2,5 mm, leveys 4,88 mm ja syvyys 7,42 mm. (Sensirion 2014.)



Kuvio 14. SHT11 digitaalinen kosteus- ja lämpötila-anturi (Sensirion 2014)

Paine-eroanturina käytettävä Sensirionin SDP1000-R (kuvio 15) on prosentin mittatarkkuudella jopa 500 Pa:n paine-eroja mittaava anturi, jonka ulostulojännitteestä lasketaan paine-ero Δ_P kaavan 6 mukaisesti:

$$\Delta_P = \text{rfactor} * (V_{\text{out}} - 0,250)^2 \quad (6)$$

missä

Δ_P	on	paine-ero [Pa]
rfactor	on	anturille annettu vakioarvo 35,55556 Pa
V_{out}	on	anturin ulostulojännite [V] (Sensirion 2014).



Kuvio 15. SDP1000-R paine-eroanturi (Sensirion 2014)

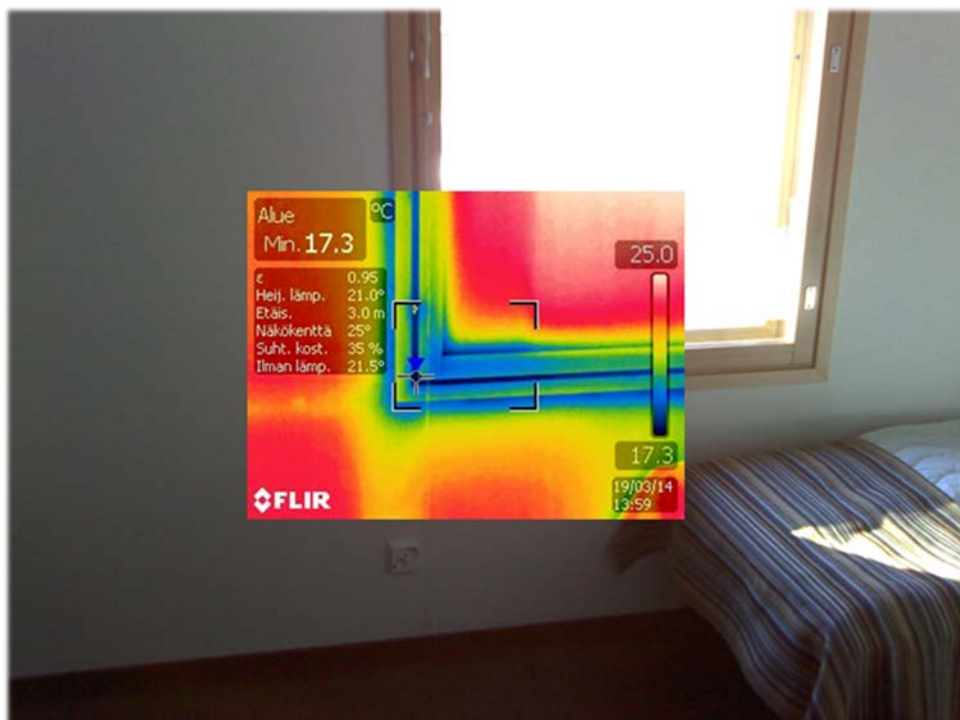
4.3.2 Flir B335 lämpökamera

Lämpökamerana tutkimuksissa käytettävä Flir B335 (kuvio 16) kuvaa lämpösäteilyä $-20\dots+650$ asteen lämpötila-alueelta 320 x 240 pikselin tarkkuudella. Laitteessa on kuvien tallennusmahdollisuus raportointia, tulosten jälkikäsittelyä ja analysointia varten. Lämpökamera on tasapainotettu, joka tarkoittaa sitä, että kameran rungon ja ulkoisten olosuhteiden aiheuttamat lämpötilavaihtelut eivät vaikuta mittaustulokseen. (Flir 2010; RT 2005.)



Kuvio 16. Flir B335 -lämpökamera

Laite soveltuu erinomaisesti muun muassa ikkunoiden ilmapuotokehtien määrittämiseen seinärakenteen ja ikkunan liittymän sekä itse ikkunarakenteen osalta. Lämpökamera mittaa kuvattavan kohteen pinnan lähettämän lämpösäteilyn ja muuntaa kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, joka näkyy kuvassa lämpötilaa vastaavana värinä kuten kuviossa 17. (Flir 2010.)



Kuvio 17. Lämpökamerakuva Flir B335:lla

Lämpökamera on varustettu muun muassa lämpötilaindeksin määrittävyökalulla. Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen ulkovaipan (myös ikkunat) lämpöteknistä toimivuutta. Mittauskohteen pistelämpötilan laskiessa asetetun raja-arvon alapuolelle laite voi korostaa sitä automaattisesti. Lämpötilaindeksille on määritetty raja-arvoja Sosiaali- ja Terveysministeriön Asumisterveysohjeessa. Lämpötilaindeksi määritellään kaavan 7 mukaisesti:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \% \quad (7)$$

missä

TI	on	lämpötilaindeksi
T_{sp}	on	sisäpinnan lämpötila [°C]
T_o	on	ulkoilman lämpötila [°C]
T_i	on	sisäilman lämpötila [°C]. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003.)

5 YHTEENVETO

Rakennuksen energiatehokkuutta ajateltaessa ikkunoilla on suuri merkitys. Normaalikokoinen omakotitalo, jonka ikkunapinta-ala on arviolta 25 m² voi nykyaikaisimmilla ikkunoilla kuluttaa energiaa noin 750 kWh vuodessa ikkunarakenteiden osalta. Vertailtaessa kyseistä kulutuslukemaa vaikkapa kaksilasiin MS-ikkunoihin, joiden kulutus voi nousta jopa kymmenkertaiseksi, on selvää, että eri ikkunarakenteissa todellakin on eroavaisuuksia. Toki on myös huomioitava, että etenkin talviaikana on mukavampi olla sellaisen ikkunan lähetyvillä, missä ei ole vedon tunnetta.

Opinnäytetyöni teoriaosuudessa on käsitelty yhtenä oleellisena asiana ikkunan ulkopinnan huurtumista. Huurtumattomuuden kannalta nykyajan energiatehokkaissa ikkunoissa tärkeänä rakenneosana on kova selektiivipinnoite ikkunarakenteen ulkolasin ulkopinnassa. Mielenkiinnolla voikin jäädä odottamaan minkälaisia uusia ratkaisuja tulevaisuus voi tuoda tullessaan huurtumisen estämiseksi.

Opinnäytetyöni pääasiallisena tarkoituksena oli suunnitella Levin koulutus- ja työhyvinvointikeskukseen asennetuille ikkunoille mittausjärjestelyt. Pohjoisen vallitsevat ääriolosuhteet luovatkin erinomaiset puitteet arktisiin olosuhteisiin suunniteltujen ikkunoiden tutkimiselle. Työni pohjalta aloitetaan tutkimukset touko-kesäkuun 2014 aikana Lapin ammattikorkeakoulun ja Skaala Oy:n yhteistyönä. Mittaustulosten kasaamisesta ja analysoinnista sekä tutkimusraportin laatimisesta voisi mielestäni tehdä kevään 2015 aikana opinnäytetyön.

LÄHTEET

- Arkkitehtitoimisto Sipark Oy 2010. Koulutus- ja työhyvinvointikeskus Wellevi. Pääpiirustukset. Ei julkinen.
- Energiatehokas koti 2011. Ikkunat ja niiden suuntaus. Osoitteessa http://energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ikkunat_ja_niiden_suuntaus. 6.3.2014.
- Flir 2010. Lämpökameran käyttöohje. Infradex Oy.
- Heimonen, I. 1997. Kondenssi ikkunoiden ulkopintaan. Lasirakentaja 1/97.
- Hänninen, P. 2014. Sähköpostitiedonanto. 17.1.2014.
- Keränen, H. – Kalema, T. – Luhanka, J. 2002. Ikkunoiden energiatekninen suunnitteluohje. Rakennusteollisuus RT ry. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Motiva 2012. Ikkunoiden energiatehokkuus. Osoitteessa http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_energiatehokkuus. 3.3.2014.
- Motiva 2013. Ikkunoiden energialuokituksen säännöt. Osoitteessa http://www.motiva.fi/files/8301/ikkunoiden_energialuokituksen_saannot_uusittu_2011_paivitetty_29112013.pdf. 6.3.2014.
- Motiva 2014a. Ikkunoiden energiamerkinnän luokitussäännöt muuttuvat. Osoitteessa http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan_tiedotteet/2013/ikkunoiden_energiamerkinnan_luokitussaannot_muuttuvat.5661.news. 6.3.2014.
- 2014b. Luokitellut ikkunat. Skaala Ikkunat ja Ovet Oy. Osoitteessa http://www.motiva.fi/files/8761/Luokituslista_Skaala_20140325.pdf. 14.4.2014.
- Patentti- ja rekisterihallitus 2014. Patenttilinja. Hakemuksen asiakirjat. Osoitteessa <http://patent.prh.fi/patdocs/public-docs.jsp?HakemusParam=20106030&NroParam=X995089&NID=&offset=&lnx=1&P=T&PN=&LJ=&PD=2012-04-07&ki=B>. 4.4.2014.
- RakMK C4 = Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003. C4: Lämmöneristys, ohjeet. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- RT 2005 = Rakennustietosäätiön ohjetiedosto 14–10850. Rakennuksen lämpökuvaus. Rakennustietosäätiö. Helsinki.
- RT 2008 = Rakennustietosäätiön ohjetiedosto 38–10941. Eristyslasit. Rakennustietosäätiö. Helsinki.

RT 2009 = Rakennustietosäätiön ohjetiedosto 41–10947. Puu- ja alumiini-ikkunat sekä niiden asennus. Rakennustietosäätiö. Helsinki.

Sensirion 2014. Osoitteessa <http://www.sensirion.com/en/products/>. 4.4.2014.

Skaala Oy 2010. Ajankohtaista. Huurtuminen historiaan. Osoitteessa <http://www.skaala.com/ajankohtaista/13/skaala-alfa-frostfree-huurtumaton-energiaikkuna.html>. 6.4.2014.

Skaala Oy 2014. Vastuullisuus. Vaivatonta säästöä. Osoitteessa <http://www.skaala.com/vaivatonta-saastoa.html>. 12.4.2014.

Skaala Oy – Rovaniemen ammattikorkeakoulu. 2011. Tutkimusyhteistyösopimus. Ei julkinen.

Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje. Helsinki.

Sundell, K. 2004. Ikkunakäsikirja 2004. Rakennusteollisuus RT ry Puutuote-toimiala. Loviisa: Itä-Uudenmaan kirjapaino.

Wellevi 2014. Rovaniemen koulutuskuntayhtymän koulutus- ja työhyvinvointikeskus Wellevi. Osoitteessa <http://www.wellevi.fi/Suomeksi/Etusivu>. 21.3.2014.

LIITTEET

Ote Skaalan ikkunoiden luokituslistasta

Liite 1

Ote Skaalan ikkunoiden luokituslistasta

Liite 1



SKAALA IKKUNAT JA OVET OY
www.skaala.fi

25.3.2014

Luokkarajat	
A++	< 45
A+	< 65
A	< 85
B	< 105
C	< 125
D	< 145
E	< 165
F	< 185
G	≥ 185

Väliiästä - Väliiästä materiaali ja leveys (Al / Alu - alumiini; RST - ruostumaton teräs;
 TPS - TPS-väliiästä (TPS on tuotenimi); Tgi - Tgi-väliiästä; thx - Thermix-väliiästä;
 SS - Super Spacer; SWS - Swisspacer)

U - Ikkunan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin

g - Ikkunan keskimääräinen auringsäteilyn läpäisykerroin

L - Ikkunan ilmanläpäisevyys

E - Ikkunan laskennallinen vuotuinen energiahäviö neliometriä kohden

Rivi	Tyyppi	Karmi- syvyys mm	1. lasi	Kaasu	Väliiästä	2. lasi	Kaasu	Väliiästä	3. lasi	Kaasu	Väliiästä	4. lasi	U W/m ² ·K	g	L m ³ /m ² ·h	E kWh/m ² ·K	Energia- luokka	Raportti
1	Alfa30, 1	131 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,59	0,35	0,30	32	A++	VTT-S-00854-14
2	Alfa30, 2	175 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,58	0,35	0,30	31	A++	VTT-S-00854-14
3	Alfa30, 3	210 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,58	0,35	0,30	31	A++	VTT-S-00854-14
4	Alfa30, 4	131 FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,60	0,30	0,30	42	A++	VTT-S-00854-14
5	Alfa30, 5	175 FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,58	0,30	0,30	39	A++	VTT-S-00854-14
6	Alfa30, 6	210 FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,58	0,30	0,30	39	A++	VTT-S-00854-14
7	Alfa30, 7	131 float	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,59	0,36	0,30	31	A++	VTT-S-00854-14
8	Alfa30, 8	175 float	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,58	0,36	0,30	29	A++	VTT-S-00854-14
9	Alfa30, 9	210 float	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,58	0,36	0,30	29	A++	VTT-S-00854-14
10	Alfa40, 1	131 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,66	0,35	0,30	42	A++	VTT-S-00854-14
11	Alfa40, 2	175 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,65	0,35	0,30	41	A++	VTT-S-00854-14
12	Alfa40, 3	210 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,64	0,35	0,30	39	A++	VTT-S-00854-14
13	Alfa40, 4	131 FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,67	0,30	0,30	51	A+	VTT-S-00854-14
14	Alfa40, 5	175 FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,65	0,30	0,30	49	A+	VTT-S-00854-14
15	Alfa40, 6	210 FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,65	0,30	0,30	49	A+	VTT-S-00854-14
16	Alfa40, 7	131 float	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,66	0,36	0,30	40	A++	VTT-S-00854-14
17	Alfa40, 8	175 float	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,65	0,36	0,30	39	A++	VTT-S-00854-14
18	Alfa40, 9	210 float	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,64	0,36	0,30	38	A++	VTT-S-00854-14
19	AlfaULEKFF-, 1	131 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,66	0,41	0,10	28	A++	VTT-S-00854-14
20	AlfaULEKFF-, 2	175 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,65	0,41	0,10	27	A++	VTT-S-00854-14
21	AlfaULEKFF-, 3	210 AC	argon	tri-18	O-S1N	float	argon	tri-18	O-S1N	float	tri-18	O-S1N	0,66	0,41	0,10	28	A++	VTT-S-00854-14
22	AlfaULEKFF-, 4	131 FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,66	0,39	0,10	32	A++	VTT-S-00854-14
23	AlfaII FKFF-, 5	175, FF	argon	tri-18	Alpine	float	argon	tri-18	Alpine	float	tri-18	Alpine	0,64	0,39	0,10	29	A++	VTT-S-00854-14