



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

KIMMO HILLIAHO
PARVEKELASITUKSEN ENERGIATALOUDELLISET
VAIKUTUKSET

Diplomityö

Tarkastajat: professori Matti Pentti ja
dosentti Juha Vinha
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Rakennetun ympäristön
tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 09. kesäkuuta 2010

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennetun ympäristön tiedekunta

HILLIAHO, KIMMO: Parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset

Diplomityö, 147 sivua, 8 liitesivua

Elokuu 2010

Pääaine: Rakennetekniikka

Tarkastajat: professori Matti Pentti ja dosentti Juha Vinha

Avainsanat: Parveke, Parvekelasit, Lasitettu parveke, Energiansäästö

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää parvekkeen lasituksen energiataloudellisia vaikutuksia kenttätutkimusten ja tietokonesimulointien avulla. Kenttämittauksin selvitettiin yhdestä kohteesta yksityiskohtaisesti parvekelasien ja –rakenteiden pintalämpötilat lasitetulta ja lasittamattomalta parvekkeelta. Lisäksi seurattiin 23 parvekkeen (18 lasitettua ja 5 lasittamatonta) ja niitä vastaavan huoneiston lämpötiloja ja suhteellista kosteutta. Laskennalliset tarkastelut sisälsivät IDA-ICE -ohjelman luotettavuuden arvioinnin (verifiointi) ja energiansäästön tapauskohtaisen arvioinnin (variointi) 80 m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa.

Tarkastelujakson aikana parvekeikkunan, -oven ja taustaseinän ulkopinnan pintalämpötilat olivat 1,4-2,5 °C:tta korkeammat ja sisäpinnan pintalämpötilat 1,0-2,8 °C:tta alhaisemmat lasitetulla parvekkeella kuin lasittamattomalla parvekkeella. Parvekkeen sisälämpötilat nousivat keskimäärin 3,1 °C:tta ja huonelämpötilat laskivat 0,5 °C:tta parvekelasituksen ansiosta. Lämpötilaero huoneistojen välillä oli suoraan verrannollinen lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen väliseen lämpötilaeroon. Eniten parvekelaseista oli hyötyä maalisi-, huhti- ja toukokuussa ja vähiten marraskuussa.

Parvekelaseilla saavutettu lämmitysenergian säästö oli 80 m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa laskennallisesti 3,4-10,7 % ja keskimäärin 5,9 %. Eniten parvekelaseista oli hyötyä Helsingissä sijaitsevilla 1970-luvun rakennuksissa, joiden sisäänvedetyt parvekkeet oli suunnattu etelään ja tuloilma otettiin parvekkeen kautta. Vähiten energiaa säästy Sodankylässä sijaitsevilla 2010-luvun rakennuksissa, joiden ulkonevat parvekkeet oli suunnattu itään ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta. Kolme tärkeintä energiansäästöön vaikuttavaa tekijää olivat tuloilmaratkaisu, parveketyyppi ja rakennuksen suuntaus. Vähäisempi merkitys oli rakennuksen sijainnilla, eristystasolla ja parvekkeen tiiviydellä.

Parvekelasit pidentävät parvekkeen vuotuista käyttöaikaa 1,0...2,5 kuukautta, säästävät energiaa 3,4-10,7 % ja mahdollistavat parvekkeen kohdalla olevan huoneen lämpötilan laskemisen 0,5 °C:tta lämpöviihtyvyyttä heikentämättä. Parvekelasien energiatalouteen vaikuttaa merkittävästi myös lasituksen käyttö. Lasitettu parveke on vielä energiaa säästävä, vaikka yksi lasi pidettäisiin aina täysin auki.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

HILLIAHO, KIMMO: Energy Saving Effects of the Balcony Glazing

Master of Science Thesis, 147 pages, 8 Appendix pages

August 2010

Major: Structural Engineering

Examiner: professor Matti Pentti, docent Juha Vinha

Keywords: Balcony, Balcony glazing, Glazed balcony, Energy saving

The objective of this study was to investigate the energy saving effects of balcony glazing with the help of field research and computer simulations. The purpose of field measuring was to clarify the surface temperatures of the balcony glass panes and balcony structures in detail, from a glazed and unglazed balcony. Furthermore, the temperatures of 23 balconies (of which 18 glazed and 5 unglazed) and 23 flats were monitored. The calculatory examinations included the reliability evaluation of the IDA ICE program and the case-specific evaluation of the energy saving in the apartment of 80m².

The temperatures of the outer surface of a balcony window, door and the background wall were 1,4-2,5 °C higher and the inner surface 1,0-2,8 °C lower on the glazed balcony as on the unglazed balcony. The inside temperatures of the balcony rose 3,1 °C and the inside temperature of the apartment fell 0,5 °C thanks to the balcony glazings. The temperature difference between the flats was directly proportional to the temperature difference between a glazed and an unglazed balcony. The balcony glazings were most beneficial in March, April and May and least beneficial in November.

The saving of the heating energy with the added balcony glazing was calculatory 5,9 % in the apartment of 80 m². The most (10,7 %) saving was gained in the buildings of the 1970's with integral balconies of which had been directed to the south and in which the incoming air was taken through these glazed balconies. The least (3,4 %) saving was gained in the buildings of the 2010's with outside balconies of which had been directed to the east and in which the incoming air was taken from outside the balcony. The three most important factors that affect the energy saving were the supply air solution, balcony type and orientation of the building. The location, isolation level of the building and air tightness of the balcony were of smaller significance.

The balcony glasses will extend the annual use of the balcony 1,0...2,5 months, save energy 3,4-10,7 % and enable the lowering of 0,5 °C of the inner temperature of the flat without weakening its thermal comfort. In addition to climatic and structural factors, the use of balcony glasses has a big effect on the energy saving. The glazed balcony stays energy saving even if one glass is always open.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksella Lumon Oy:n toimeksiannosta. Työn ohjaajina toimivat dosentti Juha Vinha ja diplomi-insinööri Kimmo Lähdesmäki Rakennustekniikan laitokselta sekä Erkki Hilliaho Lumon Oy:stä. Työn tarkastivat professori Matti Pentti ja dosentti Juha Vinha.

Haluan kiittää Juha Vinhaa ja Kimmo Lähdesmäkeä työn aikana saamastani asiantuntevasta opastuksesta ja Erkki Hilliahoa mielenkiintoisesta tutkimusaiheesta, innostavasta asenteesta ja lukuisista neuvoista tutkimuksen aikana. Lumon Oy:tä kiitän työn rahoittamisesta ja VVO:ta (Valtakunnallinen vuokratulo-osuuskunta) avusta mittauskohteiden hankinnassa. Kiitokset kuuluvat myös Equa Simulation Finland Oy:n ohjelmistoasiantuntija Mika Vuolteelle IDA-ICE -ohjelman käytön opastuksesta ja arkkitehti Timo Silomaalle Archicad -mallien luomisesta. Lisäksi haluan kiittää Kristiina Keroa, jonka opinnäytetyötään mukailleen ovat syntyneet alkusanat, käsitteet ja määritelmät- osion napakat määritelmäkuvaukset sekä opinnäytetyössä käytetty selkeä esitystapa taulukoinneissa.

Esitän suuret kiitokset vanhemmilleni saamastani tuesta opiskeluun ja diplomityön tekemiseen. Erityiskiitokset kuuluvat vaimolleni Heljälle, joka on kärsivällisesti tukenut minua ja hoitanut pientä Irja-tyttöä diplomityön viimeisten viikkojen aikana.

Tampereella 31.08.2010

Kimmo Hilliaho

SISÄLLYS

| | |
|--|-----|
| Tiivistelmä | II |
| Abstract | III |
| Alkusanat | IV |
| Käsitteet ja määritelmät..... | VII |
| Merkinnät, lyhenteet ja vakiot | IX |
| 1. Johdanto | 1 |
| 1.1. Taustaa | 1 |
| 1.2. Tavoitteet | 1 |
| 1.3. Tutkimuksen suoritus | 2 |
| 1.4. Rajaukset | 3 |
| 2. Lämmönsiirron teoria ja parvekelasitusten lämpötekkinen tarkastelu..... | 4 |
| 2.1. Lämmön siirtymismuodot | 4 |
| 2.1.1. Johtuminen..... | 4 |
| 2.1.2. Säteily | 6 |
| 2.1.3. Konvektio | 7 |
| 2.2. Parvekelasien ominaisuudet ja lämmönsiirto..... | 8 |
| 2.2.1. Parvekelasien ominaisuudet..... | 8 |
| 2.2.2. Lämmönsiirto lasiosassa | 10 |
| 2.2.3. Lämmönsiirto karmi- ja puiteosassa..... | 11 |
| 3. Parvekkeen lämpötase | 13 |
| 3.1. Parveke osana kerrostaloa..... | 13 |
| 3.1.1. Rakennuksen energiankulutuksen osatekijät | 13 |
| 3.1.2. Rakennusten ominaisenergiankulutus | 14 |
| 3.2. Parvekkeiden lämpötiloihin vaikuttavat säätekijät..... | 16 |
| 3.2.1. Suomen sääolot..... | 16 |
| 3.2.2. Auringon säteily..... | 17 |
| 3.2.3. Pinnan kokonaissäteily | 22 |
| 3.2.4. Ulkolämpötila | 24 |
| 3.2.5. Ulkolämpötilan paikallinen vaihtelu..... | 27 |
| 3.2.6. Tuulisuus..... | 32 |
| 3.3. Lasitetun parvekkeen energiataloudellinen tarkastelu | 34 |
| 3.3.1. Lasitetun parvekkeen energiatase | 35 |
| 3.3.2. Energiatalouteen vaikuttavat rakenteelliset tekijät | 36 |
| 3.3.3. Lasitetun parvekkeen energiataloudellinen käyttö | 38 |
| 3.3.4. Yksinkertaistettu laskentaesimerkki | 39 |
| 4. Kenttämittaukset | 41 |
| 4.1. Koekohteet ja tutkittavat parvekkeet..... | 41 |
| 4.2. Mittausten aikataulu | 43 |
| 4.3. Mittausjärjestelmät..... | 44 |
| 4.3.1. Tietokonelaitteistolla suoritettavat pintalämpötilamittaukset | 45 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.3.2. | Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden seuranta..... | 49 |
| 4.4. | Huoneiston olosuhteiden kertamittaukset | 49 |
| 4.4.1. | Ilmanvaihdon kertamittaus ja ilmatiiviyden mittaaminen | 50 |
| 4.4.2. | Asukkaiden haastattelu | 51 |
| 5. | Energiasimuloinnit | 52 |
| 5.1. | Yleistä | 52 |
| 5.2. | Laskentamallin verifiointi | 52 |
| 5.3. | Energialoudellisten vaikutusten arviointi tapauskohtaisesti varioimalla | 57 |
| 6. | Kenttämittausten tulokset..... | 62 |
| 6.1. | Pintalämpötilamittaukset..... | 62 |
| 6.1.1. | Yleistä | 62 |
| 6.1.2. | Parvekkeiden lämpötilat | 63 |
| 6.1.3. | Huoneistojen lämpötilat..... | 67 |
| 6.1.4. | Ikkunan pintalämpötilat | 71 |
| 6.1.5. | Oven pintalämpötilat | 79 |
| 6.1.6. | Seinän pintalämpötilat | 86 |
| 6.1.7. | Parvekelasituksen pintalämpötilat | 93 |
| 6.2. | Parveke- ja huoneilman lämpötilojen seuranta | 95 |
| 6.2.1. | Yleistä | 95 |
| 6.2.2. | Lämpötilaolosuhteet parvekkeilla..... | 96 |
| 6.2.3. | Lämpötilaolosuhteet huoneistossa | 101 |
| 6.2.4. | Parvekeratkaisujen energialous ja siihen vaikuttavat tekijät | 105 |
| 7. | Energiasimulointien tulokset..... | 115 |
| 7.1. | Laskentamallin verifiointien tulokset | 115 |
| 7.1.1. | Yleistä | 115 |
| 7.1.2. | Parvekkeiden lämpötilat | 115 |
| 7.1.3. | Huoneiston lämpötilat..... | 120 |
| 7.1.4. | Parvekelasituksella saavutettu energiansäästö..... | 122 |
| 7.2. | Variointien tulokset..... | 123 |
| 7.2.1. | Yleistä | 123 |
| 7.2.2. | Laskennallinen energiansäästö tapauskohtaisesti | 124 |
| 8. | Parvekelasit Saksan ilmasto-olosuhteissa | 130 |
| 8.1. | Saksan ilmasto-olosuhteet..... | 130 |
| 8.2. | Tarkasteltava elementtikerrostalo | 131 |
| 8.3. | Energiasimuloinnit ja niiden tulokset | 132 |
| 9. | Yhteenveto ja johtopäätökset | 137 |
| 9.1. | Yleistä | 137 |
| 9.2. | Kirjallisuuskatsaus | 137 |
| 9.3. | Kenttätutkimukset | 139 |
| 9.4. | Tietokonesimuloinnit | 141 |
| | Lähteet..... | 144 |
| | Liitteet | 147 |

KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT

| | |
|---|---|
| Emissiviteetti | Pinnan kyky heijastaa pitkäaaltoista, silmin havaitsematonta lämpösäteilyä, jonka aallonpituus on $> 16\,000\text{ nm}$. |
| Huoneistoala | Ala, jonka rajoina ovat huoneistoa ympäröivien seinien ja huoneiston sisällä olevien kantavien ja muiden koko rakennukselle välttämättömien rakennusosien huoneiston puoleiset pinnat. Yksikkö hm^2 . |
| IFC | Industry Foundation Classes. Kansainvälinen rakennusalan tietosisällön määrittelystandardi, jonka avulla tietoa voidaan siirtää tietojärjestelmien välillä. |
| Ilmanvaihto | Huoneen ilman vaihtaminen hyvän sisäilman laadun ylläpitämiseksi. |
| Ilmanvuotoluku n_{50} | Vuotoilmavirta 50 Pa :n sisä- ja ulkoilman välisellä paineerolla rakennuksen ilmatilavuutta kohti laskettuna. Kuvaa rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä. Yksikkö $1/\text{h}$. |
| Ilmatilavuus V | Rakennuksen ilmatilavuus: huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo. Välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Huoneiston ilmatilavuus: huoneiston sisäpintojen rajoittaman tilakappaleen tilavuus. Väliseiniä ja välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Yksikkö m^3 . |
| Johtuminen | Johtumisessa lämpöenergia siirtyy molekyylien liike-energiana molekyylistä toiseen. Johtuminen on ainoa lämpöenergian siirtymismuoto kiinteissä aineissa. |
| Konvektio | Konvektiossa kaasu tai neste virtaa ulkopuolisen voiman (pakotettu konvektio) tai lämpötilaerojen aiheuttamien tiheyserojen (luonnollinen konvektio) vaikutuksesta. Lämpöenergia siirtyy virtaavan ilman mukana. |
| Kokonaisenergiankulutus | Lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus sekä kiinteistö- ja kotitaloussähkönkulutus. |

| | |
|------------------------------|---|
| Kylmäsilta | Rakennuksen vaipan kohta, jonka läpi kulkeva lämpövirta on suurempi kuin ympäröivän rakenteen läpi kulkeva lämpövirta. |
| Lämmönjohtavuus | Lämmönjohtavuus (λ) ilmoittaa lämpömäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen lämpötilaero on yksikön suuruinen. |
| Lämmönläpäisykerroin | Lämmönläpäisykerroin (U) ilmoittaa lämpömäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välissä on yksikön suuruinen. Yksikkönä on W/m^2K . |
| Lämmönvastus | Lämmönvastus, R, ilmoittaa rakennusosan tai – ainekerroksen lämmönsiirtymisvastuksen. Lämmönvastus lasketaan kaavalla $R=d/\lambda$. Yksikkö $((m^2K)/W)$ |
| Ominaiskulutus | Rakennuksen lämpöenergiankulutus rakennustilavuutta kohden (kWh/m^3). |
| Sisäiset lämpökuormat | Ihmiskehon, valaistuksen ja sähkölaitteiden lämmöntuotto rakennuksessa. Käytetään myös termiä lämpösaanto. |
| Suhteellinen kosteus | Ilman suhteellinen kosteus (φ , RH) ilmoittaa kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä kyllästyskosteuspitoisuuteen verrattuna tietyssä lämpötilassa. |
| Säteily | Säteilyssä lämpöenergia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. Säteilylämmönsiirto ei tarvitse väliainetta ja se on tehokkain tyhjiössä. |

MERKINNÄT, LYHENTEET JA VAKIOT

| | |
|-----------------|---|
| A | Huoneistoala, m ² |
| h | Huoneen korkeus, m |
| n ₅₀ | Ilmanvuotoluku, 1/h |
| V | Asunnon ilmatilavuus, m ³ |
| RH | Suhteellinen kosteus, % |
| T | Lämpötila, °C |
| V | Tilavuus, m ³ |
| U | Lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K) |
| R | lämmönvastus, (m ² K)/W |
| W | Säteilyteho, W/m ² |
| d | Paksuus, m |
| t | Aika, s |
| Δt | Lämpötilaero, °C |
| q | Lämpövirran tiheys W/m ² |
| Φ | Lämpövirta, W |
| λ | Lämmönjohtavuus, W/(mK) |
| ρ | Heijastuskerroin, - |
| τ | Läpäisykerroin, - |
| α | Absorptiokerroin, - |
| σ | Stefan-Bolzmännin säteilyvakio (5,67 x 10 ⁻⁸ W/(m ² K ⁴)), W/(m ² K ⁴) |
| ε | Emissiviteetti, - |

Tämä diplomityön toinen painos sisältää tarkennukset, jotka on tehty Alkusanoihin ja Käsitteet ja määritelmät- osioon. Alkusanoissa on haluttu huomioida tekstissä näkyvä Kristiina Keron kädenjälki ja Käsitteet ja määritelmät- osiossa lähteet, joista määritelmäkuvaukset ovat peräisin. Alapuolella on luettelo Käsitteet ja määritelmät- osion tekemiseen käytetyistä lähteistä:

Kero K. Matalaenergia-asuinrakennusten energiatehokkuus ja sisäilmasto. Diplomityö. Tampere 2010. Tampereen teknillinen yliopisto, energia- ja prosessitekniikan laitos. 84 s.

Lähdesmäki K. Raketerm-julkisivuelementillä verhottujen ulkoseinärakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta. Diplomityö. Tampere 2009. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma. 100 s. +16 liites.

Ääri P. Ikkunan lämmönläpäisy. Diplomityö. Tampere 1997. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennetekniikan laitos. 77 s. +79 liites.

Linne S. Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä. Diplomityö. Tampere 2010. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. (julkaistaan lähiaikoina)

1. JOHDANTO

1.1. Taustaa

Vuoden 2009 lopussa Suomessa oli 1 433 980 rakennusta, 1 092 363 erillistä pientaloa ja 56 228 asuinkerrostaloa [1]. Asuntoja kerrostaloissa on yli 1,2 miljoonaa ja rivitaloissa lähes 400 000. Suurin osa kerrostaloasunnoista on varustettu asuntokohtaisella ulkotilalla eli parvekkeella. Yleisin parveketyyppi on ulkoneva pieliseiniin tuettu betoniparveke [2].

Kerrostaloasumisessa parveke toimii asunnon ulkotilana. Se tarjoaa lähimmän yhteyden ulkoilmaan, jossa voi kohdata ympäristön ja ulkoilmaolosuhteet. Lasitettuna se suojaa parvekettä säärasituksilta, vaimentaa liikenteen aiheuttamaa melua ja pidentää parvekkeen käyttöaikaa syksyllä ja keväällä. Lisäksi lasitettu parveke voi toimia myyntivalttina asunnon myynissä ja vuokramarkkinoilla.

Parvekelasitusten yhteydessä keskustellaan usein niiden energiataloudellisista vaikutuksista. Keskustelun taustalla on tieto lasitettujen parvekkeiden lämpötilojen pysymisestä lähes poikkeuksetta muutamia asteita ulkolämpötiloja korkeampina. Tämä alentaa parvekkeen taustaseinän lämpöhäviöitä sisältä ulospäin ja pienentää tällä tavalla rakennuksen energiankulutusta. Aikaisemmat arviot energiansäästön suuruudesta ovat perustuneet asiantuntija-arvioihin ja aika suppeisiin kenttämittauksiin. Tässä tutkimuksessa selvitettiin laajojen kenttätutkimusten ja monipuolisten tietokonesimulaatioiden avulla energiansäästöön vaikuttavia tekijöitä ja suuruusluokkia erilaisissa tilanteissa. Tarkastelun kohteena olivat Lumon Oy:n avautuvat parvekelasitukset.

1.2. Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteet olivat:

1. Selvittää kenttätutkimusten avulla lasitettujen parvekkeiden lämpötilat eri tyyppisistä ja eri olosuhteissa olevista parvekkeista ja verrata niitä vastaavissa olosuhteissa olevien lasittamattomien parvekkeiden lämpötiloihin.
2. Tutkia laskennallisten tarkastelujen avulla parvekkeen taustaseinän, ikkunan ja oven lämpöhäviöitä lasitetulla ja lasittamattomalla parvekkeella.
3. Selvittää parvekelasien vaikutusta huoneiston ja koko rakennuksen energiankulutukseen laskennallisesti.

4. Selvittää parveketyypin, ilmansuunnan ja lämmöneristävyyden vaikutus lasitettujen parvekkeiden energiataloudelliseen hyötyyn.
5. Arvioida erikseen, mikä vaikutus on rakennuksen sijainnilla, parvekkeen tiiviydellä ja tuloilman esilämmityksellä (rakennuksen tuloilma lasitetulta parvekkeelta) parvekelasituksesta saatavaan energiataloudelliseen hyötyyn.

1.3. Tutkimuksen suoritus

Osa 1: Kenttätutkimus

Tutkimuksen aikana suoritettiin kenttämittaus tietokonelaitteistolla kahdella Tampereella sijaitsevalla parvekkeella, joista toinen oli lasitettu ja toinen lasittamaton. Parvekkeet sijaitsivat lounaisjulkisivulla päällekkäisissä huoneistoissa. Kenttämittauslaitteistolla mitattiin lämpötiloja rakennuksen ulkopuolelta, parvekkeiden sisältä ja huoneistoista sekä pintalämpötiloja parvekeseinän, -oven ja -ikkunan sekä parvekelasituksen sisä- ja ulkopuolelta. Kenttämittauslaitteisto sisälsi mm. tietokoneen, dataloggerin ja mittausanturien kytkentälaatikot sekä TTY:llä valmistetut pintalämpötila-anturit. Kenttämittauslaitteisto oli toisen tutkittavan huoneiston sisällä koko tutkimuksen ajan.

Lisäksi seurattiin 18 lasitetun ja viiden lasittamattoman parvekkeen sekä niitä vastaavien huoneistojen ilman lämpötiloja ja suhteellista kosteutta pienten paristokäyttöisten loggerianturien avulla. Seurannan tarkoitus oli kerätä tietoa parveketyypin (parveketorni vs. sisäänvedetty parveke), ilmansuunnan, kerroskorkeuden sekä parvekeseinän, -oven ja -ikkunan ominaisuuksien vaikutuksesta lasitettujen parvekkeiden lämpötiloihin. Kenttätutkimukset suoritettiin 1.7.2009 – 31.5.2010 välisenä aikana. Kenttätutkimus kesti noin 10 kuukautta.

Osa 2: Laskennalliset tarkastelut

Laskennalliset tarkastelut tehtiin ensisijaisesti IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) 4.0 –ohjelmistolla. Tämän lisäksi käytettiin Dof-Lämpö ja Dof-Energia ohjelmia. Laskennalliset tarkastelut sisälsivät laskentamallin verifiointin ja energiataloudellisten vaikutusten tapauskohtaisen arvioinnin varioimalla. Verifiointilla osoitettiin vuonna 1979 valmistuneen 1+6-kerroksisen asuinkerrostalon kenttämittaus- ja simulointituloksia vertailemalla IDA-ICE -ohjelman laskentatarkkuuden riittävän laskennallisiin tarkasteluihin ja varioinnilla arvioitiin parveketyypin (sisäänvedetty vs. ulkoneva parveke), ilmansuunnan ja lämmöneristävyyden sekä rakennuksen sijainnin ja parvekkeen tiiviydän vaikutusta parvekelaseilla saavutettavaan energiansäästöön rakennuksessa. Lisäksi selvitettiin kuinka paljon lasitetun parvekkeen energiataloudellisia vaikutuksia voidaan parantaa ottamalla rakennuksen tuloilma

esilämmitettynä lasitetulta parvekkeelta. Laskelmissa tarkasteltiin lasitettuja parvekkeita Suomen ja Saksan ilmasto-olosuhteissa.

1.4. Rajaukset

Tutkimuskohteiden seurannan helpottamiseksi ja hankekustannusten pienentämiseksi kaikki tutkitut parvekkeet sijaitsevat Tampereella ja ovat pääasiassa vuokra-asuntoja. Ne on valittu ensisijaisesti saatavuuden perusteella, eivätkä siksi edusta parhaalla mahdollisella tavalla tutkittavia ikäryhmiä, ilmansuuntia ja parveketyyppejä. Kattava aineisto parvekkeista on vain 1970- ja 2000- luvun rakennuksista.

Laskennallisia tarkasteluja on yksinkertaistettu variointien ja Saksan ilmasto-olosuhteita koskevien tarkastelujen osalta. Energiataloudellisten vaikutusten tapauskohtaisessa arvioinnissa oletettiin kaikkien parvekkeiden olevan samankokoisia ja lasitettuja vain yhdeltä sivulta. Ilmansuunnista käsiteltiin vain neljää pääilmansuuntaa ja myös ulkopuolinen varjostus jätettiin tarkastelujen ulkopuolelle. Ottamalla mukaan parvekkeiden koon, lasitusasteen ja parveketyypin monipuolisemmat vaihtelut sekä ulkopuolisen varjostuksen ja väli-ilmansuunnat olisi laskentatapaukset voitu helposti kolminkertaistaa nykyisestä 256 kappaleesta. Niiden käsittely jätettiin kuitenkin laskentaresurssien puutteen vuoksi mahdollisiin jatkoprojekteihin.

Parvekelasituksien energiataloudellisia vaikutuksia käsiteltiin Saksan ilmasto-olosuhteissa vain laskennallisesti ja yhdessä WBS70- järjestelmän elementtikerrostalossa. Saksan sää tietona käytettiin IDA-ICE -ohjelman omaa Berliinin sää tietoa ja rakennuksen ominaisuudet valittiin kirjallisuuskatsauksen perusteella. Lämmitystapa, ilmanvaihtomäärät ja asumistottumukset oletettiin olevan samanlaisia Saksassa kuin Suomessa. Tarkemman käsityksen parvekelasituksen energiataloudellisista vaikutuksista Saksan ilmasto-olosuhteissa olisi saanut sijoittamalla loggeriantureita Saksalaisiin kerrostaloihin ja perehtymällä Saksan kerrostalorakentamiseen paremmin. Tulokset antavat kuitenkin hyvän yleiskäsityksen energiansäästön suuruusluokista ja tarjoavat hyvän lähtökohdan mahdollisiin jatkotutkimuksiin.

2. LÄMMÖNSIIRRON TEORIA JA PARVEKELASITUSTEN LÄMPÖTEKNINEN TARKASTELU

2.1. Lämmön siirtymismuodot

Lämpö on molekyylien värähtelyä. Värähtelevä aine voi olla kiinteää ainetta, nestettä tai kaasua. Lämmönsiirto on lämpötilaeroista johtuvaa energian siirtoa. Lämmön siirtyminen tapahtuu aina lämpimästä kylmempään päin lämpöopin sääntöjen mukaisesti. Lämpö siirtyminen voi tapahtua kolmella fysikaalisesti erilaisella tavalla; johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla.

2.1.1. Johtuminen

Lämmön johtumisessa molekyylien liike-energia siirtyy sisäisten värähtelyjen vaikutuksesta molekyylistä toiseen. Sitä voi tapahtua kiinteissä aineissa, nesteissä ja kaasuissa. Merkittävintä se on kuitenkin kiinteissä aineissa. [4.]

Lämpövirran tiheys q (W/m^2) on suoraan verrannollinen lämpötilaeroon ja se voidaan jatkuvuustilassa laskea kaavalla 2.1:

$$q = \lambda \frac{(t_1 - t_2)}{d} \quad (2.1)$$

missä

| | |
|-------------|--|
| λ | materiaalin lämmönjohtavuus ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) |
| $t_1 - t_2$ | materiaalikerroksen yli vallitseva lämpötilaero (K) |
| d | materiaalikerroksen paksuus |

Materiaalin lämmönvastus R ($(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$) kuvaa materiaalin paksuuden d ja lämmönjohtavuuden λ suhdetta d/λ . Se voidaan määrittää kaavalla 2.2:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2.2)$$

Mikäli rakenne koostuu useasta homogeenisestä ainekerroksesta, voidaan lämpövirran tiheys q laskea kaavalla 2.3:

$$q = \frac{(t_1 - t_2)}{\Sigma R} \quad (2.3)$$

Kokonaislämpövirta Q materiaalin läpi lasketaan kaavalla 2.4:

$$Q = qA = \lambda A \frac{t_1 - t_2}{d} \quad (2.4)$$

missä

Q = lämpövirta (W)

A = pinta-ala (m²)

Taulukossa 2.1 on esitetty tyypillisimpien rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuksia λ . Niiden lukuarvot vaihtelevat hieman lähteestä riippuen. [4; 5.]

Taulukko 2.1. Eräiden tyypillisten rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuksia λ [4; 5].

| Aine | Lämmönjohtavuus λ (W/m·K) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Polyuretaani | 0,024...0,045 |
| Polystyreeni (XPS) | 0,037... 0,050 |
| Solupolystyreeni (EPS) | 0,037...0,045 |
| Mineraalivilla | 0,031...0,055 |
| Polyesterikuitu | 0,045 |
| Puukuitueriste | 0,035...0,049 |
| Korkki | 0,045...0,055 |
| Solulasi | 0,06...0,07 |
| Lastuvillalevy | 0,075...0,10 |
| Sahanpuru-kutterinlastu | 0,049... 0,14 |
| Kevytsora | 0,10...0,13 |
| Kevytbetoni | 0,10...0,18 |
| Kevytsorabetoni | 0,20...0,28 |
| Huokoiset – kovat puukuitulevyt | 0,044...0,13 |
| Vaneri | 0,11...0,15 |
| Kipsilevy | 0,15...0,22 |
| Lastulevy | 0,15 |
| Puu | 0,14 |
| Tiili muurattuna | 0,5...1,0 |
| Rappauslaastit | 0,9...1,2 |
| Betoni | 1,0...2,0 |
| Teräs | 50...70 |

2.1.2. Säteily

Säteilyssä energia siirtyy valon nopeudella liikkuvan sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Säteilystä syntyy, kun aineen atomeissa ja molekyyeissä olevien elektronien paikat muuttuvat. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella lähettävät eli emittoivat säteilyä. Lämpöenergian siirtyminen säteilynä ei vaadi väliainetta kuten johtuminen tai konvektio, vaan väliaine voi päinvastoin hidastaa säteilyn etenemistä pintojen välillä. [3.]

Eniten säteilyä emittoi ns. musta kappale, jonka kokonaissäteily E_b voidaan laskea kaavalla 2.5:

$$E_b = \sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.5)$$

missä

| | |
|----------|---|
| σ | Stefan-Bolzmännin vakio ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4\text{)}$) |
| T | Säteilyä lähettävän kappaleen pinnan lämpötila (K) |

Kaavalla 2.6 voidaan määrittää pintojen todellinen säteilyteho E (W/m^2). Se on aina pienempi kuin ns. mustan kappaleen emittoima säteilyteho E_b .

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2.6)$$

Suhdetta E/E_b kutsutaan pinnan emissiviteetiksi ε (-). Sen arvot vaihtelevat 0-1 välillä pinnasta riippuen. Suurimmalla osalla rakennusmateriaaleja pinnan emissiviteetti on huonelämpötila-alueella välillä 0,8-0,95. Taulukossa 2.2 on esitetty joidenkin huonelämpötilassa olevien pintojen emissiviteettejä.

Taulukko 2.2. Esimerkkejä eri pintojen emissiviteeteistä huonelämpötila-alueella [4].

| Pinta | Emissiviteetti ε |
|--------------------------|------------------------------|
| Alumiini | |
| - kirkas | 0,09 |
| - oksidoitunut | 0,20 – 0,33 |
| Betoni, karkea | 0,94 |
| Kattohuopa | 0,92 – 0,94 |
| Kipsi | 0,80 – 0,90 |
| Lumi | 0,82 |
| Lasi | 0,94 |
| Maalit, lakat | |
| - alumiiniväri | 0,27 – 0,62 |
| - valkoinen maali | 0,90 – 0,97 |
| - musta maali | 0,80 – 0,97 |
| Puu | 0,80 – 0,90 |
| Poltettu tiili | 0,91-0,93 |
| Kalkkihiekkatiili | 0,90 |

Pintaan osuessaan säteily osittain heijastuu pinnasta ja osittain absorboituu pintaan. Läpäisevissä materiaaleissa kuten lasissa osa säteilystä tunkeutuu vielä materiaalin läpi. Eri säteilykomponenttien osuutta kokonaissäteilystä kuvataan seuraavilla kertoimilla:

ρ = heijastuskerroin (-)

α = absorptiokerroin (-)

τ = läpäisykerroin (-)

Edellä mainittujen kertoimien kesken on voimassa yhtälö (2.7):

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.7)$$

Rakennusfysiikassa tarkastellaan yleensä materiaaleja (lasia lukuun ottamatta), joilla ei ole merkittävää läpäisykerrointa. Näin ollen pinnan heijastuskerroin voidaan laskea yleensä kaavalla 2.8.

$$\rho = 1 - \alpha \quad (2.8)$$

Taulukossa 2.3 on esitetty eräiden materiaalien heijastuskertoimia.

Taulukko 2.3. Eräiden materiaalien pintojen heijastuskertoimia [4].

| Pinta | Heijastuskerroin ρ |
|------------------------------------|-------------------------|
| Valkoinen maali, valkoinen rappaus | 0,7 |
| Uusi lumi | 0,85 |
| Vanha lumi | 0,65 |
| Vaaleat värit, keltainen tiili | 0,5 |
| Betoni, tummanpunainen tiili | 0,3 |
| Tummat värit | 0,15 |
| Tumma kattohuopa, musta väri | 0,1 |

2.1.3. Konvektio

Konvektio on lämmön siirtymistä kaasun tai nesteen virtauksen mukana joko pakotettuna tai luonnollisesti. Pakotetussa konvektiossa virtauksen synnyttää jokin ulkopuolinen voima (esim. tuuli tai ilmanvaihtolaite) ja luonnollisessa konvektiossa lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero. [6.]

Rakennustekniikassa konvektio on merkittävä lämmönsiirtymisen muoto rakennuksen vaipan ulko- ja sisäpinnalla. Rakennusvaipan ulkopinnalla konvektio on lähes aina pakotettua ja ilman virtausnopeus pinnan lähellä melko suuri. Tästä syystä konvektiolla on yleensä mm. säteilyä suurempi merkitys ulkopinnan kokonaislämmönsiirtymistä tarkasteltaessa. Sen sijaan rakennuksen vaipan sisäpuolella konvektiolla on yleensä

säteilyä pienempi merkitys, koska sisäpinnan konvektiovirtaukset ovat yleensä pieniä. [7.]

Rakenteiden läpi tapahtuvaa konvektiota aiheuttaa sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero. Erilaiset työvirheet ja liian harva tuulensuoja lisää konvektion vaikutusta tuulisella säällä. Lisäksi rakenteissa voi esiintyä sisäistä konvektiota pintojen välisistä lämpötilaeroista johtuen. Tätä esiintyy huokoisissa lämmöneristeissä, kun lämmöneristyspaksuus on huomattavan suuri. [8.]

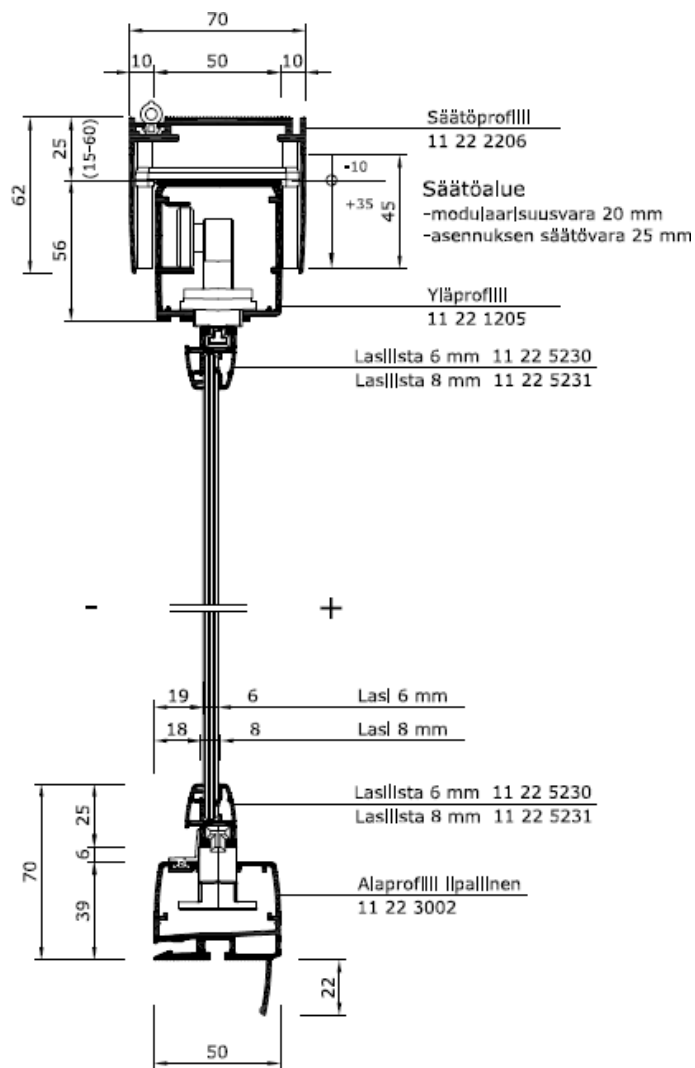
2.2. Parvekelasien ominaisuudet ja lämmönsiirto

2.2.1. Parvekelasien ominaisuudet

Lumon Oy:n parvekelasitusjärjestelmät ovat alumiiniprofiileista, alumiinilistoista ja lasilevyistä koostuvia rakennustuotteita, jotka paikalleen asennettuina muodostavat läpinäkyvän lasiseinän parvekkeen kaiteen ja katon väliin. Lasiseinä koostuu tyypillisesti 5-6 parvekelasista, jotka voidaan yksinkertaisten liu`utus- ja avautumismekanismien välityksellä avata ja sulkea tarpeen mukaan. Järjestelmässä on kirkkaat float -lasit, eristämättömät alumiiniprofiilit ja suhteellisen epätiivis rakenne.

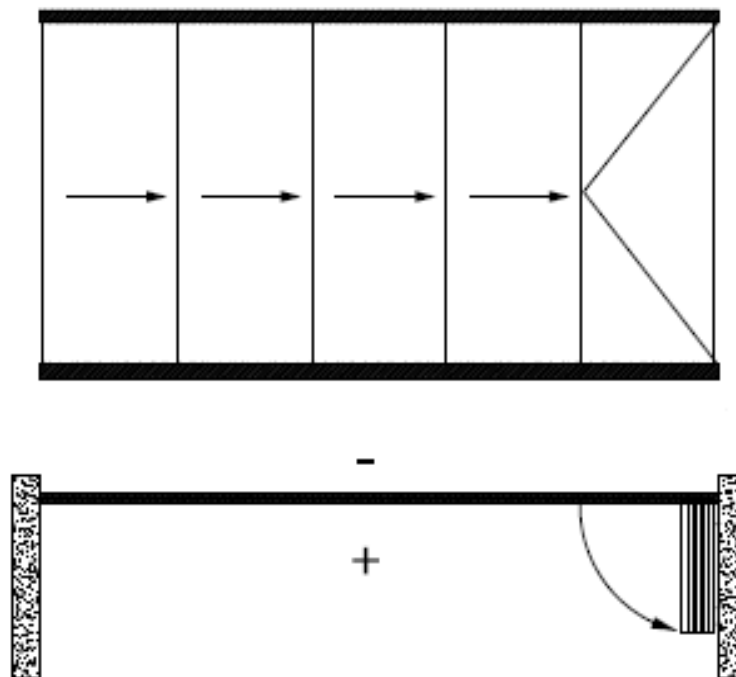
Ikkunoiden tapaan parvekelasitus voidaan jakaa lämpötekniisessä mielessä kahteen erilliseen osaan; lasilevyistä muodostuvaan lasiosaan sekä alumiiniprofiileista ja -listoista koostuvaan ns. karmi- ja puiteosaan. Vaakasuoria alumiiniprofiileja on lasituksessa yleensä kaksi. Niiden avulla parvekelasitus kiinnitetään parvekkeen kaiteeseen ja kattoon. Yläprofiilin kiinnitys suoritetaan Lumon 5 -mallissa joko säätöprofiilin tai kiinnityskulmien avulla. Alaprofiilin kiinnitys tapahtuu kiinnityskulmilla tai suoralla kiinnityksellä profiilin pohjan läpi. Lämmöneristävyys parvekelasituksella on heikompi kuin 1 -lasisella puuikkunalla. [9.]

Alumiiniprofiileihin on kiinnitetty lasilevyt lasilistojen ja saranoiden avulla. Lasilistat sijaitsevat lasilevyn ylä- ja alapäässä ja tukeutuvat alumiiniprofiileihin saranoidensa välityksellä. Parvekelaseja liikuteltaessa saranat liukuvat urissaan alumiiniprofiilien sisällä kuvan 2.2 mukaisesti ja lukkiutuvat profiileissa oleviin pesiin lasia aukaistaessa. [9.]



Kuva 2.2. Parvekelasituksen leikkauskuva [9].

Tavallisesti parvekelasitusjärjestelmässä on viisi lasia, joista neljä lasia liukuu ja viisi avautuu (kuva 2.3). Ensimmäinen lasi on kiinteästi paikoillaan saranoiden välityksellä. Se avataan kahvasta ja lukitaan tuuletusasettoon tai täysin auki narulukon avulla. Muut lasit liu'utetaan ensimmäistä lasia vasten ja käännetään sivuun ensimmäisen lasin viereen. [9.]



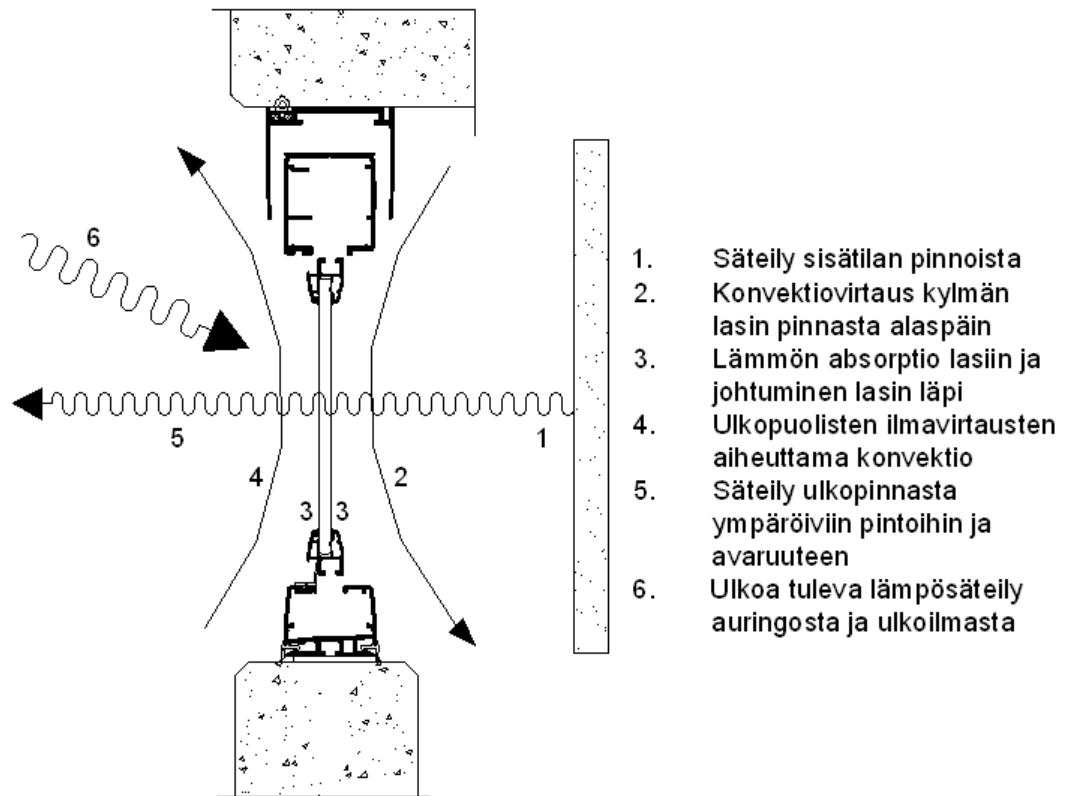
Kuva 2.3. Tavallisesti parvekelasitusjärjestelmässä on viisi lasia, joista neljä lasia liukuu ja viisi avautuu [9].

Lumon 5 lasituksessa on lasin koko moduloitu porrastamalla lasin leveys ja korkeus 20 mm välein. Sovittaminen parvekkeen rakenteeseen toteutetaan reunatiivisteiden, kiinnitysten ja säätöprofiilien avulla. Parvekelasien välissä on 2 - 3 mm:n välit parvekkeen tuulettumista varten. Vedenohjaukseen käytetään vesipeltiä, joka on muovipinnoitettua teräsohutelvyä tai alumiinipeltiä. Järjestelmään voidaan lisäksi liittää täydentäviä rakenteita kuten auringonsuojasäleikköjä ja väliseiniä. [9.]

2.2.2. Lämmönsiirto lasiosassa

Parvekelasituksen lasiosan lämmönsiirto tapahtuu kuvassa 2.4 esitetyn periaatteen mukaisesti. Lasin pintaan osuva auringon valo ja lyhytaaltoinen lämpösäteily jakautuu kolmeen osaa; pinnasta takaisin heijastuvaan, lasin läpäisevään ja pintaan absorpoituvaan säteilyyn. Pintaan absorpoituva säteily lämmittää lasia, jonka lämmennyt lasi luovuttaa edelleen säteilemällä sisälle ja ulos pitkäaaltoisena säteilynä. Sisätilan pinnat vuorostaan säteilevät pintalämpötilansa mukaista pitkäaaltoista

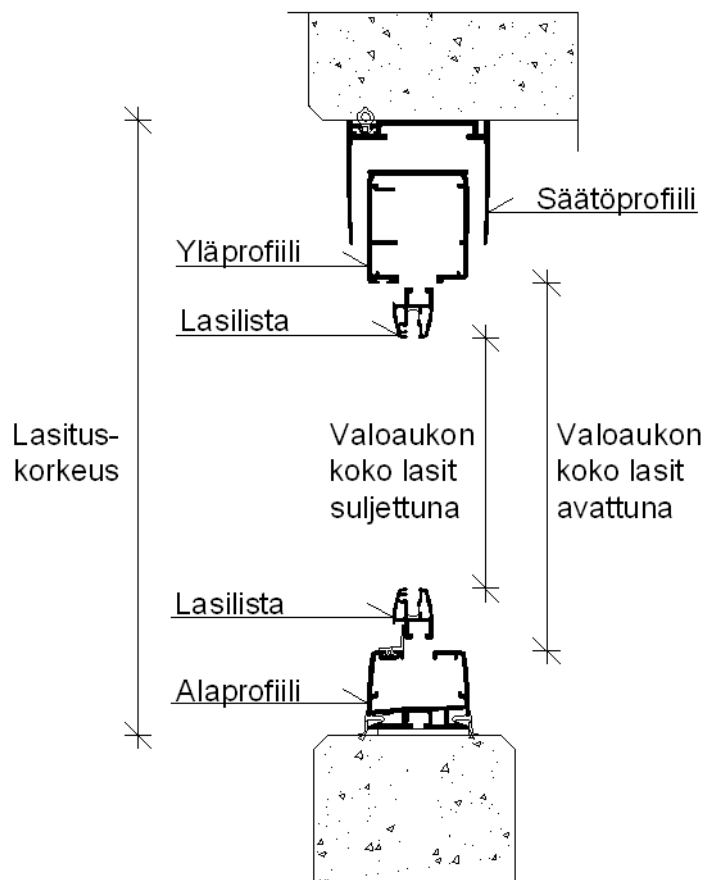
lämpösäteilyä, joka suurimmaksi osaksi absorboituu lasiin. Lasiin absorboitunut lämpö lämmittää jälleen lasia, joka taas säteilee lämmön ympäröiviin kylmempihin pintoihin. [10.]



Kuva 2.4. Periaatekuva lämmön siirtymisestä parvekelasituksen lasiosassa.

2.2.3. Lämmönsiirto karmi- ja puiteosassa

Parvekelasituksen karmi- ja puiteosa eli lasilistat ja alumiiniprofiilit on esitelty kuvassa 2.5 Karmi- ja puiteosan ala koko parvekelasituksen alasta on tavallisessa viiden lasin suorassa parvekelasituksessa noin 10 %. Mikäli karmen ja puiteosan lämmöneristävyys on samaa luokkaa kuin lasiosan, on niiden osuus lämpöhäviöistä myös noin 10 %. Todellisuudessa heikosti tiivistetyn karmi- ja puiteosan lämmöneristävyys on huonompi kuin lasiosan, jolloin niiden suhteellinen osuus lämpöhäviöistä on suurempi kuin 10 %. Toisaalta myös lasiosa sisältää epätiiviyiskohtia 2-3 mm lasivälien takia, jolloin lasiosan eristävyys ei ole yhtä hyvä kuin 6 mm karkaistun lasin ($U\text{-arvo} = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Lasituskorkeuden kasvattaminen pienentää karmi- ja puiteosan suhteellista osuutta lasituksesta ja parantaa siten parvekelasituksen lämmöneristävyttä. Lasituspituuden eli lasimäärien kasvattaminen vuorostaan heikentää lasiosan lämmöneristävyttä, koska lasivälien aiheuttamat ilmavirtojen kulkureitit lisääntyvät lasituksessa.



Kuva 2.5. Karmi- ja puiteosaan kuuluvien osien määrittely.

Lämpö siirtyy karmi- ja puiteosassa johtumalla, konvektiolla ja säteilemällä. Profiilien ja lasilistojen sisällä lämpö siirtyy johtumalla nopeasti lämpimästä kylmempään alumiinin hyvän lämmönjohtokyvyn ansiosta. Säteilylämmönsiirtoa on havaittavissa onttojen alumiiniprofiilien sisällä ja pinnoissa erityisesti aurinkoisina kesäpäivinä, jolloin profiilit ovat lämmenneet auringon säteilyn vaikutuksesta. Profiilien ja lasilistojen väliset raot aiheuttavat konvektiovirtausta, joka voimistuu lämpötilaerojen kasvaessa. Karmi- ja puiteosan lämmöneristävyuden laskemiseksi on olemassa laskentakaavoja, jotka eivät kuitenkaan sovellu profiilirakenteille. Näiden lämmönvastus voidaan määrittää kokeellisesti mittaamalla.

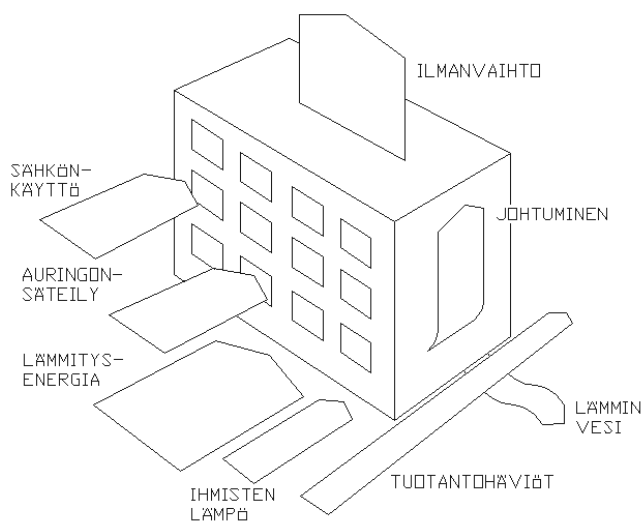
Parvekelasituksen lasiosan ja ns. karmi- ja puiteosan lisäksi parvekkeen lämpötalouteen vaikuttavat parvekkeen muiden rakenteiden lämpötekniset ominaisuudet ja liitosten tiiviystaso. 1970- luvun kerrostalojen umpinaiset betonikaiteet ja pieliseinät ovat yleensä suhteellisen umpinaisia ja selkeästi tiiviimpiä kuin esimerkiksi metallirakenteiset ryppypeltikaiteet. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että rakennuksen julkisivupinnan ulkopuolella oleva ulkoneva parveke on epätiivimpi ja alttiimpi tuulten vaikutuksille kuin rakennuksen suojassa oleva sisäänvedetty parveke.

3. PARVEKKEEN LÄMPÖTASE

3.1. Parveke osana kerrostaloa

3.1.1. Rakennuksen energiankulutuksen osatekijät

Rakennusten lämmitys kuluttaa Suomessa noin 20 % kaikesta energiankulutuksesta [11]. Rakennusten lämmönkulutuksesta noin 80 % tulee lämmöntuotannosta ja 20 % ilmaisenergiolina muun muassa ihmisten ja laitteiden tuottamana lämpönä [12]. Rakennusten energiankulutuksen osatekijöitä havainnollistetaan yleensä energiataseen avulla. Se muodostuu sisälle tulevasta (tuotetusta) ja ulos menevästä (kulutetusta) energiasta.



Kuva 3.1. Rakennuksen energiatase.

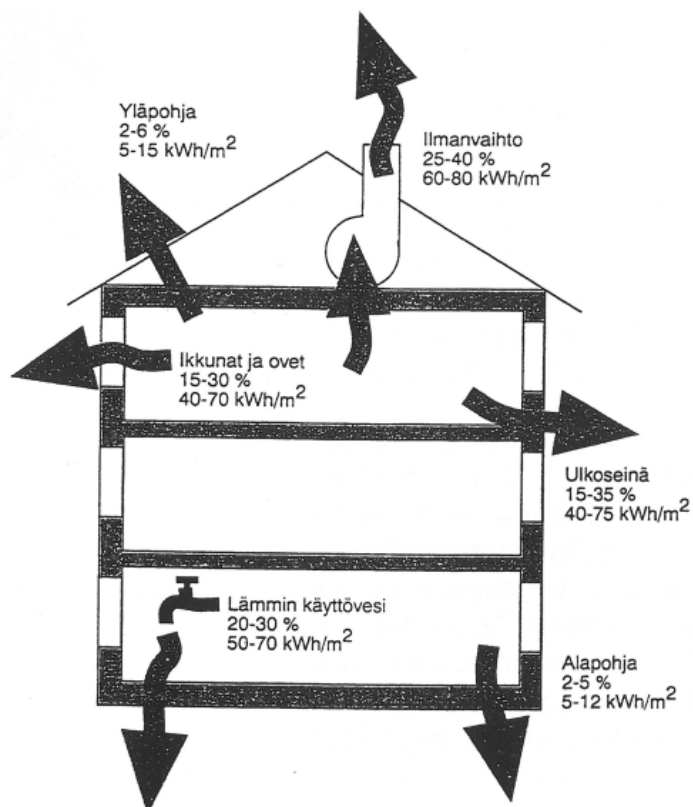
Rakennukseen tuotavaa energiaa ovat [6.]:

- lämmitysenergia, joka tuotetaan lämmitysjärjestelmällä
- taloussähkö (kodinkoneet, sähköelektroniikka yms.)
- ihmisten luovuttama lämpö
- auringon säteily

Rakennuksesta poistuvaa energiaa ovat [6.]:

- ikkunoiden, ovien ja ulkoseinien kautta johtumalla, konvektiolla ja säteilemällä siirtyvä energia
- ilmanvaihtoilman mukana poistuva energia
- lämpimän veden mukana poistuva energia

Lämmitysenergiaa poistuu rakennuksesta useaa eri kautta (kuva 3.2). Eri kirjallisuuslähteissä on esitetty erilaisia esitystapoja ja osuuksia ulkovaipan eri rakennusosille, ilmanvaihdolle ja käyttövedelle. Esimerkiksi kerrostalojen lämmitysenergiasta 15 – 35 % poistuu ulkoseinien kautta, 15 – 30 % ikkunoista ja ovista sekä 4 – 11 % ylä- ja alapohjasta rakennusten energiateknisistä ominaisuuksista riippuen. Vaipan kautta poistuvan lämmitysenergian määrään vaikuttaa vaipan eri rakenteiden pinta-alat, U-arvot ja vallitsevat lämpötilaerot sekä lämpötilaerojen vaikutusajat ja ilmavuodot. Ilmanvaihdon kautta poistuvaan energiavirtaan vaikuttaa ilmavirtojen suuruus, vallitseva lämpötilaero ja ilmanvaihdon käyttöaika sekä mahdollinen lämmön talteenotto. Lämpimän käyttöveden kulutukseen vaikuttavat hanojen virtaamat, virtaamien käyttöajat ja veden lämpötila sekä putkiston lämpöhäviöt ja järjestelmän vuodot. Jonkin verran lämmitysenergiasta kuluu myös tuotanto- ja siirtohäviöihin. [13.]



Kuva 3.2. Asuinkerrostalon lämmitysenergian energiavirtoja. Kuvasta nähdään, että rakennuksen vaipan, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden kulutuksessa on huomattavaa vaihtelua rakennuksen energiateknisistä ominaisuuksista riippuen [13].

3.1.2. Rakennusten ominaisenergiankulutus

Rakennusten ominaisuuksien, lämmityksessä käytettävien polttoaineiden ja rakennusten koon vaihteluiden vuoksi lämmitysenergian kulutusta tarkastellaan yleensä

ominaiskulutuksena. Yleensä ominaiskulutus lasketaan rakennustilavuutta (ulkotilavuutta) kohti. Kulutus voidaan laskea myös kerrosalaa, lattiapinta-alaa (huoneistoalaa) tai asukasta kohti. [6.]

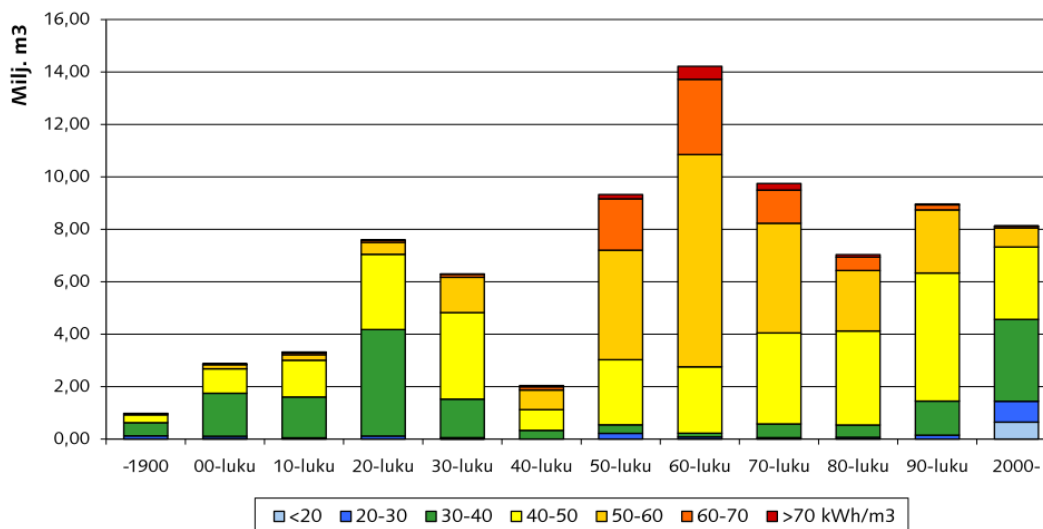
Ominaiskulutus riippuu mm. seuraavista tekijöistä [6.]:

- rakennuksen sijainti (makro- ja mikroilmasto)
- vaipparakenteiden eristystaso
- ikkunoiden rakenne, koko ja suuntaus
- rakennuksen tiiviys
- lämmitysjärjestelmä(lämmöntuotto ja -jako)
- rakennustyyppi ja -koko
- käyttötottumukset (sisälämpötila, tuuletus, ilmanvaihto, lämmin vesi, sähkölaitteiden käyttö)

Vaihtelu ominaiskulutuksissa johtuu rakennusten iästä, lämmityslaitteiden kunnosta, ilmanvaihdosta, käyttäjästä ym. seikoista. Huomattavan vaikutuksen energiankulutukseen tuo ihmisten käyttötottumukset. Kahden samanlaisen pientalon ominaiskulutuksien suhde voi olla jopa suurempi kuin 1:2 pelkästään erilaisten käyttötottumuksien johdosta. Kerrostaloissa ei näin suuria eroja ole, koska suuressa asukasjoukossa keskimääräiset kulutustavat eivät poikkea kovin paljon toisistaan. [6.]

Lämpötaloutta parantavien toimenpiteiden kansantaloudellinen vaikutus on suurin 1950-, 1960- ja 1970- lukujen asuinkerrostaloissa. Nämä rakennukset edustavat suurta osaa Suomen kerrostalokannasta ja kuluttavat lämmitysenergiaa muuta rakennuskantaa enemmän. Kuvan 3.4 mukaisesti 50-, 60- ja 70- lukujen rakennuksissa on paljon kuluttavia (yli 60 kWh/m³) kiinteistöjä runsaasti. Ennen 1950- lukua ja 1970- luvun jälkeen rakennettujen asuinkerrostalojen ominaiskulutukset ovat pienempiä.

Kaukolämmitykseen liitettyjen asuinkerrostalojen ominaiskulutus 2008



Kuva 3.3. Kaukolämmitykseen liitettyjen asuinkerrostalojen ominaiskulutukset Helsingissä vuonna 2008 [14].

3.2. Parvekkeiden lämpötiloihin vaikuttavat säätökijät

Luvun 3.1.2 mukaisesti rakennuksen ominaisenergiankulutukseen ja erityisesti parvekkeen lämpötiloihin vaikuttaa merkittävästi rakennuksen paikallinen sijainti. Sen merkitys näkyy erityisesti ulkoilman lämpötiloissa, sääolosuhteissa ja auringon säteilyn määrässä. Myös rakennuspaikan avoimuudella ja kiinteistöllä sijaitsevilla esteillä on vaikutusta energiankulutukseen. Ulkopuoliset esteet vaikuttavat rakennukseen lankeavan auringon säteilyn määrään ja rakennuspaikan avoimuus tuulten muodostumiseen rakennuksen ympärillä. Tässä luvussa käsitellään parvekkeiden lämpötiloihin vaikuttavia ilmastollisia tekijöitä.

3.2.1. Suomen sääolot

Suomen ilmastoon vaikuttavista tekijöistä tärkein on maan sijainti 60. ja 70. leveysasteen välillä Euroasian mantereen luoteisreunalla. Ilmasto on ns. väli-ilmasto eli alueella on sekä meri- että mannerilmaston piirteitä sen mukaan, mistä ilmavirtaukset ja

matala- ja korkeapaineet kulloinkin tulevat. Suomi kuuluu kokonaan lumi- ja metsäilmaston kostea- ja kylmätalviseen tyyppiin. Lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on vähintään +10 °C:tta ja kylmimmän enintään +3 °C:tta. Sadetta esiintyy kaikkina vuodenaikoina kohtuullisesti. [15.]

Talvi on Suomen vuodenaajoista pisin. Se kestää maan lounaisosissa noin 100 päivää ja Lapissa 200 päivää. Pysyvä lumipeite sataa avoimille maille noin kaksi viikkoa talven alkamisen jälkeen ja sen paksuus on suurimmillaan maaliskuun puolivälin tienoilla. Napapiirin pohjoispuolella vallitsee osan talvea polaariyö, jolloin aurinko ei nouse horisontin yläpuolelle. Talven kylmin aika on yleensä tammikuussa, jolloin alimmat lämpötilat ovat Lapissa ja Itä-Suomessa välillä -45...-50 °C:tta ja muualla Suomessa välillä -35...-45 °C:tta. Rannikolla ja saaristossa lämpötilat ovat yleensä noin kymmenen astetta korkeammalla. [15.]

Kevät on Suomen vuodenaajoista lyhin. Se kestää vain kuudesta yhdeksään viikkoon. Meren viileyden takia se kestää pisimpään rannikolla ja saaristossa. Napapiirin pohjoispuolella on kesällä polaaripäiviä, jolloin aurinko ei laske horisontin alapuolelle. Kesän korkeimmat lämpötilat ovat Suomen manneralueilla +32 °C:n ja 35 °C:n välillä. Syksyllä lämpötila laskee pysyvästi alle +10 °C:n ja se merkitsee kasvukauden vähittäistä päättymistä. Syksyn ensimmäiset lumisateet tulevat yleensä Pohjois-Suomessa syyskuussa ja muualla maassa lokakuussa. [15.]

3.2.2. Auringon säteily

Säteily avaruudesta

Aurinko on maapallon tärkein energianlähde. Sen energiantuotanto perustuu fuusio reaktioon, jonka seurauksena syntyy sähkömagneettista säteilyä. Joka sekunti muuttuu 654 miljoonaa tonnia vetyä 650 tonniksi heliumia ja näin syntyvä erotus, 4 tonnia, muuttuu energiaksi. Ilmakehän ulko-osiin tuleva auringon säteilyn kokonaisteho, $I_{sol,O}$ (W/m^2) on keskimäärin $1340 W/m^2$. Tätä säteilytehoa kutsutaan myös aurinkovakioksi. Todellisuudessa se ei ole kuitenkaan vakio, vaan vaihtelee $1280 - 1370 W/m^2$ riippuen auringon ja maan välisestä etäisyydestä. [3; 16; 17.]

Ilmakehän lävitse tulevan auringonsäteilyn säteilyteho on maan pinnalla, $I_{sol,N}$ (W/m^2), keskellä kirkasta päivää noin 800 - 1000 wattia neliometriä kohden [18].

Säteilytehon tiheys maan pinnalla lasketaan kaavalla 3.1:

$$I_{sol,N} = I_{sol,O} \tau^m \quad (3.1)$$

missä

τ ilmakehän läpäisykerroin
 m suhteellinen läpäisymassa eli säteen ilmassa kulkeman matkan suhde lyhimpään mahdolliseen matkaan

Suhteellinen läpäisymassa lasketaan kaavalla 3.2:

$$m = \sec Z = 1/\cos Z = 1/\cos(90^\circ - \beta) \quad (3.2)$$

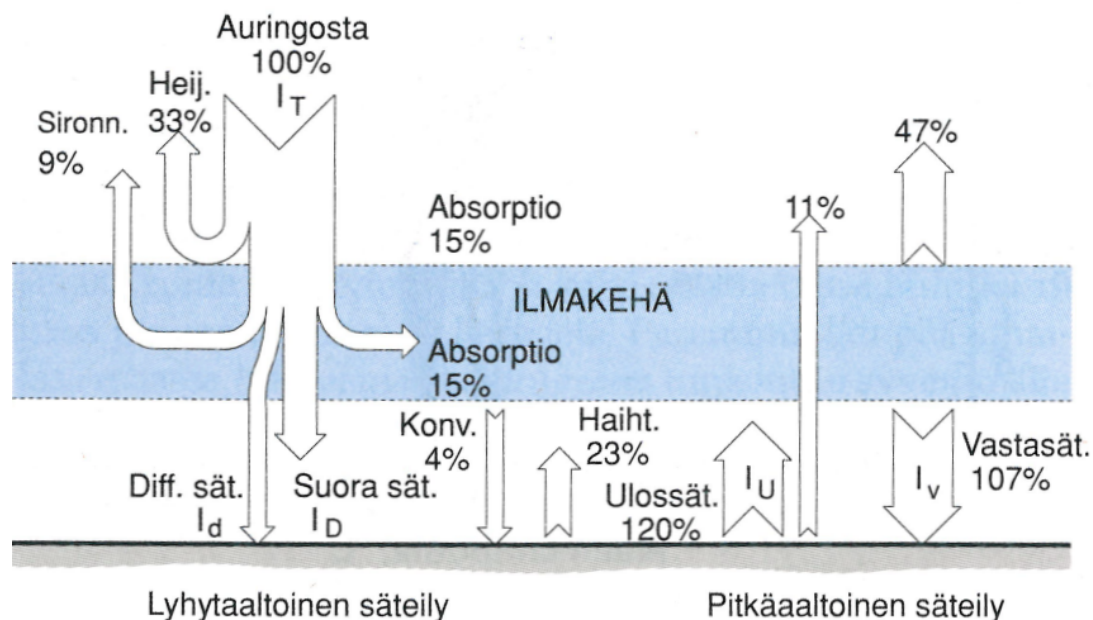
missä

Z auringon etäisyys zeniitistä (zeniitti = suoraan havaitsijan yläpuolella oleva taivaanpallon piste).
 β auringon korkeuskulma

Ilmakehän läpäisykerroin, τ , vaihtelee arvojen 0,62 (pilvinen sää) ja 0,81 (kirkas sää) välillä. Keskiarvo on noin 0,7. [3.]

Maapallon lämpötase

Maapallon lämpötila on tärkeä kaiken elämän kannalta. Sen määrää maapallon lämpötase, jonka tärkeimmät säteilylämpövirrat näkyvät kuvassa 3.5.



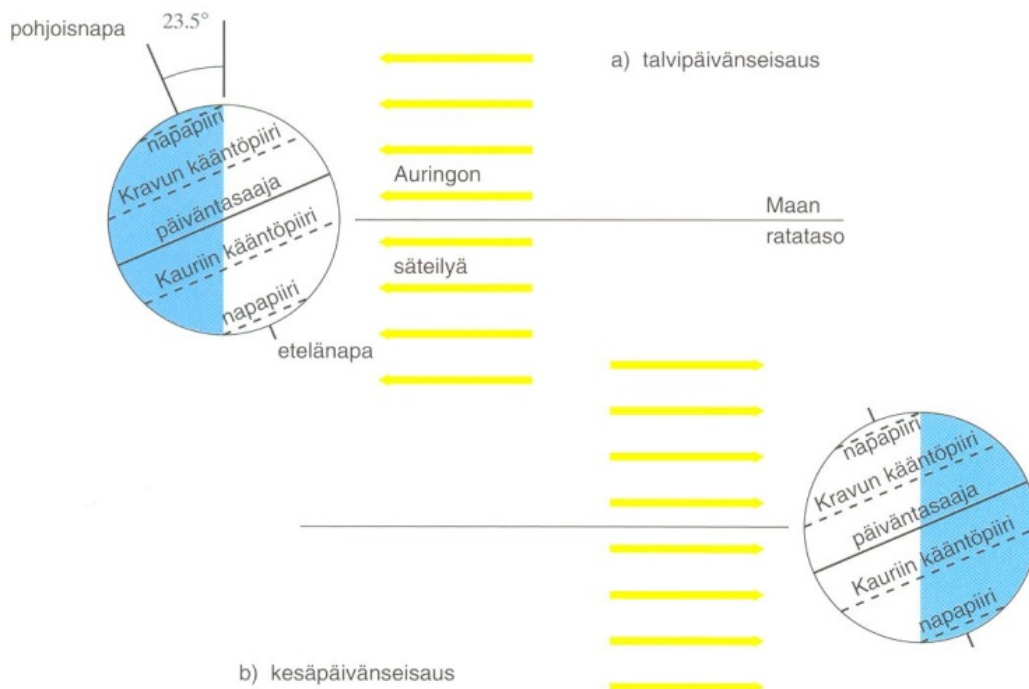
Kuva 3.5. Maapallon lämpötase ja siihen vaikuttavat tärkeimmät lämpövirrat ja niiden prosentuaaliset osuudet [19].

Auringon lyhytaaltoisesta säteilystä osa (33 %) heijastuu ilmakehästä takaisin avaruuteen, osa (15 %) absorboituu ilmakehään ja osa (9 %) siroaa eri suuntiin

ilmakehässä leijuvista partikkeleista ja suurimolekyylisistä kaasuista. Maan pinnan lämpötaseeseen vaikuttaa myös konvektio ilmakehän ja maanpinnan välillä sekä veden haihtuminen maanpinnasta. Tärkeän osan lämpötaseesta muodostaa myös pitkäaaltoinen säteily, joka lyhytaaltoista säteilyä heikommin läpäisee ilmakehän. Tällöin osa maanpinnalta tulevasta pitkäaaltoisesta säteilystä heijastuu ilmakehästä takaisin maahan. [19.]

Auringon sijainti

Pinnalle lankeavan säteilyn määrittämiseksi on tärkeää tuntea auringon sijainti maahan nähden. Siihen vaikuttavat vuodenaika, leveyspiiri ja kellonaika. Auringon asema on ääriasennoissaan talvi- ja kesäpäivänseisauksen aikana. Syys- ja kevättasauspisteissä muuttuu maan ekvaattorin (pyörimisakselia kohtisuora taso) ja auringon välinen kulma (dekliinaatio) eteläisestä pohjoiseksi tai vastaavasti pohjoisesta eteläksi. Syystasauspisteessä on auringon suurin pohjoinen dekliinaatio ($23^{\circ}27'$ N) ja kevättasauspisteessä suurin eteläinen dekliinaatio ($23^{\circ}27'$ S). [20.]

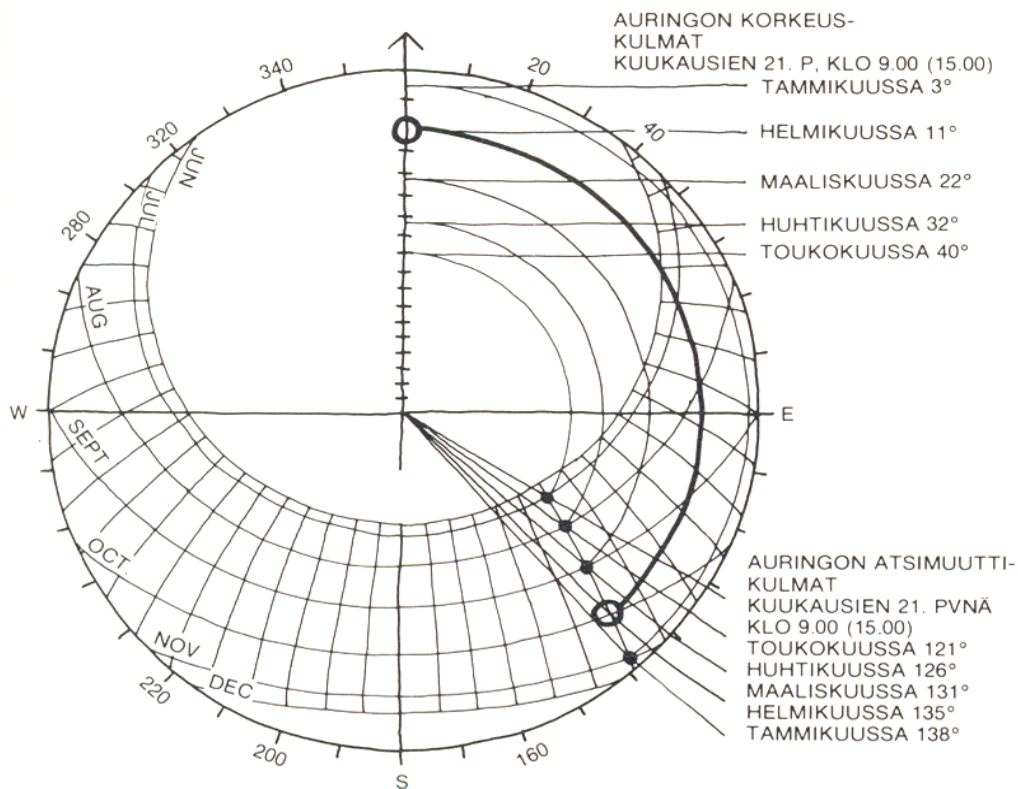


Kuva 3.6. Auringon asema ääriasennoissaan eli a) talvipäivänseisauksen ja b) kesäpäivänseisauksen aikana [16].

Kun aurinko on kevät- ja syystasauspisteissä, ovat päivä ja yö yhtä pitkiä kaikkialla maapallolla. Kevätpäivänseisauksaikaan (21.6) pohjoisella pallonpuoliskolla päivä on pisimmillään ja talvipäivänseisauksen aikaan (21.12) lyhimmillään. Talvipäivänseisauksen aikana aurinko paistaa keskipäivällä kohtisuoraan kauriin käänntöpiirillä ja kesäpäivänseisauksen aikana kravun käänntöpiirillä [19].

Kesäpäivänseisauksen aikana, 22. kesäkuuta, päivän pituus on Helsingissä vähän yli 18 tuntia ja napapiirin pohjoispuolella 24 tuntia. Vuoden pimeimpänä aikana on Helsingissä hyvin vähän auringonpaistetta. Marraskuun 20. päivästä lähtien aina loppiaiseen asti (6.1.) on aurinko näkyvissä keskimäärin alle tunnin. Sen jälkeen paisteen keskiarvo kasvaa aluksi hitaasti, kunnes maaliskuun puolivälissä saavutetaan keskimäärin 5 tunnin paisteaika. Vuoden maksimi, noin 10 tuntia päivässä, saavutetaan Helsingissä toukokuun lopulla ja tämä keskiarvo kestää kesä- heinäkuun vaihteeseen saakka. 5 tunnin alapuolelle keskiarvo siirtyy syyskuun puolivälissä. Aurinko on pohjoisella pallonpuoliskolla aikana 21.3. - 23.9. eli 186 vuorokautta ja eteläisellä pallonpuoliskolla 23.9. - 21.3. eli 179 vuorokautta. [20; 21.]

Auringon aseman taivaalla määrää korkeuskulma β ja auringonatsimuutti ψ , joka kertoo, montako astetta paistekulma poikkeaa pohjoissuunasta ympyrän ollessa 360 astetta. Auringon suurin korkeuskulma ja aurinkoatsimuutti riippuvat paikkakunnan leveyspiiristä ja auringon deklinaatiosta. Aurinko on korkeimmillaan kello 12.00 aurinkoaikaa, joka vastaa likimain Suomen talviaikaa. Kesällä aurinko on korkeimmillaan Suomessa noin kello 13.00. Aurinkoatsimuutti ja korkeuskulma riippuvat vuoden- ja vuorokaudenajasta sekä auringon deklinaatiosta. Ne voidaan määrittää aurinkokartan avulla.



Kuva 3.7. 60. leveyspiirin aurinkokartta. Karttaan on merkitty auringon vaaka- ja korkeuskulma eri kuukausien 21. päivänä klo 9.00 [22].

Auringon suurin korkeuskulma eri vuodenaikoina voidaan määrittää kaavalla 3.3:

$$\beta = 90^\circ - (L + \delta) \quad (3.3)$$

missä

L leveyspiiri
 δ deklinaatiokulma

Deklinaatiokulma vaihtelee vuodenajan mukaan ja se saadaan kaavasta 3.4:

$$\delta = 23^\circ 27' \sin(360(284 + n)/365) \quad (3.4)$$

missä

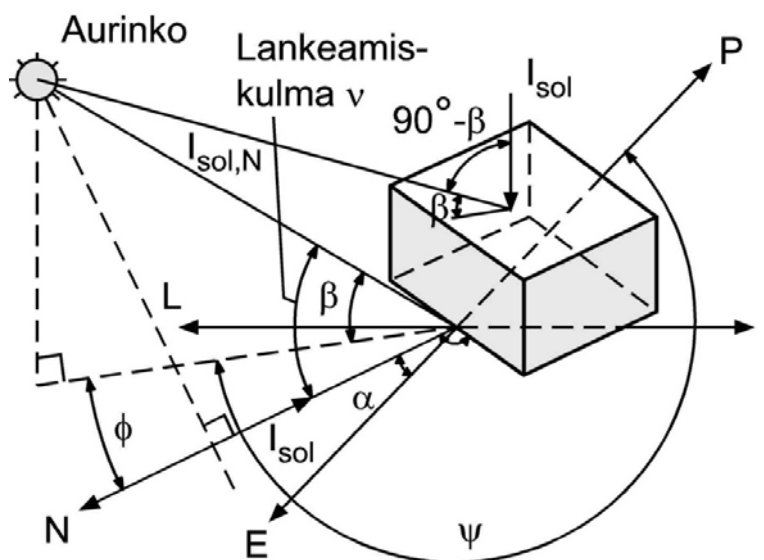
n päivän järjestysnumero alkaen ensimmäisestä tammikuuta

Taulukossa 3.1 on esitetty Helsingin, Berliinin ja Malagan suurimmat ja pienimmän auringon korkeuskulmat kaavalla 3.4 laskettuna.

Taulukko 3.1. Muutamassa Euroopan kaupungissa havaitut Auringon suurimmat (21.6) ja pienimmät (21.12) korkeuskulmat.

| Kaupunki | Leveyspiiri | Suurin korkeuskulma | Pienin korkeuskulma |
|----------|-------------|---------------------|---------------------|
| Helsinki | 60°17' | 53°1' | 6°56' |
| Berliini | 52°33' | 60°76' | 14°22' |
| Malaga | 36°40' | 76°55' | 30°01' |

Rakennuksen pintaan osuva auringon säteilyteho voidaan määrittää kuvan 3.8 perusteella.



Kuva 3.8. Auringonsäteiden suuntakulmat rakennuksen pinnoilla [3].

kuvassa

| | |
|----------|---|
| ψ | Atsimuuttikulma |
| Φ | Seinän aurinkoatsimuutti |
| β | Auringon korkeuskulma |
| ν | Lankeamiskulma |
| α | Seinän normaalin n poikkeama eteläsuunnasta |

Atsimuuttikulma saadaan kaavasta 3.5:

$$\psi = 180^\circ + \Phi + \alpha \quad (3.5)$$

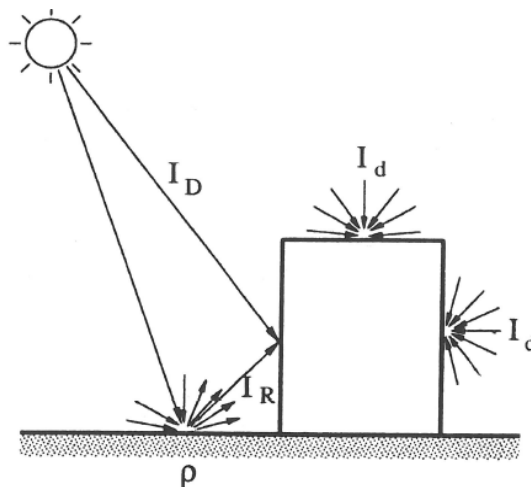
Seinälle pinnan normaalin suunnassa tuleva auringon säteilyteho saadaan kaavasta 3.6:

$$I_{\text{sol}} = I_{\text{sol},N} \cos \nu \quad (3.6)$$

3.2.3. Pinnan kokonaissäteily

Pintaan osuva kokonaissäteily muodostuu kolmesta osasta (kuva 3.9)

1. Suora auringonsäteily I_D on auringosta suoraan pintaan tuleva säteily.
2. Hajasäteily eli diffuusisäteily I_d on se osa auringonsäteilystä, joka on siroutunut tai muuttanut suuntaa ilmakehässä olevien ainehiukkasten takia ja hajaantunut suorasta auringonsäteilystä.
3. Heijastunut säteily I_R muodostuu suoran ja hajasäteilyn heijastumisesta jostakin pinnasta ympäristöön. [23.]

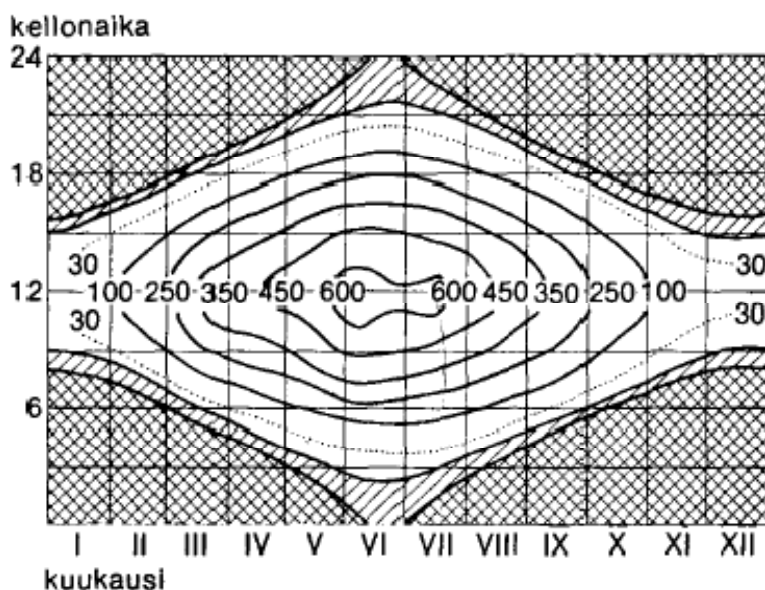


Kuva 3.9. Pinnan kokonaissäteily muodostuu suorasäteilystä I_D , hajasäteilystä I_d ja heijastuneesta säteilystä I_R [23].

Suoran säteilyn määrä riippuu auringon korkeuskulmasta ja sitä vastaavasta atsimuuttikulmasta, vastaanottavan pinnan suunnasta sekä ilmakehän läpäisykyvystä.

Hajasäteilyn määrä on yleensä selvästi pienempi kuin suoran, mutta kuitenkin merkittävä. Heijastuneeseen säteilyyn vaikuttaa ympäristön (maan pinnan) heijastussuhde ja se millaisessa ”kulmassa” tarkasteltava pinta ”näkee” heijastavan pinnan. Pilvisinä päivinä jopa koko auringonsäteily voi olla hajasäteilyä, kirkkaana kesäpäivänä sen osuus on noin 10 % ja keskimäärin Suomessa noin 50 %. [17; 19.]

Kokonais- ja hajasäteily saavuttavat vuoden maksimiarvonsa kesäkuussa ja heijastunut säteily maaliskuu- huhtikuussa. Kuvassa 3.10 on esitetty kokonaissäteilyn vuorokautinen ja vuotuinen vaihtelu sekä valoisa, hämärä ja pimeä aika Helsingissä. Kuvassa kuukaudet on merkitty vaaka-akselille ja kellonajat pystyakselille. Uloimmat käyrät esittävät auringon nousun ja laskun aikoja, muut käyrät kokonaissäteilyn voimakkuutta. Pystysuorilta riveiltä saadaan tietyn päivämäärän kokonaissäteilyn voimakkuudet vuorokauden eri aikoina ja vaakasuorilta riveiltä tietyn vuorokaudenajan kokonaisvoimakkuudet eri päivinä vuodessa. [6.]



Kuva 3.10. Kokonaissäteilyn vuorokautinen ja vuotuinen vaihtelu (W/m^2) sekä valoisa, hämärä ja pimeä aika Helsingissä (Ilmala) 1958...1967 [6].

Kuvasta 3.10 havaitaan, että keskipäivätuntien arvot Helsingissä marras- tammikuussa ovat noin $60 W/m^2$. Päivän pidentyessä kesää kohti lisääntyy keskipäivän säteily suhteellisen säännöllisesti ja on toukokuun lopulla noin $600 W/m^2$. Heinäkuun puolen välin jälkeen kokonaissäteilyn määrä keskipäivällä vähenee säännöllisesti talven alkuun saakka. [6.]

Vaakasuoralle pinnalle tulevaan säteilyenergiaan vaikuttaa ratkaisevasti havaintoaseman leveysaste. Esimerkiksi maan pohjoisosissa vuotuinen aurinkoenergiämäärä on noin $700 kWh/m^2a$, Keski-Suomessa noin $850 kWh/m^2a$ ja Etelä-Suomessa noin $900 kWh/m^2a$. Vertailun vuoksi esimerkiksi Saksan eteläosassa Münchenissä auringon

kokonaisenergiämäärä vuodessa on noin 1070 kWh/m² eli noin 1,5-kertainen Suomen pohjoisosiin verrattuna. [17.]

Pystysuorille pinnoille tulevaan auringonsäteily vaikuttaa ympäristön (maan pinnan) heijastussuhde ja se millaisessa ”kulmassa” tarkasteltava pinta ”näkee” heijastavan pinnan. Taulukossa 3.2 on esitetty erisuuntaisille pystysuorille pinnoille tulevan auringonsäteilyn vuorokausisummat 60. ja 70. leveysasteella. Taulukon mukaan etelään suuntautuvalla pinnalla lankeaa Etelä-Suomessa enemmän auringonsäteilyä helmikuussa kuin kesäkuussa ja pohjoiseen suuntautuvalla pinnalle heikosti kaikkina vuodenaikoina. Pohjois-Suomessa lankeaa auringon säteilyä melko tasaisesti kaiken suuntaisille pinnoille. [19.]

Taulukko 3.2. Eri suuntaisille pystysuorille pinnoille tuleva auringonsäteilyn vuorokausisummat joka kuukauden 15. päivänä pilvettömältä taivaalta [19].

| | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
|-------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 60°N | | | | | | | | | | | | |
| länsi- ja itäseinä | 1,7 | 4,3 | 8,1 | 11,9 | 14,4 | 15,0 | 14,2 | 12,1 | 9,3 | 5,6 | 2,4 | 1,2 |
| eteläseinä | 8,6 | 15,0 | 18,3 | 17,2 | 14,8 | 13,2 | 13,3 | 15,1 | 17,1 | 16,0 | 10,8 | 6,8 |
| pohjoisseinä | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 1,5 | 3,9 | 5,9 | 4,6 | 2,2 | 0,9 | 0,6 | 0,3 | 0,2 |
| lounais- ja kaakkoisseinä | 6,1 | 11,0 | 14,7 | 16,5 | 16,1 | 15,0 | 14,9 | 15,3 | 14,8 | 12,0 | 7,7 | 4,8 |
| luoteis- ja koillisseinä | 0,2 | 0,7 | 2,2 | 5,1 | 8,3 | 9,9 | 8,9 | 6,1 | 3,3 | 1,1 | 0,3 | 0,2 |
| etelärinne 45° | 7,2 | 13,7 | 19,8 | 23,8 | 25,3 | 25,3 | 24,6 | 23,4 | 20,6 | 15,7 | 9,1 | 5,3 |
| pohjoisrinne 45° | 0,4 | 0,8 | 1,3 | 3,1 | 9,8 | 14,2 | 12,0 | 5,3 | 1,6 | 1,0 | 0,5 | 0,3 |
| länsi- ja itärinne 45° | 1,8 | 5,1 | 10,1 | 16,3 | 20,9 | 22,6 | 21,2 | 17,4 | 12,2 | 6,8 | 2,7 | 1,2 |
| lounais- ja kaakkoisrinne 45° | 5,3 | 10,7 | 16,6 | 21,9 | 24,7 | 25,2 | 24,2 | 22,0 | 18,0 | 12,7 | 6,9 | 3,9 |
| luoteis- ja koillisrinne 45° | 0,4 | 1,1 | 3,7 | 9,0 | 13,9 | 16,5 | 15,0 | 10,6 | 5,6 | 1,9 | 0,5 | 0,3 |
| 70°N | | | | | | | | | | | | |
| länsi- ja itäseinä | — | 1,8 | 6,4 | 12,3 | 16,5 | 18,1 | 17,0 | 13,8 | 8,7 | 3,6 | 0,2 | — |
| eteläseinä | — | 8,4 | 16,6 | 18,5 | 17,7 | 16,6 | 16,6 | 17,4 | 17,5 | 12,3 | 1,8 | — |
| pohjoisseinä | — | 0,2 | 0,6 | 1,8 | 7,5 | 13,3 | 11,1 | 3,7 | 0,7 | 0,4 | 0 | — |
| lounais- ja kaakkoisseinä | — | 6,0 | 13,0 | 17,4 | 18,1 | 17,7 | 17,3 | 17,3 | 14,8 | 9,0 | 1,4 | — |
| luoteis- ja koillisseinä | — | 0,2 | 1,6 | 5,6 | 10,9 | 15,2 | 13,4 | 7,5 | 2,9 | 0,6 | 0 | — |
| etelärinne 45° | — | 6,7 | 15,7 | 22,2 | 25,7 | 26,9 | 25,9 | 23,3 | 18,5 | 10,6 | 1,4 | — |
| pohjoisrinne 45° | — | 0,4 | 1,0 | 3,0 | 10,0 | 17,5 | 14,4 | 5,6 | 1,4 | 0,6 | 0,1 | — |
| länsi- ja itärinne 45° | — | 1,8 | 7,0 | 14,8 | 21,1 | 24,6 | 22,6 | 17,3 | 10,1 | 3,7 | 0,2 | — |
| lounais- ja kaakkoisrinne 45° | — | 5,1 | 12,8 | 20,3 | 24,9 | 26,5 | 25,2 | 22,0 | 14,6 | 8,3 | 1,1 | — |
| luoteis- ja koillisrinne 45° | — | 0,4 | 2,2 | 7,5 | 14,0 | 19,9 | 17,4 | 10,2 | 4,1 | 0,9 | 0,1 | — |

1) Taulukkoarvot laskettu julkaisusta; Huovi—Pihlajavaara, Suomen ilmaston pääpiirteet erityisesti talvirakentamisti: silmälläpitäen, Helsinki 1956, taulukko 3. Alkuperäinen lähde; Lunelund, H, Bestrahlung verschieden orientierter Flächen in Finnland durch Sonne und Himmel. Helsinki 1940.

2) 1Ws/m² (= 1J/m²) = 0,28 kWh/m².

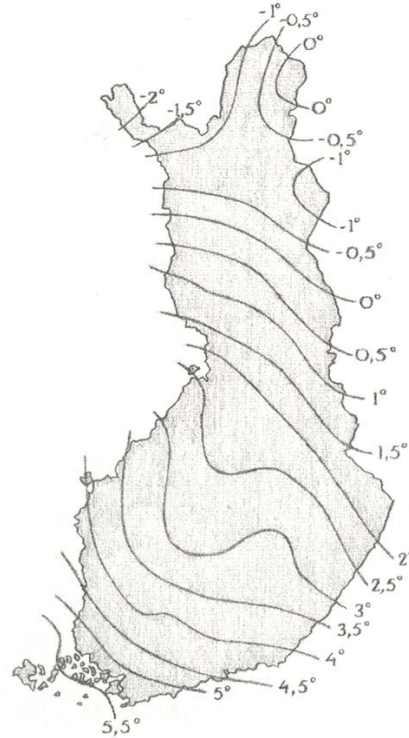
3.2.4. Ulkolämpötila

Rakennuksen lämpöhäviöitä tarkasteltaessa on ulkoilman lämpötila tärkein meteorologinen suure. Se vaikuttaa energiankulutuksen ohella myös mm. lämmityslaitteiden mitoittamiseen ja tehontarpeeseen. Rakennuksien energiankulutusta arvioidaan yleensä lämmitystarveluvun avulla, joka määräytyy ulko- ja sisälämpötilojen perusteella. Tästä suuresta käytetään myös nimitystä astepäiväluku.

Ulkolämpötila

Lämpötilat vaihtelevat tunnetusti voimakkaasti vuorokauden- ja vuodenajan mukaan. Myös maantieteellisestä sijainnista johtuvaa paikallista vaihtelua esiintyy runsaasti. Ilman lämpötilan keskiarvoja pidetäänkin keskimääräisten lämpötilaolojen parhaimpina kuvaajina. Vuorokauden keskilämpötila on tuntihavaintojen aritmeettinen keskiarvo ja

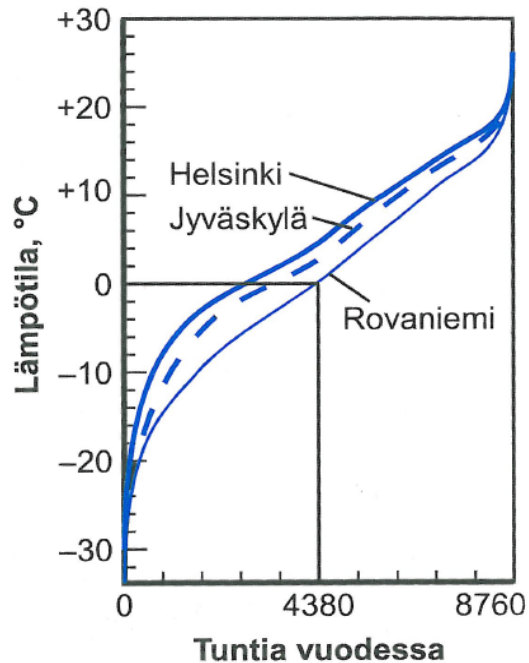
kuukausikeskiarvo vastaavasti vuorokausikeskiarvojen aritmeettinen keskiarvo. Kuvassa 3.12 on vuoden keskilämpötilat vuosijaksolla 1931 - 1960. [6.]



Kuva 3.12. Vuoden keskilämpötilat (vuosijakso 1931 - 1960) [6].

Ulkolämpötilan pysyvyys

Parvekkeiden lämpötiloja tarkasteltaessa on usein tarpeellista tietää tiettyjen lämpötilojen, kuten maksimi- ja minimilämpötilojen kesto. Tätä varten lämpötilat voidaan esittää pysyvyys- eli kertymäkäyrien avulla. Niistä voidaan lukea esimerkiksi, kuinka suuren osan ajasta (% vuodesta) parvekkeen lämpötilat on viihtyisän oleskelun edellyttämällä tasolla. Harvoin toistuvat huippulämpötilat tekevät alku- ja loppupään teräviksi. Niiden kesto on kuitenkin lyhytaikainen. Pääsääntöisesti lämpötila on lähellä vuoden keskimääräistä lämpötilaa. Kuvassa 3.13 on esitetty eräiden paikkakuntien ulkolämpötilojen pysyvyyskäyrät kaudella 1961 - 1990. Siitä voidaan esimerkiksi lukea, että Rovaniemellä ulkoilma on nollan asteen alapuolella 4380 tuntia vuodesta. [19.]



Kuva 3.13. Helsinki-Vantaan, Jyväskylän ja Rovaniemen lentokentän vuorokauden keskilämpötilan pysyvyyskäyrä vuosien 1961 - 1990 säätietojen perusteella [19].

Astepäiväluku

Astepäiväluvun(=lämmitystarveluku) avulla tehdään sääkorjaus rakennuksen toteutuneille lämmitysenergian kulutuksille. Sääkorjauksen tarkoituksena on tehdä saman rakennuksen eri kuukausien tai vuosien energiankulutuksista ja eri kunnissa olevien rakennusten energiankulutuksista vertailukelpoisia keskenään. Yleisimmin käytetään lämmitystarvelukua S_{17} , joka lasketaan $+17\text{ °C}$:ksi oletetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli $+10\text{ °C}$:tta ja syksyllä yli $+12\text{ °C}$:tta. Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokautisten lämmitystarvelukujen summa ja vuoden lämmitystarveluku on vastaavasti kuukausittaisten lämmitystarvelukujen summa. [24.]

Myös parvekelasituksilla saavutettavaa energiansäästöä voidaan arvioida lämmitystarveluvun avulla. Parvekelasit pienentävät parvekkeen taustaseinän, parvekeikkunan ja -oven lämpöhäviöitä ja pienentävät siten myös rakennuksen energiankulutusta. Energiansäästö voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$Q_{js} = \sum U \cdot A \cdot 24(S - S_v) / 1000 \quad (3.7)$$

missä

| | |
|----------|---|
| Q_{js} | Säästö johtumishäviöissä (kWh/a) |
| U | Parvekkeen taustaseinän, ikkunan tai oven U-arvo (kWh/a) |
| A | Parvekkeen taustaseinän, ikkunan tai oven pinta-ala (m^2) |
| S | Paikkakunnan astepäiväluku (dK) |
| S_v | Astepäiväluku parvekkeen sisälämpötiloilla laskettuna (dK) |

Koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetussa asuinkerrostalossa voidaan parvekelasituksilla saavutettavaa energiansäästöä vielä lisätä ottamalla tuloilma lämmityskaudella lasitetun parvekkeen kautta. Säästö lämmitysenergian kulutuksessa voidaan tällöin laskea seuraavasti:

$$Q_{ivs} = \rho \cdot c \cdot V \cdot t \cdot (S - S_v) \quad (3.8)$$

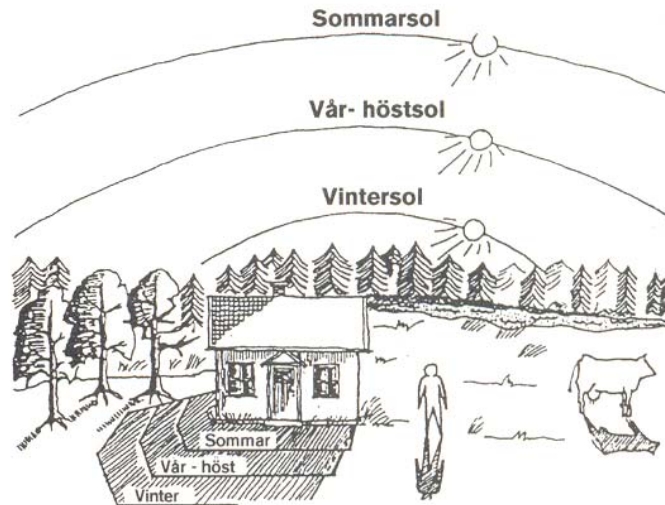
| | |
|-----------|---|
| Q_{ivs} | Säästö ilmanvaihdon aiheuttamassa energiankulutuksessa (kWh/a) |
| ρ | Ilman tiheys (kg/m^3) |
| c | Ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK) |
| V | Ulkoilmavirta (m^3/s) |
| t | Käyttöaika (h) |
| S | Paikkakunnan astepäiväluku (dK) |
| S_v | Astepäiväluku lasitetun parvekkeen lämpötilalla laskettuna (dK) |

3.2.5. Ulkolämpötilan paikallinen vaihtelu

Rakennuspaikan aurinkoisuus, tuulisuus ja suuntaus vaikuttavat sekä rakennuksen energiankulutukseen että asukkaiden viihtyisyyteen. Etelään suunnattu aurinkoinen parveke koetaan miellyttävämmäksi oleskelupaikaksi kuin pohjoiseen suunnattu varjoisa ja tuulinen parveke. Sen vuoksi rakennuksia suunniteltaessa tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota paikallisiin ilmastotekijöihin sekä rakennuksen energiankulutuksen pienenemisen että asumisviihtyisyyden kannalta.

Parvekkeen aurinkoisuus

Auringon säteilyn määrä ja korkeuskulma vaihtelevat Suomessa runsaasti. Talvikuukausina, jolloin energiantarve on suurin, paistaa aurinko meidän leveysasteillamme keskipäivälläkin varsin alhaalla. Esimerkiksi Helsingissä on auringon korkeus keskipäivällä joulukuun 22. päivänä noin 6,5 astetta ja maaliskuun 20. päivänä noin 30 astetta. Sodankylässä puolestaan aurinko nousee vasta joulukuun tammikuun vaihteessa ja on 20. maaliskuuta 22,5 asteen korkeudella.



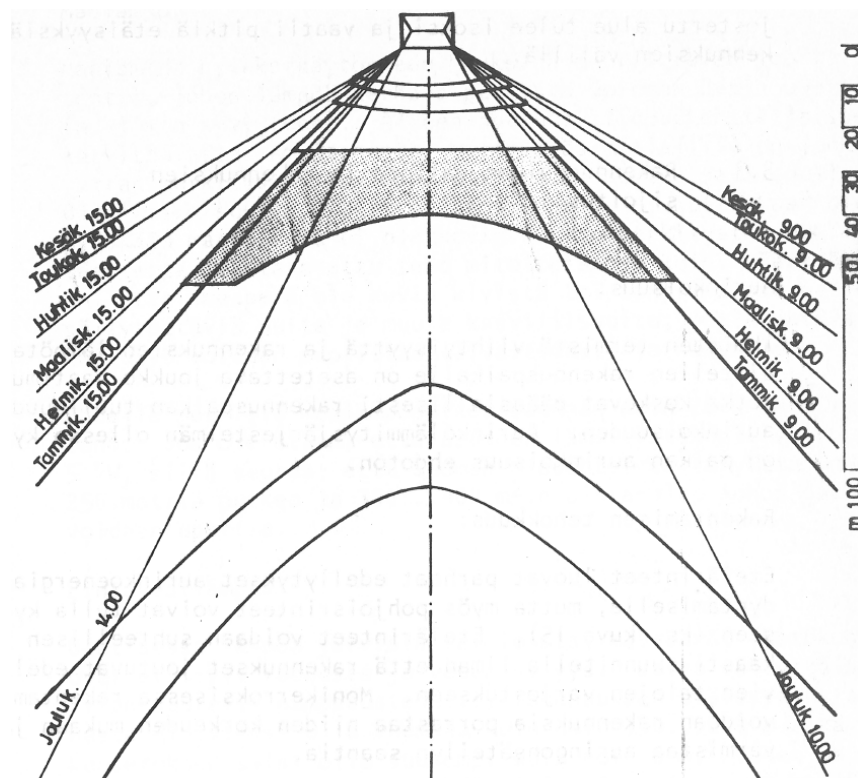
Kuva 3.14. Havainnekuva auringon korkeuskulman vaihtelusta vuodenaikojen mukaan. Kuvasta voidaan nähdä myös talon aiheuttaman varjon suuruus eri vuodenaikoina. [25.]

Auringonsäteily on erityisen tärkeää silloin kun lämpöä tarvitaan. Parvekkeen suurin läpinäkyvä seinä on parasta sijoittaa suoraan etelään, koska aurinko on korkeimmillaan etelässä. Pienet poikkeamat etelä -suunnasta ($\pm 15\%$) eivät kuitenkaan juuri vaikuta säteilyn saantimahdollisuuksiin. Vasta poikkeamien kasvattaminen 45 astetta kaakkoon ja lounaaseen vähentää energiamäärää (noin 15 %) tuntuvasti etenkin lämmityskauden aikana, jolloin paistekulmat ovat suurimmaksi osaksi alle 10 astetta. [20; 26.]

Ellei parvekettä voida sijoittaa etelään, on auringon säteilyn saannin kannalta edullista suunnata se itään päin, koska aamulla päivät ovat usein selkeämmät kuin illalla (pilvet muodostuvat myöhemmin päivällä). Toisaalta länsisuuntaan sijoitettua parvekettä voidaan pitää edullisena, jos parvekettä käytetään lähinnä iltapäivällä. Suuntauksen merkitys korostuu etenkin ratkaisuihin, joissa on vain yksi lasiseinä. Mikäli sivuseinätkin tehdään läpinäkyviksi, ei eteläsuunnasta poikkeaminen ole niin kriittistä. [6; 26.]

Vapaa paistekulma

Aurinkoenergian optimaalisen hyödyntämisen edellytyksenä on vapaa paistekulma sillä sektorilla, missä aurinko paistaa. Tärkeintä on, että eteläsektori (noin 90 astetta) on vapaa, koska auringon säteilyteho on silloin suurin ja auringonsäteilyä saadaan myös talven aikana, kun päivät ovat lyhyet. Passiivisen aurinkoenergian hyödyntämisen kannalta tärkein ajanjakso on helmi- huhtikuu. Myös syys-, loka- ja toukokuussa saadaan hyödynnettyä aurinkoenergiaa. [6; 21.]



Kuva 3.15. Vapaa paistekulma ja vapaa alue vaakatasossa, kun varjostavan talon, puun, tms. korkeus on 4 kerrosta. Rakennus sijaitsee Etelä-Suomessa. Aurinkokulmat on ilmoitettu jokaisen kuukauden 15. päivänä [21].

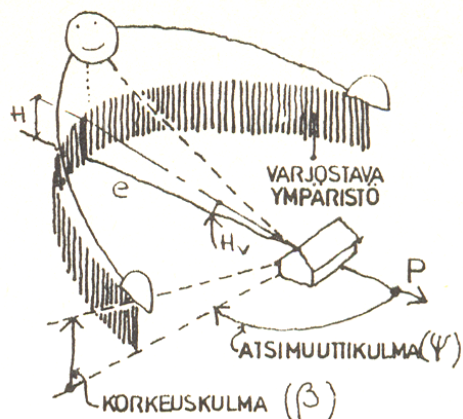
Varjostus

Rakennuksen edessä on oltava vapaata ilmatilaa, jolla varmistetaan auringonsaantia. Varjostavia rakennuksia, esineitä ja puita on vältettävä. Poikkeuksena ovat etelä puolella kasvavat lehtipuut, jotka suojaavat parveketta kesähelteellä auringon paisteelta. [21.]

Varjostus voidaan ryhmitellä kolmeen ryhmään [17.]:

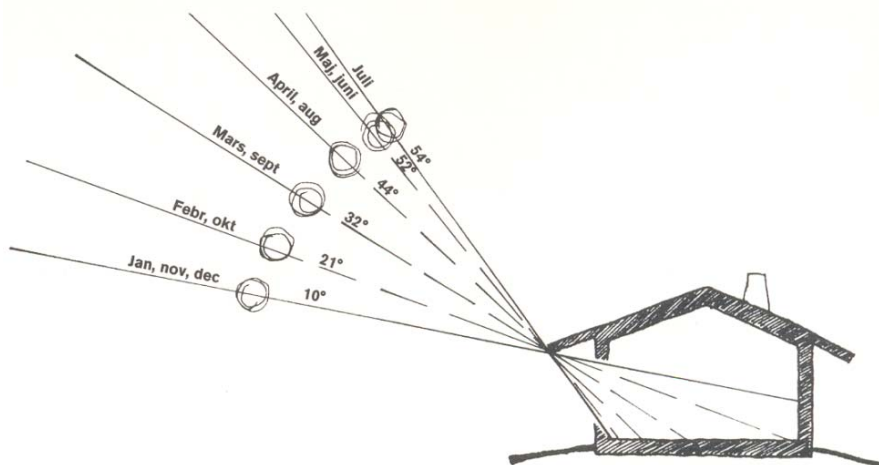
1. Horisontaalinen varjostus
 - rakennuksen edessä oleva toinen rakennus, metsä tai vastaava estää auringonenergian saannin
2. Diffuusi varjostus
 - rakennuksen edessä oleva puu tai vastaava este vähentää aurinkoenergian saantia
3. Oma varjostus
 - esim. talon räystääs tai parveke vähentää aurinkoenergian saantoa

Horisontaalinen varjostus vaikeuttaa aurinkoenergian saantia ympäri vuoden. Jotta ympäristö ei estäisi aurinkoenergian saantia, on talon ja varjostavan ympäristön välinen etäisyys (e) oltava riittävä. Etäisyyden määräävät varjostavan ympäristön korkeus (H) sekä korkeuskulma (β) sinä hetkenä, jolloin toivotaan saatavan auringonenergiaa. [17.]

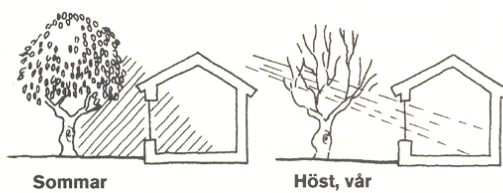


Kuva 3.16. Aurinkoenergian saatavuus turvataan valitsemalla talon ja varjostavan ympäristön välinen etäisyys (e) riittäväksi. Riittävä etäisyys voidaan laskea auringon korkeuskulman (β) ja varjostavan ympäristön korkeuden (H) perusteella [17].

Diffuusilla varjostuksella ja oma varjostuksella voidaan tehokkaasti estää rakennuksen yllilämpenemistä ja varmistaa auringosta saatava energia jokaisena vuodenaikana lämmitystarpeen mukaan. Parvekkeen syvyyden optimaalisella valinnalla ja räystään pituuden oikealla mitoituksella voidaan rakenteellisesti varmistaa, ettei rakennus lämpene liikaa kesällä auringon säteilyn vaikutuksesta. Lähelle rakennuksen julkisivua sijoitetut lehtipuut suojaavat rakennusta ja parvekettä auringon säteilyltä kesäaikana, mutta mahdollistavat auringon säteilyn ikkunoista sisään keväällä ja syksyllä. [27.]



Kuva 3.17. Rakennuksen räystäs toimii rakenteellisena suojana yllilämpenemistä vastaan [27].

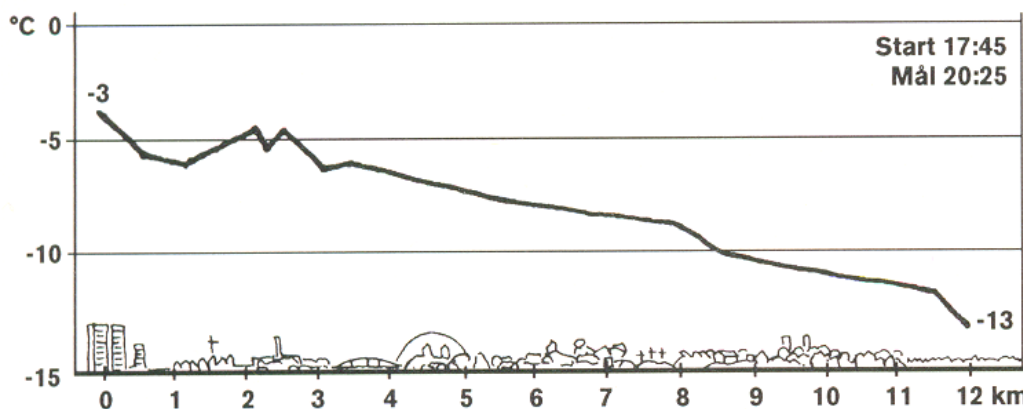


Kuva 3.18. Lehtipuut varjostavat rakennusta kesällä ja mahdollistavat auringon säteilyn ikkunasta sisään talvella [27].

Maastonmuodot ja naapurirakennukset

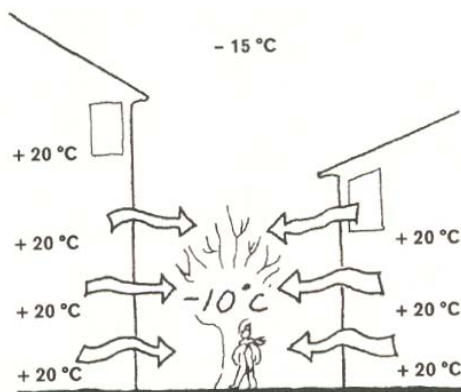
Myös maastonmuodoilla ja ympäröivillä rakennuksilla on merkitystä ulkoilman lämpötilaan. Laaksopainanteisiin voi helposti syntyä ns. kylmän ilman järviä, joissa ilman lämpötila voi olla jopa 10 °C:tta kylmempi kuin ylempänä rinteillä. Myös rinteillä sijaitsevat rakennukset ja muut esteet saattavat padota alas valuvia kylmiä ilmassoja aiheuttaen tällä tavoin kylmän ilman ”taskuja”. Paitsi, että tämä lisää rakennuksen energiankulutusta, se aiheuttaa myös viihtyisyys-, jopa terveyshaittoja. Koko lämmityskauden aikana voi kylmän ilman järvistä aiheutua keskimäärin noin 10 %:n lisäys rakennusten energiankulutukseen. [6.]

Kylmän ilman järvien syntymiselle vastakkainen ilmiö on lämpimän ilman saarekkeiden muodostuminen kaupunkien keskustoihin. Tämä johtuu lähinnä rakennusaineiden ominaisuuksista, lämmityksestä ja ihmisten toiminnasta kaupungeissa. Eräissä selvityksissä on todettu tapauksia, joissa on ollut jopa yli 10 °C:n lämpötilaero kaupungin keskustan ja ympäristö välillä. Ero on suurimmillaan kirkaana heikkotuulisena yönä. Tällöin ympäröivät alueen jäähtyvät nopeammin kuin kaupungin keskustat, joissa rakennusmateriaalit säteilevät ulos huonommin ja ilman epäpuhtaudet vielä yleensä estävät ulossäteilyä. On todettu, että suurkaupunkien vuosikeskilämpötila on yleensä 1...2 °C:tta ympäristöään lämpimämpi. [6.]



Kuva 3.19. Rakennukset ja niiden lämmönvuodot aiheuttavat ulkolämpötilojen kohoamista kaupungeissa. Kuvasta nähdään ulkolämpötilojen muuttuminen kuljettaessa Tukholman etelälaitamilta keskustaan selkeänä ja heikkotuulisena joulukuun yönä. Mittaukset ovat suorittaneet Mauritz Glaumann ja Margitta Nord [25].

Lämmönhäviöihin voidaan vaikuttaa järjestämällä rakennukset ryhmiin tietyllä tavalla. Esimerkiksi talot voivat suojata toisiaan tuulilta. Tiheässä sijaitsevat rakennukset lämmittävät ulkoaluetta ja toisia rakennuksia niin, että niiden väliin syntyy lämpösaareke. [27.]

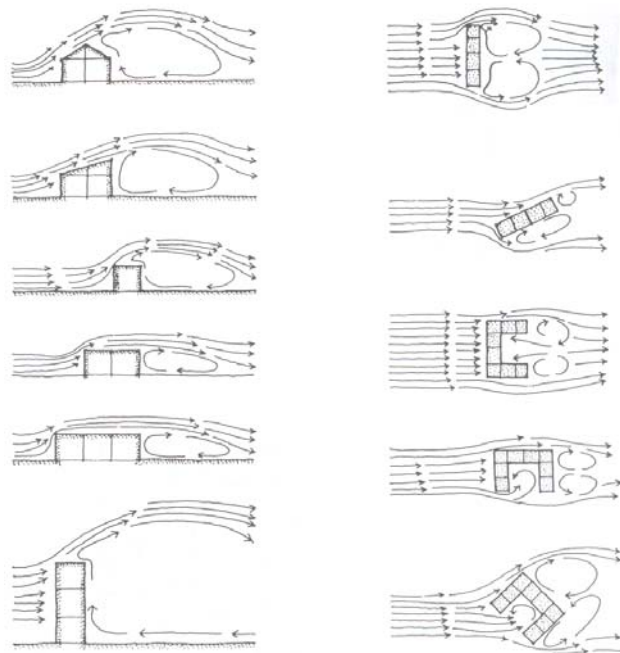


Kuva 3.20. Rakennuksien lämmönhäviöitä voidaan pienentää järjestämällä rakennukset ryhmiin [27].

3.2.6. Tuulisuus

Tuulen voimalla tarkoitetaan tuulen painetta pinta-alayksikköä kohti. Maanpinta, maaston muodot ja maanpinnalla olevat esineet hidastavat tuulen nopeutta. Tuulen nopeus on pienempi lähellä maanpintaa ja kasvaa ylöspäin mentäessä. Aukeilla ja korkeilla paikoilla kuten rakennusten katoilla tuulen vaikutus on suhteellisen voimakas, koska tuulen aiheuttama paine kasvaa verrannollisena nopeuden neliöön. Kovimmat tuulet esiintyvät ulkolämpötilan ollessa lähellä nollaa. Kireillä pakkasilla tuulet ovat yleensä heikkoja. [6; 21.]

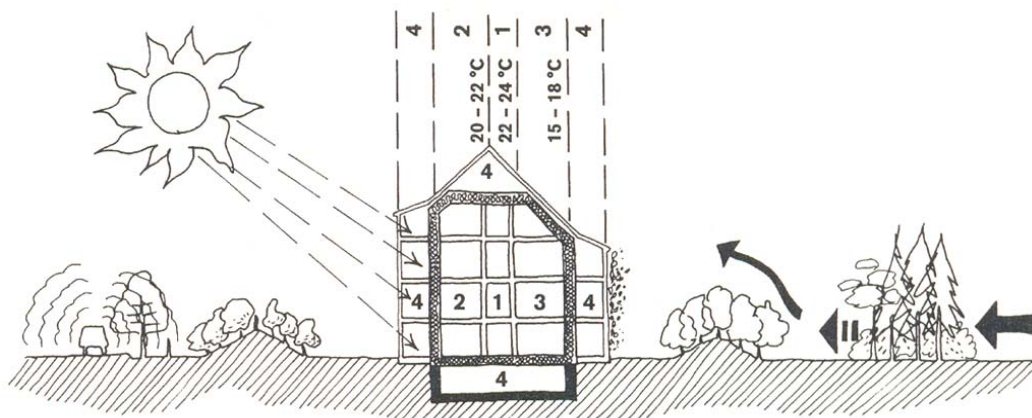
Maaston muodot, puusto ja muut rakennukset sekä suurehkot rakenteet vaikuttavat tuulen nopeuteen, pyörteisyyteen sekä suuntaan. Pienimmillään tuulen nopeus on metsän suojassa olevan 1 -kerroksisen rakennuksen kohdalla ja suurimmillaan korkean rakennuksen kohdalla mäen harjalla tai maastonmuotojen tai muiden rakennusten synnyttämässä tuulisolassa. On huomattava, että suurten rakennusmassojen tai vinosti tuulensuuntaan olevan kadun ohjaamien ilmavirtauksien nopeudet voivat rakennusten välisissä solissa ja pihoilla nousta paikoin 2-3 -kertaisiksi avoimen maaston nopeuksiin verrattuna. [6.]



Kuva 3.21. Rakennuksen muoto ja asema tuulen suuntaan nähden vaikuttavat ilmavirtauksen häiriöalueen muodostumiseen kuvan mukaisesti [28].

Lämpövuoto seinien ja ikkunoiden läpi riippuu tuulen voimakkuudesta ulkona. Jos tuuli on kova, lämpövuoto kasvaa huomattavasti. Rakennukseen tunkeutuva kylmä ilma täytyy tällöin lämmittää sisälämpöiseksi, mikä taas johtaa selvään energiankulutuksen kasvuun. Tuulen merkitys rakennuksen lämpötaloudelle riippuu mm. seinämien tiiviyydestä. Vanhimmat rakennuksen ovat usein melko hataria, mutta uusimmat niin tiiviitä, ettei tuulen nopeudella ole enää huomattavaa merkitystä. Rakennuksien lämpötalouden kannalta kiinnostaa ensisijaisesti mistä suunnasta tuulet puhaltavat lämmityskauden aikana ja kuinka suuri osuus niistä on kylmiä ja jääkylmiä ilmavirtauksia. Erittäin kylmiä ja jäätävän kylmiä tuulia on yleensä keskimäärin 15 päivänä ja 72 % niistä on saatu pohjoisen ja idän väliseltä sektorilta. [21; 28.]

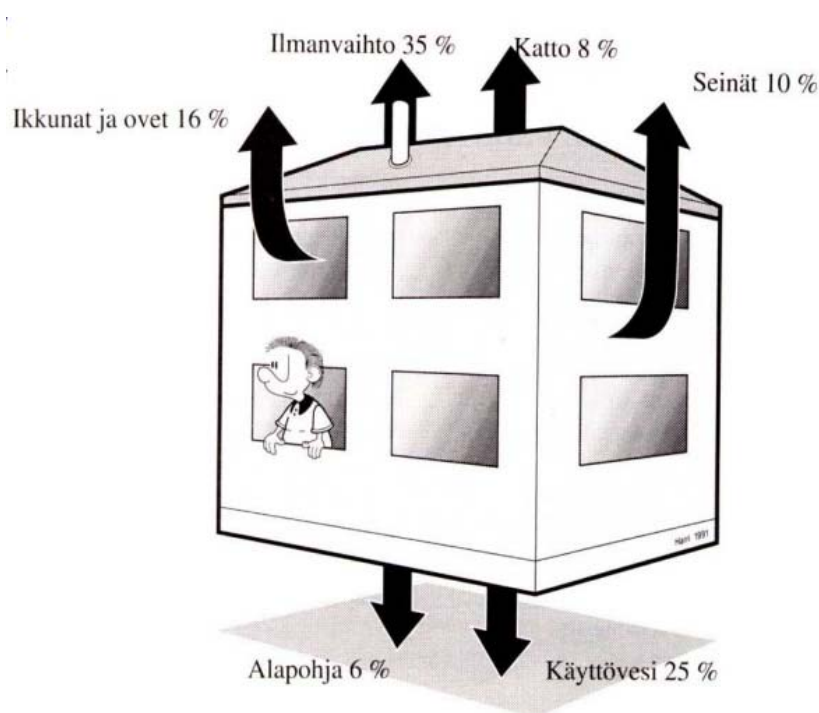
Ratkaisevinta on suojata rakennus lämmityskaudella puhaltavilta kylmiltä tuuilta. Hyviä tuulensuojia ovat erilaiset tuuliesteet kuten aidat, muurit, katokset, apurakennukset jne. Energiansäästämiseksi voidaan talot jakaa erilaisiin lämpötilavyöhykkeisiin toiminnan mukaan. Saksalainen arkkitehti Joachim Elbe on jakanut oman talonsa neljään lämpötilavyöhykkeeseen. Neljäs lämpötilavyöhyke on lämmittämätön ja sisältää ullakon, kellarin, porraskäytävän ja lasitetut parvekkeet. Eteläsivulle suunnatut lasitetut parvekkeet parantavat rakennuksen energiataloutta ja toimivat puskurina tuulta vastaan. [27.]



Kuva 3.22. Eteläsivulle suunnatut lasitetut parvekkeet parantavat rakennuksen energiataloutta ja toimivat puskurina tuulta vastaan [27].

3.3. Lasitetun parvekkeen energiataloudellinen tarkastelu

Lämpöenergiankulutus rakennuksissa jakautuu ilmanvaihdon, johtumishäviöiden ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Lämpimän käyttöveden osuus 1950- 1970-luvun asuinkerrostalon lämmönkulutuksesta on noin 25 %, ilmanvaihdon osuus noin 35 % ja johtumishäviöiden osuus noin 40 % kuvan 3.23 mukaisesti. Johtumishäviöt jakautuvat edelleen ulkoseinien, ikkunoiden, alapohjan ja yläpohjan kesken. Eri osuuksien suuruuteen vaikuttaa suuresti rakennuksen ominaisuudet [29; 30.]

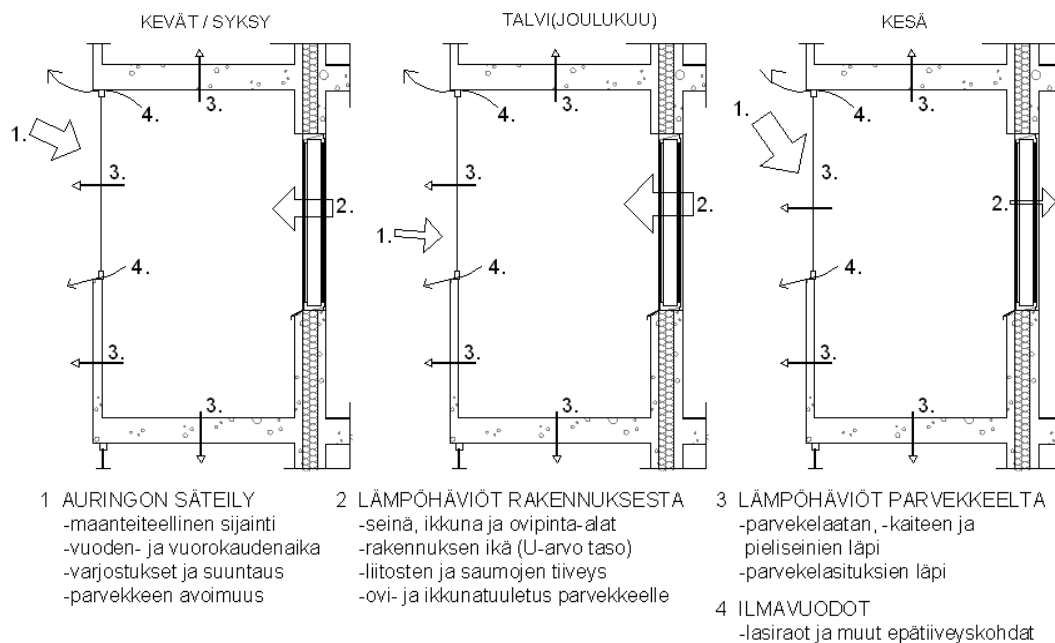


Kuva 3.23. Esimerkki 1950 - 1970 -luvun asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakaumasta [30].

Parvekkeet ovat osa rakennuksen julkisivua. Ne rajaavat julkisivusta alueen, joka peittää alleen osan seinärakenteesta, ikkunoista ja ovista. Rakennuksen lämpöhäviöiden ja auringon säteilyn vaikutuksesta lasitettu parveke lämpiää ulkolämpötilaa korkeammaksi. Tämä vähentää taustaseinän, parvekeikkunoiden ja -ovien lämpöhäviöitä eli parantaa rakennuksen eristävyttä parvekkeen kohdalla. Energiansäästö, joka on seuraus lämmöneristävyyden paranemisesta, on tapauskohtainen ja riippuu voimakkaasti rakennuksen mm. eristystasosta, parveketyypistä ja suuntauksesta sekä ympäristöolosuhteista ja parvekkeiden suhteellisesta osuudesta julkisivupinta-alasta.

3.3.1. Lasitetun parvekkeen energiatase

Rakennusten energiankulutuksen osatekijöitä havainnollistetaan yleensä energiataseen avulla. Se muodostuu sisälle tulevasta (tuotetusta) ja ulos menevästä (kulutetusta) energiasta. Samalla tavoin lasitettujen parvekkeiden energiatuotanto ja -kulutus perustuu ulkopuolelta tulevaan ja sisältä luovutettuun lämpöenergiaan. Lämmittämättömän parvekkeen energiatase tosin on voimakkaammin riippuvainen vuodenaikasta. Kuvassa 3.24 on lasitetun parvekkeen yksinkertaistettu lämpötase eri vuodenaikoina.



Kuva 3.24. Parvekkeen lämpötase eri vuodenaikoina.

Lasitettu parveke on lämmittämätön ulkotila, joka saa lämmitysenergiansa tilan ulkopuolelta. Pääasialliset lämmönlähteet ovat auringon säteilyenergia ja rakennuksen lämpöhäviöt. Molempien lämmönlähteiden teho vaihtelee huomattavasti vuorokauden-

ja vuodenajan mukaan. Rakennuksen lämpöhäviöt ovat suurimmillaan talven huippupakkasilla ja auringon säteily voimakkaimmillaan keväällä, kesällä ja syksyllä.

Parvekkeen epätiivit parvekelasi- ja kaideratkaisut sisältävät runsaasti ilmavuoreittejä, joiden kautta lämmennyt ilma pääsee melko vapaasti virtaamaan parvekkeelta ulos. Lisäksi parvekkeen kantavat rakenteet, parvekelasitukset ja -kaiteet luovuttavat heikon eristyskykynsä vuoksi johtumalla lämpöenergiaa huomattavasti enemmän kuin rakennuksen ulkoseinät. Sekä lämpöhäviöt että ilmavuodot voimistuvat pakkasen kiristyessä ja heikkenevät ilman lauhtuessa. Samalla muuttuu myös lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä.

Lämpötila lasitetulla parvekkeella on lähes poikkeuksetta ulkolämpötilaa korkeampi. Helsingin seudulla tehdyt mittaukset osoittavat, että lasitetun parvekkeen lämpötilat ovat muutaman asteen ulkolämpötilaa korkeammat. Parannetuilla ikkunoiden eristys- ja tiivistysratkaisuilla on rakennettu terasseja, joiden lämpötilat ovat kylmimpinäkin kuukausina olleet keskimäärin 7 °C:tta ulkolämpötilaa korkeampia. Ainoastaan ilman nopea lauhtuminen saattaa hetkellisesti pudottaa lasitetun parvekkeen lämpötilan hetkellisesti ulkolämpötilaa matalammaksi. Nämä tilanteet ovat kuitenkin kohtuullisen harvinaisia Suomessa. [17; 31.]

Kokemukset Pohjoismaissa osoittavat, että parannetuilla ikkunoiden eristys- ja tiivistysratkaisuilla rakennetun terassin vuotuinen käyttöaika on 8-9 kuukautta helmikuusta aina lokakuuhun asti. Tietysti terassin lämpötilat vaihtelevat suuresti eri kuukausina ja myös saman päivän aikana riippuen ulkolämpötilasta, tuulesta ja ennen kaikkea auringon paisteesta. Kauniina helmikuun päivänä lämpötila voi nousta 20 °C:n, kun se pilvisenä päivänä saattaa olla nollan kieppeillä. Kesällä terassi taas vaatii hyvät tuuletusmahdollisuudet, sillä se on tehokas auringonsäteilyn kerääjä. Suljetussa tilassa lämpötila voi kohota aurinkoisina kesäpäivinä hetkellisesti jopa yli 40 °C:n. [22.]

3.3.2. Energiatalouteen vaikuttavat rakenteelliset tekijät

Suomalaiset kerrostaloparvekkeet ovat yleensä joko rakennuksen runkoon tukeutuvia ulokerakenteita, rungon ulkopuolisia parveketorneja tai erilaisin ripustuksin kannatettuja kontteja. Parvekkeita on tehty myös erilaisina sekamuotoina, joissa sekä kannatustavat että esivalmistusaste vaihtelevat. [32.]

1960- luvun elementtirakenteiset kerrostalot tehtiin tyypillisesti nauhaelementeistä. Niiden sisäänvedetyt parvekkeet olivat yleensä elementtirakenteisia. Vanhemmassa 1960-luvun rakennuskannassa esiintyy tosin myös joko kokonaan tai osittain sisäänvedettyjä parvekkeita myös paikallavalettuina. Parvekkeet on yleensä tuettu kantaviin väliseiniin parvekelaattaelementin päissä olevien lyhyiden rataakiskojen tai muototerästen avulla,

jotka on viety seinän eristetilän läpi rakennuksen runkoon. Väliseinä ovat tällöin olleet joko paikallatehtyjä tai elementtirakenteisia. [32.]

1960- luvun loppupuolella sisäänvedettyjen parvekkeiden tekeminen koettiin työlääksi ja elementtirakentamiseen sopimattomaksi. Tämän seurauksena yleistyi omilla jaloilla seisova ulkoneva parveketorni. Sen elementeistä valmistetut kantavat rakenteet ovat usein tuettu kantavien pieliseinien, pilarien tai ulkoseinän kantavan ulkokuoren välityksellä omille perustuksilleen. Yleisin parveketyyppi 1960- luvun lopulta lähtien on ollut rakennuksen ulkopuolinen parveketorni. [32.]



Kuva 3.25. Vasemmalla ulkoneva eli ulosvedetty parveke ja oikealla sisäänvedetty parveke.

1980- luvulta alkaen parvekkeiden arkkitehtoninen käsittely on monipuolistunut ja uudet kannatusratkaisut yleistyneet. Näitä ovat mm. ripustetut parvekkeet, jotka ovat tyypillisesti joko konttiparvekkeita tai pieliseinistä kannatettuja parvekkeita. Elementtirakenteisissa ns. konttiparvekkeissa laatta, kaide ja seinät muodostavat yhden elementin, joka on ripustettu teräskorvakkein pieliseinien ylä- tai alanurkista ulko- tai väliseinän tai välipohjan reunan varaan. Pieliseinistä kannatetut parvekkeet on koottu erillisistä kaide-, laatta- ja pielielementeistä, mutta koko parvekerakenne on ripustettu rakennuksen runkoon pielielementtien tartunta teräksillä sekä pysty- että vaakavoimille. [32.]

Aiemmat tutkimukset osoittavat, että parvekelasituksilla on suurempi vaikutus 1960- luvun kerrostaloissa, joissa on sisäänvedetyt parvekkeet kuin uudemmissa ulosvedetyissä parvekkeissa. Tämä johtuu mm. seuraavista tekijöistä [31.]:

- Sisäänvedetyt parvekkeet peittävät suuremman osan rakennuksen ulkoseinää kuin ulosvedetyt parvekkeet, jolloin parvekelasituksen lämpöhäviötä pienentävä vaikutus on niissä suurempi.
- 1960-luvun sisäänvedetyillä parvekkeilla varustettujen rakennusten eristystaso on heikompi kuin uudempien rakennusten, joissa on ulosvedetyt parvekkeet.
- Ulosvedetyt parvekkeet mahdollistavat parvekelasituksen asentamisen useammalle sivulle, jolloin suhteellisen epätiivin lasituksen pinta-ala kasvaa ja ilmavuodot lisääntyvät.



- *pienempi vaippapinta parvekkeen kohdalla*
- *1975 jälkeen rakenn. taloissa melko hyvin eristetty vaippa => lämpöhäviöt kohtuulliset*
- *suuri lasitettava pinta-ala => lasituskustann. suuremmat*



- *suurempi vaippapinta parvekkeen kohdalla*
- *usein heikosti eristetty vaippa => lämpöhäviöt suuret*
- *pieni lasitettava pinta-ala => lasituskustann. pienemmät*

Kuva 3.26. Parvekkeiden tyypit vaihtelevat ja ovat erilaisia energiatalouden parantamisen kannalta [31].

3.3.3. Lasitetun parvekkeen energiataloudellinen käyttö

Rakennuksen käyttäjät vaikuttavat osaltaan rakennuksen energiankulutukseen ja energiansäästöinvestointien kannattavuuteen. Asuinrakennuksissa suoritettujen vertailevien energiankulutustutkimusten yhteydessä on havaittu, että asukkaiden kulutustottumukset voivat aiheuttaa huomattavia, jopa yli kaksinkertaisia eroja muuten samanlaisten rakennusten energiankulutuksissa. Näin suuret erot rakennuksen käytössä ja käyttötottumuksissa voivat muuttaa energiansäästösijoituksen joko kannattavammaksi tai kannattamattomaksi tapauksesta riippuen. Rakennuksen käyttäjiin kuuluvat tässä tiloja käyttävien asukkaiden lisäksi rakennusten ylläpidosta vastaava huoltohenkilöstö sekä omistajat tai niiden edustajat. [6; 33.]

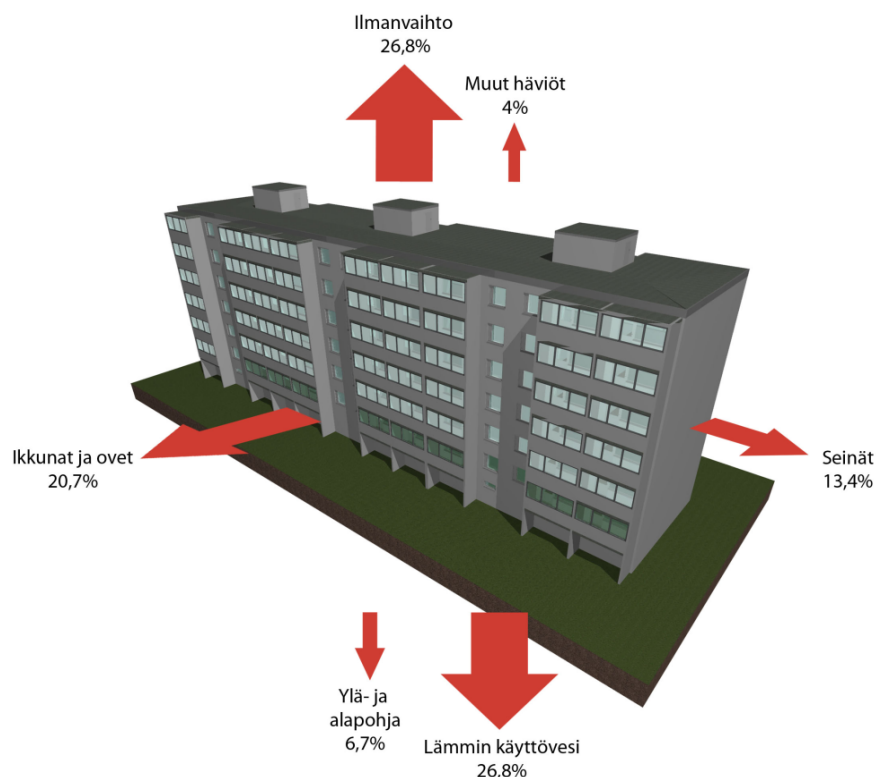
Myös parvekelasituksien ja parvekkeen käyttäjät voivat omalla toiminnallaan vähentää tai täysin poistaa parvekelasituksilla saavutettavan energiansäästön mm. seuraavien toimien seurauksena:

- Hyvin yleisesti parvekettä käytetään parvekeovi raollaan. Parvekelasituksien asennuksen jälkeen lisääntynyt parvekkeen käyttö voi tässä tapauksessa johtaa jopa lämpöhäviöiden kasvuun
- Osa parvekelaseista unohdetaan talvikautena osittain tai kokonaan auki. Tämä vähentää merkittävästi parvekelasituksesta saatavaa energiataloudellista hyötyä.
- Tupakoinnin seurauksena parvekelaseja pidetään jatkuvasti hieman raollaan, jotta tupakan haju poistuisi parvekkeelta tehokkaammin

Käyttöohjeilla, opastuksella ja tiedottamalla voidaan vaikuttaa käyttäjien toimintaan ja lisätä näin lasitettujen parvekkeiden energiataloudellista hyötyä. Oikeanlaisen käytön yleistymisen kannalta olisi tärkeää, että parvekelasituksien käyttöohjeisiin lisättäisiin ohjeet energiataloudellisesta käytöstä.

3.3.4. Yksinkertaistettu laskentaesimerkki

Otetaan esimerkiksi vuonna 1979 rakennettu elementtikerrostalo Tampereella. Rakennukseen on vuonna 2005 tehty energiakatselmus, jonka perusteella on arvioitu rakennuksen lämpötaseen muodostuvat kuvan 3.27 mukaisesti.



Kuva 3.27. Tarkasteltava elementtikerrostalo vuodelta 1979.

Rakennuksen suurimpia lämpöhäviöiden aiheuttajia ovat ilmanvaihto, lämmin käyttövesi sekä ikkunat ja ovet. Rakennuksen lupakuvista voidaan määrittää seuraavat laskennassa tarvittavat pinta-ala tiedot:

$$\text{Julkisivun bruttoala} = 2955,24 \text{ m}^2$$

$$x = \text{kaikkien seinien ala} = 2316,85 \text{ m}^2$$

$$y = \text{kaikkien aukkojen ala (sis. ikkunat ja ovet)} = 638,39 \text{ m}^2$$

$$\text{Parvekkeiden bruttoala} = 651,66 \text{ m}^2$$

$$x_1 = \text{parvekkeen kohdalla olevan seinän ala} = 377,34 \text{ m}^2$$

$$y_1 = \text{parvekkeiden aukkojen ala (sis. parvekeikkunat ja -ovet)} = 274,32 \text{ m}^2$$

Jakamalla parvekkeiden bruttoala julkisivujen bruttoalalla saadaan parvekkeiden osuudeksi 22 % julkisivujen bruttoalasta. Vastaavasti parvekkeiden osuus kaikkien seinien alasta (x_1/x) on 42,97 % ja parvekkeiden aukkojen ala kaikkien aukkojen alasta (y_1/y) 16,29 %.

Kertomalla nyt rakennuksen parvekkeiden aukkojen prosenttiosuus ikkunan ja ovien lämpöhäviöillä ja parvekkeiden seinien prosenttiosuus seinien lämpöhäviöillä saadaan selville, kuinka suuri osuus rakennuksen lämpöhäviöistä osuu parvekkeiden kohdalle.

$$0,4297 * 20,7 \% + 0,1629 * 13,4 \% = 11,1 \%$$

Laskennallisesti voidaan nyt arvioida parvekelasituksilla saatavan energiansäästön suuruutta olettamalla parvekelasituksien parantavan parvekkeiden taustaseinien, parvekeikkunoiden ja ovien lämmöneristävyyttä 5...20 %.

- Jos parvekelasitukset parantavat parvekkeiden eristävyyttä 5 %, energiansäästö on 0,6 % ($0,05 * 11,1 \% = 0,56 \%$).
- Jos parvekelasitukset parantavat parvekkeiden eristävyyttä 20 %, energiansäästö on 2,2 % ($0,2 * 11,1 \% = 2,22 \%$).

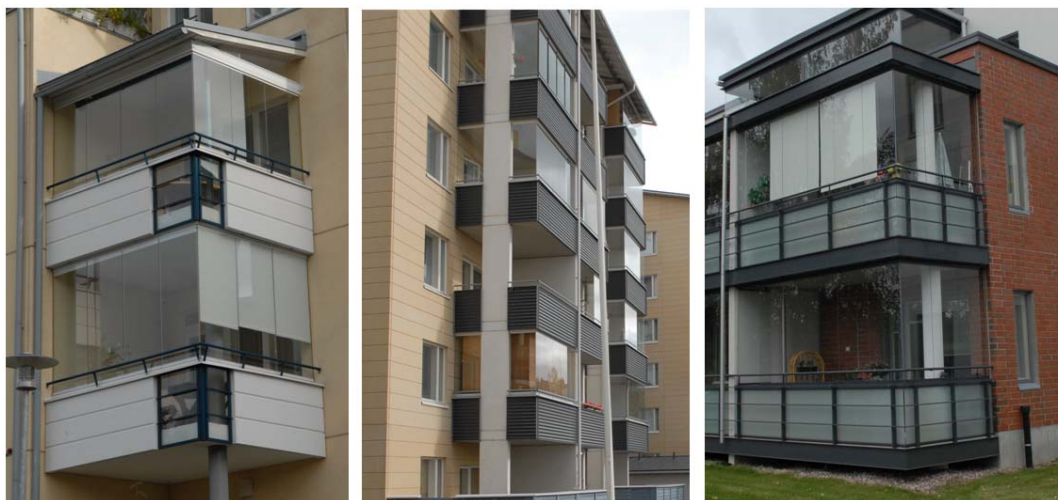
4. KENTTÄMITTAUKSET

4.1. Koekohteet ja tutkittavat parvekkeet

Koekohteiden hankinta suoritettiin yhteistyössä Lumon Oy:n henkilöstön kanssa. Käytyjen keskustelujen pohjalta päätettiin koekohteita kysyä Valtakunnalliselta vuokratalo-osuuskunnalta (VVO:lta). Heidän kiinteistökannastaan löytyi tutkimuksiin tarvittava määrä koekohteita Tampereen alueelta. Lisäksi heidän kiinteistöihinsä parvekelasitukset asennetaan suurimmaksi osaksi asukasmuutostöinä, jolloin kerrostalot ovat pääasiassa vain osittain lasitettu. Tämä mahdollisti lämpötilojen mittaamisen sekä lasitetuilta että lasittamattomilta parvekkeilta samassa kiinteistössä.

Tutkimukseen valittiin 11 Tampereen alueella sijaitsevaa kerrostaloa. VVO:n energia-insinööri Pasi Kujansuu avusti kerrostalojen valinnassa ja useat isännöitsijät sopivien huoneistojen löytämisessä. Koekohteita hankittiin jakamalla ilmoituslomakkeita asukkaiden postilaatikoihin, ovensuukyselyillä ja puhelinkartoituksella. Kohteiden valinnassa kiinnitettiin huomiota rakennuksen ikään, rakenneratkaisuihin ja pääjulkisivun suuntaukseen. Lisäksi keskeisenä valintakriteerinä käytettiin asukkaiden myönteistä suhtautumisen tutkimukseen.

Asuinkerrostaloista viisi sijaitsee Hervannassa, kaksi Härmälässä ja kolme Lielahdessa sekä yksi Hatanpäällä. Vanhin kerrostaloista on tiilirunkoinen nauhaelementtitalo vuodelta 1966 ja uusin elementtirakenteinen pistetalo vuodelta 2006. Pääasiassa rakennukset edustavat 1970-luvun elementtirakentamista. Rakennusten pääjulkisivut avautuvat eteläsektorille idän ja lännen välille. Yleisimmin parvekkeet sijaitsevat luoteeseen ja kaakkoon avautuvilla julkisivuilla. Esimerkkejä tutkittavista parvekkeista on kuvissa 4.1 ja 4.2.



Kuva 4.1. Esimerkkejä tutkimuksessa mukana olleiden 2000-luvun kerrostalojen parvekkeista.



Kuva 4.1. Esimerkkejä tutkimuksessa mukana olleiden 1960-, 1970- ja 1980- luvun kerrostalojen parvekkeista. Yksi parveketorneista (vas. alakulma) on uusittu 2000-luvulla.

Yhdessä Hervannassa sijaitsevassa kerrostalossa suoritettiin kenttämittaukset tietokonelaitteistolla. Mittauksien tarkoituksena oli selvittää yksityiskohtaisesti parvekelasituksen pintalämpötilat sekä parvekesseinän, -oven ja -ikkunan pintalämpötilat lasitetulta ja lasittamattomalta parvekkeelta. Lisäksi tutkimuksessa seurattiin 18 lasitetun ja 5 lasittamattoman parvekkeen sekä niitä vastaavien huoneistojen ilman lämpötiloja pienten paristokäyttöisten loggerianturien avulla. Seurannan tarkoitus oli kerätä tietoa ilmastollisten ja rakenteellisten tekijöiden vaikutuksesta lasitettujen parvekkeiden lämpötilaolosuhteisiin.

4.2. Mittausten aikataulu

Kenttämittaukset tietokonelaitteistolla kestivät noin 10 kuukautta ja suoritettiin 16.7.2009 - 24.5.2010 välisenä aikana. Mittausten suoritus toteutettiin seuraavasti:

- 1) Ensimmäinen vaihe: kesäkuu
 - o Kenttämittauslaitteiston ja pintalämpötila-anturien valmistus
 - o Energiaselvityksen, rakennekuvien ja muiden saatavilla olevien kohdetietojen hankinta
- 2) Toinen vaihe: heinäkuu
 - o Mittausanturien asennus
 - o Parvekkeen rakenteiden ja mittojen selvitys, valokuvaus
 - o Asukkaan perehdyttäminen tutkimukseen
- 3) Kolmas vaihe: syyskuu
 - o Mittaustulokset luettiin ensimmäisen kerran ja sovittiin asukkaiden kanssa mittareita lukemisväliksi noin kuukausi.
- 4) Neljäs vaihe: marras-joulukuu
 - o Mittaukset keskeytyivät tietokoneessa esiintyneiden ongelmien takia noin kuukaudeksi
 - o Tietokoneen vaihto joulukuun alussa
- 5) Viiden vaihe: tammi-helmikuu
 - o Ilmanvaihdon ja ilmapuotoluvun määrittäminen kertamittauksena
 - o Seinien, ikkunoiden ja ovien pintalämpötilojen määrittäminen lämpökameralla
 - o Huonelämpötilojen mittaus
 - o Patterien ja korvausilmaventtiilien kokojen mittaus, rakennuksen lämmöneristävyyden selvittäminen ja sähkölaitteiden tehontarpeiden kartoitus
 - o Asukkaita haastateltiin asunnon käyttötottumuksista ja sähkölaitteiden käytöstä. Lisäksi saatiin tiedot huoneiston sähkönkulutuksesta.
- 6) Kuudes vaihe: Toukokuu
 - o Mittalaitteiden nouto ja ikkunoiden pesu

Paristokäyttöisten lämpötila- ja kosteusmittarien asennus suoritettiin yhteensä 23 huoneistoon ja parvekkeelle heinäkuun 2009 aikana ja poistettiin asunnoista toukokuun 2010 aikana. Koekohteiden hankinta ja mittauskäynnit jaettiin neljään osaan seuraavasti:

- 1) Kesäkuu:
 - o Koekohteiden hankinta ilmoituslomakkeilla, ovensuukyselyillä ja puhelinkartoituksella
 - o Lämpötila- / kosteusmittarien kalibrointi
- 2) Heinäkuu
 - o Parvekerakenteiden kokojen, mittasuhteiden ja lämmöneristävyyksien selvittäminen, valokuvaus
 - o Lämpötila- / kosteusmittarien asennus
 - o Asukkaiden perehdyttäminen tutkimukseen
- 3) Tammi- / helmikuu
 - o Koekohteiden asukastietojen päivitys
 - o Parvekelasitusten käyttötottumusten selvittäminen
 - o Lämpötila- / kosteusmittarien mittaustietojen lukeminen
- 4) Toukokuu
 - o Lämpötila- / kosteusmittarien nouto ja kunnon tarkistus

4.3. Mittausjärjestelmät

Tutkimuksessa tehtiin kenttämittaus tietokonelaitteistolla kahdella parvekkeella, joista toinen oli lasitettu ja toinen lasittamaton. Parvekkeet olivat päällekkäisissä asunnoissa ja sijaitsivat lounaaseen päin olevan julkisivun keskivaiheilla korkeussuunnassa (kuva 4.3). Kenttämittauslaitteistolla mitattiin ulkolämpötilan ja parvekkeen ilman lämpötilan lisäksi parvekelasituksen pintalämpötilat kummaltakin puolelta parvekelasia sekä parvekeseinän, -oven ja -ikkunan pintalämpötilat sisä- ja ulkopuolelta. Lisäksi mitattiin asunnon sisälämpötilaa.



Kuva 4.3. Kenttämittaus tietokonelaitteistolla suoritettiin kahdella parvekkeella päällekkäisellä parvekkeella, joista toinen oli lasitettu ja toinen lasittamaton.

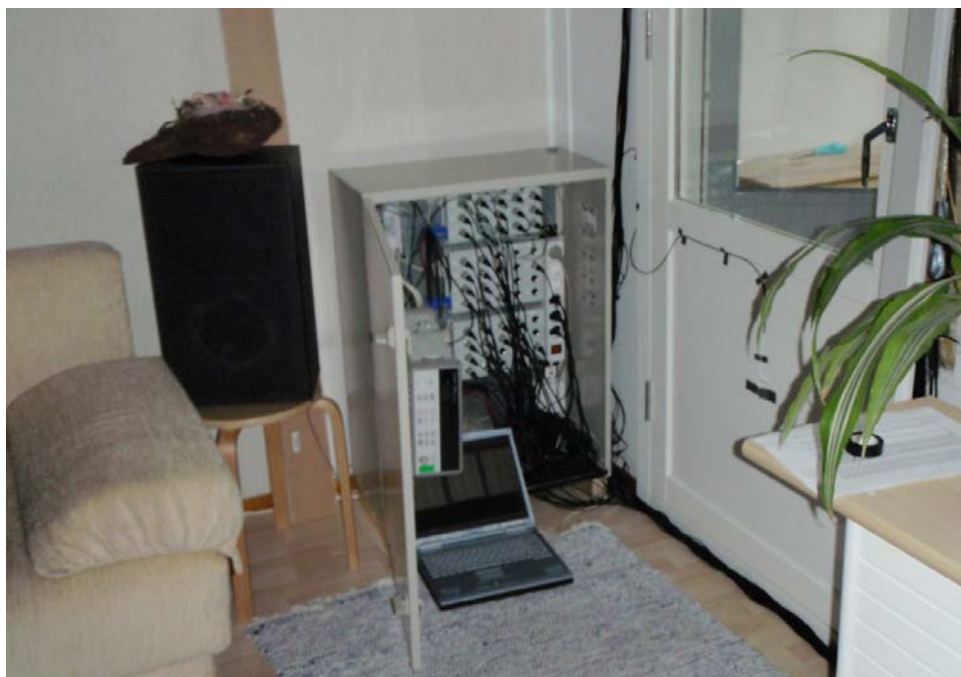
Ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin yhteensä 18 lasitetulta ja 5 lasittamattomalta parvekkeelta sekä niitä vastaavista huoneistoista tallentavilla paristokäyttöisillä dataloggereilla (kuva 4.4). Loggerien avulla varioitiin parveketyypin (ulkoneva vs. sisäänvedetty parveke), ilmansuunnan, kerroskorkeuden sekä parvekeseinän, -oven ja -ikkunan ominaisuuksien vaikutuksia lasitettujen parvekkeiden lämpötilaolosuhteisiin.



Kuva 4.4. Ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin yhteensä 23 parvekkeelta ja huoneistosta tallentavilla paristokäyttöisillä dataloggereilla.

4.3.1. Tietokoneilaitteistolla suoritettavat pintalämpötilamittaukset

Tutkimusta varten rakennettiin erillinen mittausjärjestelmä, joka sijoitettiin siirrettävän mittauskaapin sisälle. Mittauskaappi kuljetettiin koekohteelle ja sijoitettiin yhden asuinhuoneiston olohuoneeseen lähelle parvekkeen taustaseinää. Mittausjärjestelmän pääosat olivat kannettava tietokone, dataloggeri, mittausanturit sekä antureiden lähettimet ja virtalähteet. Mittausta ohjasi Agilent Benchlink Datalogger –ohjelma, joka toimii Windows-käyttöjärjestelmässä. Dataloggerina oli Agilent 34970A.



Kuva 4.5. Asuinhuoneistoon sijoitetun mittausjärjestelmän pääosat olivat kannettava tietokone, dataloggeri, mittausanturit sekä antureiden lähettimet ja virtalähteet.

Pintalämpötila-antureina käytettiin puolijohdeantureita, joiden synnyttämä ulostulojännite muuttui lämpötilan muuttuessa. Puolijohdeanturit olivat National Semiconductor Corporationin valmistamia LM 335 tyyppin antureita ja niiden kontaktipinta on noin 17 mm.



Kuva 4.6. Valmiit pintalämpötila-anturit kiinnitettynä ulkoseinään ja parvekelaseihin.

Pintalämpötila-anturit valmistettiin kiinnittämällä ensin puolijohdeanturi pikaliimalla pyöreään alumiinilevyyn. Pikaliiman kuivuttua pitkäaikainen kiinnittyminen varmistettiin spakkelin avulla (kuva 4.7). Viimeisenä työvaiheena anturien ulkopinnat ja noin 20 cm anturin johtoa maalattiin valkoiseksi (kuva 4.8). Tämän jälkeen anturit kalibroitiin Vaisalan kalibrointilaitteistolla. Anturien kiinnittyminen kontaktipintoihin ja irtoaminen 10 kuukauden mittausjakson jälkeen varmistettiin TTY:n sääräsitelaitteistolla ennen asennusten suorittamista. Parhaaksi kiinnitysaineeksi osoittautui Würth:n MS-polymeerimassa. Se omasi riittävän kuivumisnopeuden, kiinnittyi lujasti kontaktipintoihin ja oli vielä irrotettavissa pinnoista asetonin avulla mittausjakson jälkeen.



Kuva 4.7. Puolijohdeanturi lyhytaikainen kiinnittyminen alumiinilevyyn varmistettiin pikaliimalla ja pitkäaikainen kiinnittyminen spakkelilla.



Kuva 4.8. Lopuksi anturien ulkopinnat ja noin 20 cm anturin johtoa maalattiin valkoiseksi.

Pintalämpötila-anturit sijoitettiin huoneistoihin ennakkoon laaditun kytkentäsuunnitelman mukaisesti. Muutamien antureita jätettiin asentamatta ja usean anturin paikkaa muutettiin asennuspäivänä liian lyhyiden anturijohtojen takia. Parvekeoviin sijoitettiin keskelle lasiosaa ja umpiosaa sisä- ja ulkopuolelle anturit. Ne kiinnitettiin pintoihin polymeerimassalle ja johdot teipattiin ilmastointiteipillä noin 15cm välein tartunnan varmistamiseksi. Alemman huoneiston ikkunan ylä- ja alaosaan sijoitettiin yhteensä neljä anturia. Ylemmän huoneiston ikkunaan sijoitettiin näiden lisäksi anturit keskelle lasia sisä- ja ulkopuolelle. Taustaseinän anturit sijoitettiin tapauskohtaisesti. Niiden sijoittamista vaikeuttivat ikkunan alapuolella oleva kuuma vesipatteri, joka tuotti häiriötä seinän pintalämpötiloihin. Parvekelasitukseen sijoitettiin yhteensä kahdeksan anturia. Näiden tarkempi sijainti selviää liitteestä 1.

Parvekkeiden, huoneistojen ja ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin pintalämpötilojen mittauskohteessa Vaisala Oy:n valmistamilla HMT 100 tyyppin

antureilla (RH/T-anturit). Lämpötila- ja kosteuslähettimet koostuivat anturiosasta, joka oli liitetty johdolla elektroniikkayksikköön. Lähettimen mittausantureina toimivat kapasitiiviset lämpötila- ja kosteusanturi. Sisäilman RH-/T-anturi sijaitsi olohuoneessa lähellä parvekkeen taustaseinään noin 2 m:n korkeudella. Etäisyys ulkoseinän sisäpinnasta oli noin 0,5 m. Parvekkeen RH/T-anturi sijaitsi parvekkeen katon tuntumassa noin 0,5 m:n etäisyydellä parvekkeen taustaseinästä. Ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mittaava anturi oli sijoitettuna parvekkeen pieliseinään kuvan 4.9 mukaisesti. Ulkoilman RH/T-anturi oli suojattuna auringon säteilyltä ja sadevedeltä erillisellä tehdasvalmisteisella ulkoanturisuojuksella



Kuva 4.9. Ulkoilman RH/T-anturi kiinnitettiin parvekkeen pieliseinään ja suojattiin auringon säteilyltä ja sadevedeltä erillisellä tehdasvalmisteisella ulkoanturisuojuksella.

Mittaussuureiden epävarmuudet on kirjattu taulukkoon 4.1.

Taulukko 4.1. Mitattujen suureiden epävarmuudet.

| Suure | Mittausepävarmuus |
|---|--|
| Lämpötila (pintalämpöanturit) | $\pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Lämpötila (Vaisalan anturit) | $\pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 $^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,005 \text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ |
| Suhteellinen kosteus (Vaisalan anturit) | $\pm 2,0 \text{ } \% \text{ RH}$ (0 - 90 $\% \text{ RH}$) $\pm 3,0 \text{ } \% \text{ RH}$ (90 - 100 $\% \text{ RH}$) |

4.3.2. Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden seuranta

Huoneiston ja parvekkeen ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin muissa tutkimuskohteissa paristokäyttöisillä Comark Dilligence EV (N2003 ja N2013) dataloggereilla. 23 mittauskohteeseen laitettiin dataloggerit parvekkeen kattoon ja huoneistoon. Sisäloggerien asennuksessa pyrittiin VVO:n suosituksen mukaan välttämään mekaanista kiinnitystä. Yleisimpiä sijoituspaikkoja olivat kirjahyllyjen tasot ja kevytrakenteiset väliseinät. Ulkologgerit sijoitettiin parvekkeen kattoon suojaan auringon paisteelta. Kuvassa 4.10 on dataloggeri sijoitettuna parvekkeen kattoon ja huoneistoon.



Kuva 4.10. Esimerkkejä dataloggerien sijoittamisesta parvekkeelle ja huoneistoon. Asennuksessa pyrittiin välttämään mekaanista kiinnitystä.

Loggerit tallensivat lukemat kerran tunnissa ja niiden muistiin mahtui lähes koko vuoden data. Loggerien tarkkuus on lämpötilan osalta $\pm 0,5$ °C:ta ja suhteellisen kosteuden osalta ± 3 % RH:ta.

4.4. Huoneiston olosuhteiden kertamittaukset

Pintalämpötilojen mittauskohteessa määritettiin kertamittauksina ilmanvaihtuvuus, ilmatiiviys ja lämmöneristävyys myöhempiä simulointitarkasteluja varten. Samalla haastateltiin asukkaita huoneiston käytöstä ja asunnon sähkönkulutuksesta. Selvitykset

suoritettiin asunnossa, jossa oli parvekelasitus. Toisen huoneiston käyttö oletettiin samanlaiseksi, jolloin voitiin vakioida sisäilmaolosuhteet ja asunnon käyttö molemmissa huoneistoissa samanlaiseksi. Tällöin ainoa muuttuja huoneistojen välillä oli lasitettu parveke.

4.4.1. Ilmanvaihdon kertamittaus ja ilmatiivyyden mittaaminen

Huoneiston ilmanvaihtuvuus määritettiin mittaamalla keittiön, varaston ja wc:n poistoilmaventtiilien ilmamäärät. Mittauksessa käytettiin Airflow LCA 6000 VA – siipipyöräänemometriä (kuva 4.11). Ilmamäärät mitattiin ilmanvaihtokoneen eri tehoilla siten, että mukana oli sekä normaali että tehostettu käyttö. Ennen mittauksen aloittamista varmistettiin, että huoneiston ovet ja ikkunat olivat kiinni. Yhden mittauspisteen yksittäisen mittauksen kesto oli noin 0,5–1 minuuttia.



Kuva 4.11. Huoneiston ilmanvaihtuvuuden määrittämisessä käytetty Airflow LCA 6000 VA – siipipyöräänemometri.

Samassa yhteydessä mitattiin ilmatiiviyys kertaluontoisesti The Energy Conservatory:n valmistamalla painekoelaitteistolla (Minneapolis Blower Door) ja ohjelmistolla (TECTITE).



Kuva 4.12. Ilmatiiveys määritettiin The Energy Conservatory:n valmistamalla painekoelaitteistolla.

Ennen varsinaisen painekokeen aloittamista asunnon ikkunat ja ovet suljettiin ja tarkoituksellisesti tehdyt aukot kuten ilmanvaihtoventtiilit, liesituulettimet ja korvausilmaventtiilit suljettiin ja tiivistettiin. Tämän jälkeen huoneiston ulko-oveen asennettiin ovipuhallinsysteemi, joka koostui ovikehyksestä, puhallinaukolla varustetusta kankaasta ja puhaltimesta (kuva 4.12). Tietokoneohjatun puhaltimen avulla rakennukseen luotiin paine-ero porrashuoneen ja huoneiston välille. Ilmavirtaukset mitattiin sarjassa viidellä eri paine-erolla (0–60 Pa). Puhaltimen läpi kulkevaa ilmavirtausta voitiin säädellä puhaltimen kierrosluvun ja erikokoisten rajoitinrenkaiden avulla portaattomasti. Jokaisella paine-eroasetuksella ohjelmisto laski keskiarvon sadasta lyhyessä ajassa otetusta mittaustuloksesta. Ennen puhaltimen käynnistämistä, samoin kuin kokeen lopussa, laitteisto mittasi paine-eron rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä. Mittauksen tuloksena saatiin selville rakennuksen ilmapuotoluku.

4.4.2. Asukkaiden haastattelu

Mittauskäyntien yhteydessä haastateltiin asukkaita huoneiston käytöstä, asumistottumuksista ja sähkönkulutuksesta. Samalla selvitettiin sähkölaitteiden määrä, ominaissähköteho ja päivittäinen käyttöaika yhteistyössä asukkaiden kanssa. Mittauskohteen sähkönkulutus osoittautui selvästi keskimääräistä pienemmäksi (1500kWh/vuosi). Syiksi pieneen sähkönkulutukseen osoittautui tiski- ja pesukoneen puuttuminen sekä asunnon alhainen varustetaso. Lisäksi asukkaat ilmoittivat käyttävänsä kohtuullisen vähän sähkölaitteita ja valmistavansa ruokaa lähinnä mikroaaltouunissa.

5. ENERGIASIMULOINNIT

5.1. Yleistä

Tutkimuksen aikana laskennalliset tarkastelut tehtiin ensisijaisesti ruotsalais-suomalaisena yhteistyönä kehitetyllä IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) 4.0 -ohjelmistolla. Rakennusten geometriamallit laati Timo Silomaa Tampereen teknillisen yliopiston Arkkitehtuurin laitokselta. Rakennusten 3D-mallit luotiin Archicad -ohjelmalla ja siirretään simulointiohjelmaan IFC -muodossa. IFC -pohjainen tietomalli sisälsi kaiken oleellisen tiedon rakenteista ja niiden geometriasta. Tämän lisäksi käytettiin Dof-Lämpö ja Dof-Energia -ohjelmia.

Laskennalliset tarkastelut sisälsivät mm. seuraavat osatehtävät:

1. Laskentamallin verifiointi

- Osoitettiin kenttämittaus- ja simulointituloksia vertailemalla IDA-ICE ohjelman laskentatarkkuuden riittävän parvekelasitusten energiataloudellisten vaikutusten arviointiin

2. Energiataloudellisten vaikutusten arviointi tapauskohtaisesti varioimalla

- Arvioitiin, mikä merkitys parveketyypillä (sisäänvedetty vs. ulkoneva parveke), parvekkeen ilmansuunnalla, parvekkeen rakenteilla (erityisesti parvekeovella ja ikkunalla) ja parvekkeen koolla on parvekelasituksesta saatavaan energiataloudelliseen hyötyyn.

5.2. Laskentamallin verifiointi

Laskentamallin verifiointi (kalibrointi) suoritettiin pintalämpötilojen mittauskohteesta saatujen tietojen avulla. Tiedot rakennuksesta saatiin Archicad -mallista, huoneiston olosuhteiden kertamittauksista ja asukaskyselyistä. Lisäksi laskennassa hyödynnettiin kenttämittauksista saatuja lämpötilatietoja, rakenne- ja julkisivukuvia sekä energiakatselmuksen loppuraporttia. Laskentamallin verifiointi suoritettiin vertailemalla toteutuneita sisä- ja parvekeilman lämpötiloja simuloituihin arvoihin. Mallinnuksen tavoitteena oli saada mitatut lämpötilat vastaamaan simuloituja arvoja 0,5 °C:n tarkkuudella. Rakennusta koskevat tiedot ovat taulukoissa 5.1 ja 5.2.

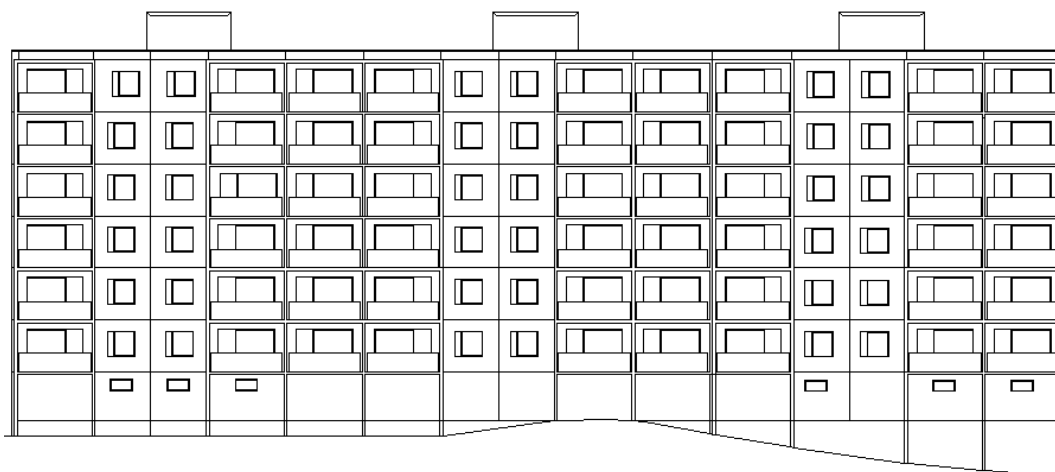
Taulukko 5.1. Kohteen laajuustiedot ja rakenteiden U-arvot.

| Rakennuksen laajuustiedot ja rakenteiden U-arvot | | |
|---|-------|----------------------|
| Rakennuspinta-ala | 5115 | m ² |
| Huoneistoala | 3078 | m ² |
| Rakennustilavuus | 13300 | m ³ |
| Ulkoseinän U-arvo | 0,34 | W/(m ² K) |
| Yläpohjan U-arvo | 0,27 | W/(m ² K) |
| Alapohjan U-arvo | 0,33 | W/(m ² K) |
| Ikkunoiden ja ovien U-arvo (ikkunat uusittu 2000-luvulla) | 1,2 | W/(m ² K) |

Taulukko 5.2. Muut rakennusta koskevat tiedot.

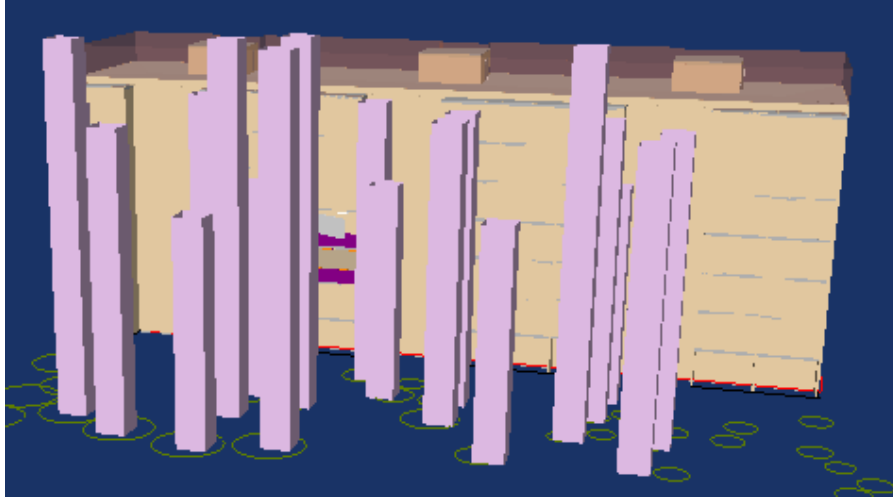
| Muut rakennusta koskevat tiedot | |
|---------------------------------|--|
| Sijainti | Tampere, Hervanta |
| Säätiiedot | Hervanta 2009 (mitattu) |
| Tuulisuusolosuhteet | Normaali kaupunkiympäristö |
| Suuntaus(parvekkeet) | Lounas |
| Varjostus | Parvekejulkisivua varjostaa tiheä puusto |

Simuloitava rakennus on vuonna 1979 valmistunut 1+6 -kerroksinen asuinkerrostalo, jossa on 3 rappua ja 54 asuinhuoneistoa (kuva 5.1). Rakennuksen kellarikerroksessa on talosauna ja -pesula, kylmäsäilytystilat, asukkaiden irtaimistovarasto ja teknisiä tiloja. Kiinteistö lämpenee kaukolämmöllä ja ilmanvaihto tapahtuu koneellisena poistoilmanvaihtona. Kohteessa tehtiin julkisivun saneeraustöitä vuonna 2004, jonka yhteydessä ikkunat ja ovet uusittiin sekä julkisivut maalattiin. Samassa yhteydessä LVI-järjestelmien kunto tarkastettiin ja ilmanvaihtojärjestelmä ja patteriverkosto tasapainotettiin. Itse poistoilmanvaihtokone pysyi ennallaan, mutta se varustettiin nykyaikaisella aikaohjauksella.



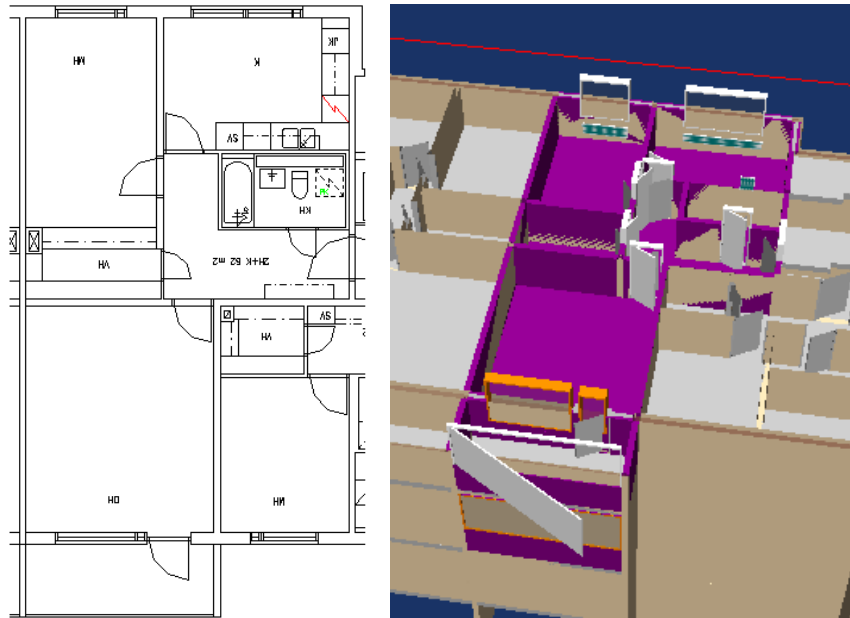
Kuva 5.1. Arkkitehtikuva rakennuksen parvekejulkisivusta.

Asuinkerrostalon parvekkeet ovat rakennuksen lounaisjulkisivulla. Julkisivua peittää tiheähkö metsä, joka varjostaa huomattavasti parvekejulkisivua. Rakennuksen edessä olevat puut on mallinnettu simulointimallissa eri pituisilla $2 \times 2 \text{ m}^2$ tolilla kuvan 5.2 mukaisesti.



Kuva 5.2. Rakennuksen simulointimalli, jossa puut on mallinnettu $2 \times 2 \text{ m}^2$ tolilla.

IDA-ICE -ohjelmistolla tarkasteltiin kahta rakennuksen keskivaiheilla olevaa päällekkäistä huoneistoa, joista toisessa oli lasitettu parveke. Asunnot ovat 64 m^2 :n kaksioita ja sisältävät olohuoneen, makuuhuoneen ja keittiön sekä sisävaraston, wc:n ja eteistilat.



Kuva 5.3. Kuva tutkittavasta huoneistosta. Vasemmalla pohjapiirros ja oikealla simulointimallin näkymä. Lasittamattoman parvekkeen avoin sivu on mallinnettu auki olevana ovena.

Ilmanvaihtuvuus, ilmatiiviyys ja lämmöneristävyys määritettiin huoneistosta kertamittauksina. Käyttötottumukset ja asuntojen sähkönkulutus selvitettiin haastattelemalla. Sähkölaitteiden sijainti ja ominaissähköteho selvitettiin kohdekäynnillä. Selvitykset suoritettiin asunnossa, jossa oli parvekelasitus. Toisen huoneiston käyttö oletettiin samanlaiseksi, jolloin voitiin vakioida sisäilmaolosuhteet ja asunnon käyttö molemmissa huoneistoissa samanlaiseksi. Tällöin ainoa muuttuja huoneistojen välillä oli lasitettu parveke. Huoneistoa ja sen käyttöä koskevat lähtötiedot ovat taulukoissa 5.3, 5.4 ja 5.5.

Taulukko 5.3. Tiedot huoneistosta.

| Tiedot huoneistosta | | |
|-------------------------------|------|----------------|
| Huoneistoala | 64 | m ² |
| Tilavuus | 162 | m ³ |
| Asukkaiden lkm | 2 | kpl |
| Sähkönkulutus | 1500 | kWh/a |
| Ilmavuotoluku n ₅₀ | 1 | 1/h |

Taulukko 5.4. Ilmanvaihtuvuus.

| Poistoilmanvaihdon mitatut tilavuusvirrat ja käyntiajat | | | | |
|---|--------------------------------------|-----------|----------------|---|
| Käyntinopeus | Mitattu ilmavirta, m ³ /s | | | Käyntiaikataulu |
| 1 (normaalikäyttö) | 0,0017 | 0,0047 | 0,011 | |
| 2 (tehostettu käyttö) | 0,0032 | 0,0083 | 0,0223 | ma-su 06.00-09.00, 11.00-13.00, 16.00-18.00 |
| | Varasto | WC | Keittiö | |

Taulukko 5.5. Tilojen sisäiset lämpökuormat ja niiden aikataulut talvikautena.

| Tila, lämmönlähde | Aikataulu (talvikautena) | Lämpökuorma | Yksikkö |
|-------------------|--|-------------|------------------------------------|
| Makuuhuone | | | |
| ihmiset | ma-su klo 22-07 | 0,7 | met/hlö (met=aktiiviteettitaso) |
| valaistus | ma-su klo 07-08.30 ja 20.30-22 | 60 | W |
| laitteet | ma-su klo 07-09 ja 16-22 | 15 | W |
| Olohuone | | | |
| ihmiset | ma-su klo 08-09 ja 14-21 | 1 | met/hlö |
| valaistus | ma-su klo 08-09 ja 16-21 | 60 | W |
| laitteet | ma-su klo 08-09 ja 14-21 | 150 | W |
| Keittiö | | | |
| ihmiset | ma-su klo 07-07.30, 12-12.30, 14.30-15, 17.30-18 ja 21.30-22 | 1 | met/hlö |
| valaistus | ma-su klo 07-09 ja 18-22 | 25 | W |
| laitteet | ma-su klo 0-24 | 100 | W |
| WC | | | |
| ihmiset | ma-su klo 08-09 ja 21-22 | 1 | met/hlö |
| valaistus | ma-su klo 08-09 ja 21-22 | 25 | W |
| Eteinen | | | |
| valaistus | ma-su klo 12-18 | 25 | W |
| laitteet | ma-su klo 12-18 | 15 | W |
| Varasto | | | |
| ihmiset | ma-su klo 07-07.30 ja 21-21.30 | 1 | met/hlö |
| valaistus | ma-su klo 07-07.30 ja 21-21.30 | 60 | W |

Patterien mitoitus vuoden 1979 normien mukaisesti tilattiin keväällä 2010 Antti Mäkiselältä AX-LVI Oy:stä. Tiedot pattereista löytyvät taulukosta 5.6. Patterien koot on määritetty Purmo Ventil Compact- patterien mitoitusaulukon perusteella.

Taulukko 5.6. Patterien koot, virtaamat ja tehontarpeet.

| Patterit vuoden 1979 normien mukaan mitoitettuna | | | | |
|--|---------|----------------------|---------------|------------------------------|
| Sijainti | Teho, W | Koko, m ² | Virtaama, l/s | Malli (Purmo Ventil Compact) |
| Olohuone | 850 | 450x1200 | 0,0067 | malli 22 |
| Makuuhuone | 740 | 400x1200 | 0,0059 | malli 22 |
| Keittiö | 850 | 450x1200 | 0,0067 | malli 22 |
| WC | 200 | 300x700 | 0,0016 | malli 11 |

Simuloinneissa käytettiin kohteelta vuonna 2009 mitattuja lämpötila- ja kosteustietoja. Puuttuvat lämpötilatiedot täydennettiin Pirkkalan lentoaseman säähavainnoilla. Säteilytiedot ovat peräisin Jokioisten ilmatieteellisen observatorion säteilyhavainnoista.

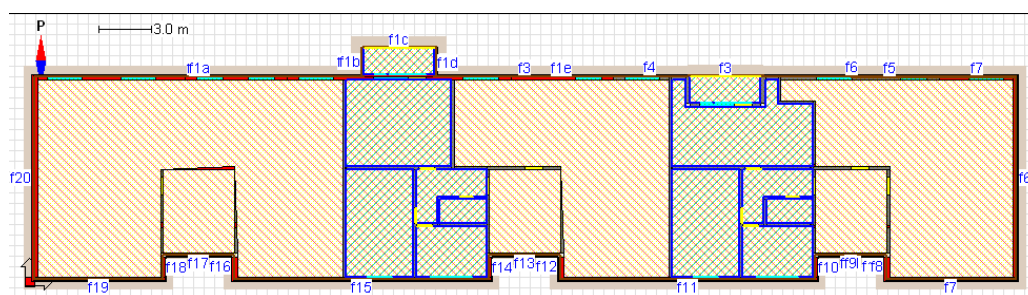
5.3. Energiataloudellisten vaikutusten arviointi tapauskohtaisesti varioimalla

Energiataloudellisten vaikutusten tapauskohtaisen arvioinnin lähtökohdaksi valittiin pintalämpötilojen mittauskohde ja tarkasteltaviksi muuttujiksi sijainti, ilmansuunnat ja eristystaso sekä parveketyyppi, parvekkeen tiiviys ja korvausilmaventtiilin sijoitus. Taulukossa 5.7 on esitetty varioinneissa tarkasteltavat laskentatapaukset.

Taulukko 5.7. Varioinneissa tarkasteltavat laskentatapaukset

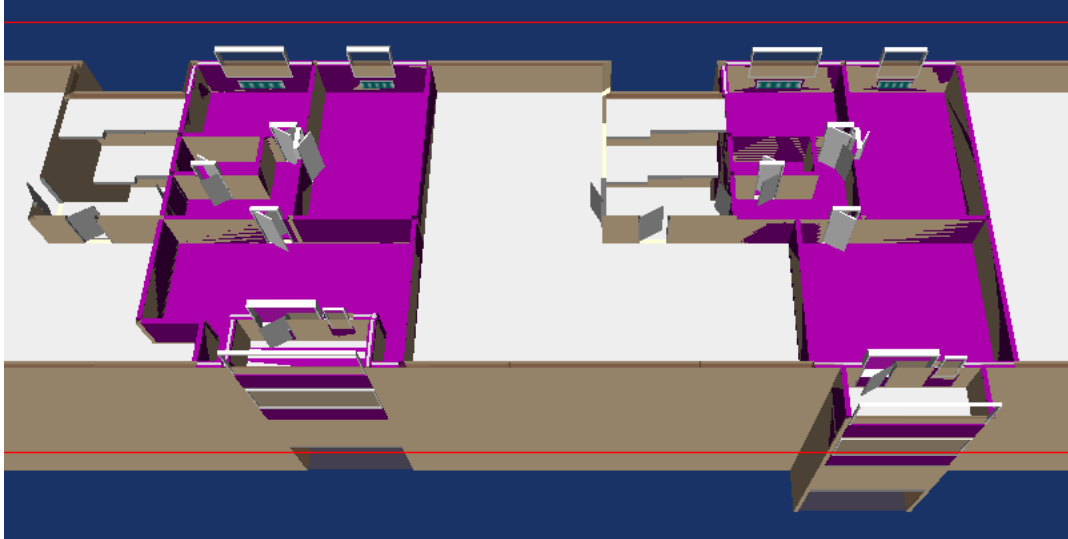
| Muuttuja | Laskentatapaukset |
|------------------------------|--|
| Sijainti | Helsinki, Jyväskylä, Sodankylä ja Berliini |
| Ilmansuunnat | Pohjoinen, etelä, itä, länsi |
| Lämmöneristystasot (U-arvot) | Vuodelta 1974 ja 2010 |
| Tuloilman sisäänottaminen | Parvekkeelta, parvekkeen ulkopuolelta |
| Parvekkeen tiiviys | Tavallinen, Heikko |

Timo Silomaa suurensi huoneiston 80,5 m² kokoiseksi ja sijoitti sekä ulosvedetyllä että sisäänvedetyllä parvekkeella varustetut huoneistot samaan rakennukseen. Parvekkeen sisään vedosta pienentyntä olohuonetta jatkettiin oikealle samalla pinta-alalla kuvan 5.4 mukaisesti. Näin olohuoneiden pinta-alat pysyivät samoina.



Kuva 5.4. Variointimallissa sisäänvedetyllä ja ulkonevalla parvekkeella varustetut huoneistot sijoitettiin samaan rakennukseen. Huoneistot ovat pinta-alaltaan yhtä suuret.

Tarkasteltaviksi huoneistoiksi valittiin rakennuksen toisessa ja kolmannessa kerroksessa sijaitsevat huoneistot. Toisen kerroksen huoneistoissa parvekkeet olivat lasitettuja ja kolmannen kerroksen huoneistoissa lasittamattomia. Yhteensä tarkasteltavia huoneistoja oli neljä kappaletta.



Kuva 5.5. Päällekkäin sijaitsevista huoneistoista alemmassa oli lasitettu parveke ja ylemmässä lasittamaton parveke. Tarkasteltavia huoneistoja rakennuksessa oli yhteensä neljä.

Rakennus ajateltiin sijaitsevan avoimessa maastossa, lämpiävän kaukolämmöllä ja ilmanvaihdon tapahtuvan koneellisena poistoilmanvaihtona. Rakennuksen sijainti, ikä, lämmöneristystaso, suuntaus ja muut laskentamuuttujat vaihtelivat laskentatapauksesta riippuen. Laskennallinen tarkastelu eri vaihtoehdoille suoritettiin IDA-ICE:n versionhallintaa käyttäen (kuva 5.6). Versionhallinnan ideana on luoda ensin päämalli, joka sisältää kaikille laskentatapauksille yhteiset tiedot. Mallin alle luodaan sen jälkeen uusia laskentatapauksia, joihin tallennetaan yksi tai useampi muutos. Uudet mallit pyritään nimeämään muutosta kuvaavalla nimellä, jotta muutkin käyttäjät ymmärtävät muutosten sisällön. Kun kaikki tarvittavat mallit on luotu, voidaan laskenta suorittaa keskitetysti yhdellä kertaa. Tämä säästää huomattavasti aikaa ja vaivaa.

| | | Tout | Tret | Tsup |
|---|--|-------|-------|-------|
| | | Deg-C | Deg-C | Deg-C |
| - | Variointimallin puurakenne | - | | |
| - | A HELSINKI | - | | |
| - | A1 Pohjoinen | - | | |
| - | A11 Vuoden 1974 eristystaso | - | | |
| - | A111 Tuloilman sisäänottaminen parvekkeelta | - | | |
| | A1111 Parvekkeen tiiviys perustasoa | ? | | |
| | A1112 Parvekkeen tiiviys heikko | | | |
| - | A112 Tuloilman sisäänottaminen parvekkeen ulkopuolelta | | | |
| | A1121 Parvekkeen tiiviys perustasoa | | | |
| | A1122 Parvekkeen tiiviys heikko | | | |
| - | A12 Vuoden 2010 eristystaso | | | |
| - | A121 Tuloilman sisäänottaminen parvekkeelta | | | |
| | A1211 Parvekkeen tiiviys perustasoa | | | |
| | A1212 Parvekkeen tiiviys heikko | | | |
| - | A122 Tuloilman sisäänottaminen parvekkeen ulkopuolelta | | | |
| | A1221 Parvekkeen tiiviys perustasoa | | | |
| | A1222 Parvekkeen tiiviys heikko | | | |
| - | A2 Etelä | | | |
| - | A21 Vuoden 1974 eristystaso | | | |
| - | A211 Tuloilman sisäänottaminen parvekkeelta | | | |
| | A2111 Parvekkeen tiiviys perustasoa | | | |
| | A2112 Parvekkeen tiiviys heikko | | | |
| - | A212 Tuloilman sisäänottaminen parvekkeen ulkopuolelta | | | |
| | A2121 Parvekkeen tiiviys perustasoa | | | |
| | A2122 Parvekkeen tiiviys heikko | | | |

Kuva 5.6. Laskenta suoritettiin IDA-ICE:n versionhallinnalla. Alaotsikoiden nimet kertovat muutoksesta, joka on tehty pääotsikkoon nähden. Etuliite esim. A1 on lyhenne, jota on käytetty myöhemmin eri laskentavaihtoehtoja vertailtaessa.

Pattereiden ja ilmanvaihdon mitoituksen suoritti keväällä 2010 Antti Mäkinen AX-LVI Oy:stä. Patterit mitoitettiin vuoden 1974 ja ilmanvaihto vuoden 2010 määräystason

mukaan. Huoneistoa, pattereita ja ilmanvaihtoa koskevat lähtötiedot ovat taulukoissa 5.8, 5.9 ja 5.10.

Taulukko 5.8. Muut lähtötiedot.

| Tiedot huoneistoista | |
|---|---|
| Talotyyppi | |
| Kerrostalo Asukkaita Varustetaso | 80,5m² 2 tavallinen |
| Laitteiden sähkönkulutus yhteensä $W_{\text{laitesähkö}}$ [kWh/brm²/vuosi] | 34 |
| Valaistus ja muut laitteet $W_{\text{valaistus}}$ [kWh/brm ² /vuosi] | 11 |
| Viihde W_{viihde} [kWh/brm ² /vuosi] | 7 |
| Kylmälaitteet $W_{\text{kylmälaitteet}}$ [kWh/brm ² /vuosi] | 6 |
| Pyykinpesu $W_{\text{pyykinpesu}}$ [kWh/brm ² /vuosi] | 2 |
| Ruoanlaitto $W_{\text{ruoanlaitto}}$ [kWh/brm ² /vuosi] | 8 |
| Ilmanvaihto [dm³/s]/m² | 0,5 (0,25) |
| Ilmanpitävyys, n₅₀-luku | 1 |
| Henkilöiden luovuttama ominaislämpöenergia, $Q_{\text{henk, omin}}$ [kWh/brm²/vuosi] | 125 W (simul.) |
| Rakennuksen tyypillinen käyttö | |
| Käyttöaika [klo] Viikolla Viikonloppuisin | 0-7 ja 17-24 0-24 |
| Lämpimän käyttöveden kulutus | |
| $V_{\text{lkv,omin,henk,L}}$ [dm ³ /henk/vrk] | 160 |

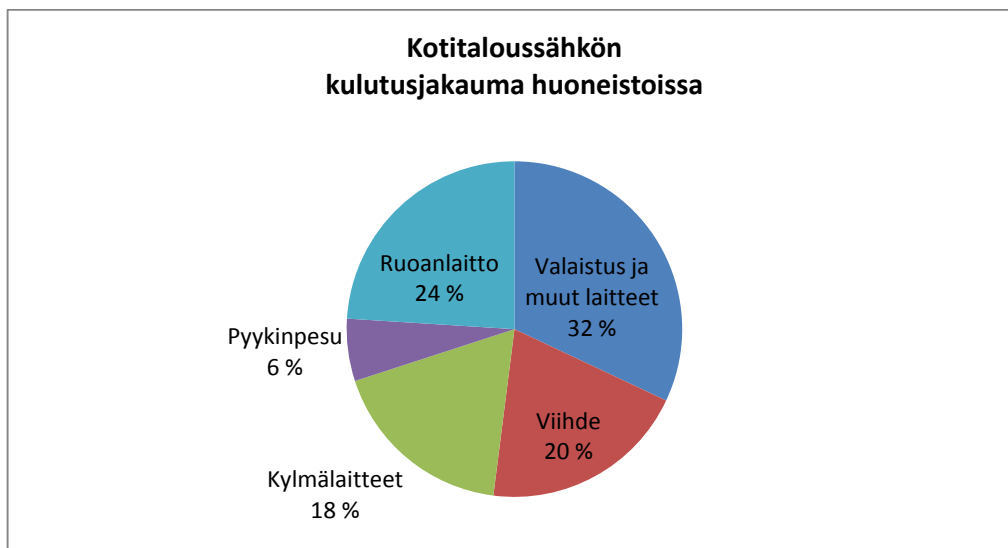
Taulukko 5.9. Patterien koot, virtaamat ja tehontarpeet.

| Patterit vuoden 1979 normien mukaan mitoitettuna | | | | |
|--|---------|----------------------|---------------|------------------------------|
| Sijainti | Teho, W | Koko, m ² | Virtaama, l/s | Malli (Purmo Ventil Compact) |
| Olohuone | 1987 | 450x2000 | 0,0159 | malli 22 |
| Makuuhuone | 1186 | 450x1200 | 0,0094 | malli 22 |
| Keittiö | 1524 | 450x1600 | 0,0121 | malli 22 |

Taulukko 5.10. Ilmanvaihtuvuus.

| Poistoilmanvaihdon mitatut tilavuusvirrat ja käyntiajat | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------|----------------|--|
| Käyntinopeus | Mitattu ilmavirta, m ³ /s | | | Käyntiaikataulu |
| 1 (normaalikäyttö) | 0,17 | 0,24 | 0,34 | |
| 2 (tehostettu käyttö) | 0,33 | 0,49 | 0,68 | ma-su 06.00-09.00, 11.00-13.00, 16.00-18.00 |
| | Olohuone | Makuuhuone | Keittiö | |

Rakennuksen taloussähkönkulutuksen suuruusluokka valittiin Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006 –tutkimuksen esimerkkitalouksien joukosta. Rakennuksen ajateltiin olevan varustetasoltaan tavanomainen ja huoneistoissa asuvan kaksi työssä käyvää ihmistä. Taloussähkönkulutus oli tällöin 2700 kWh/m²/vuosi. Kotitaloussähkön kulutusjakauma huoneistossa on esitetty kuvassa 5.7.



Kuva 5.7. Ajateltu kotitaloussähkön kulutusjakauma tarkasteltavissa huoneistoissa.

Simuloinneissa käytettiin Suomen sääolosuhteina IDA-ICE ohjelmasta löytyviä Helsingin, Jyväskylän ja Sodankylän säätietoja vuodelta 1979 ja Saksan säätietoina ASHRAE- standardin mukaista säätietoa Berliinistä. IDA-ICE ohjelmassa olevat Suomen säätiedot vuodelta 1979 ovat peräisin Ilmatieteen laitokselta ja niitä käytetään esimerkiksi rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittamisessa ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaan 2007 mukaisesti.

6. KENTTÄMITTAUSTEN TULOKSET

6.1. Pintalämpötilamittaukset

6.1.1. Yleistä

Tässä luvussa käsitellään pintalämpötilamittausten keskeisiä tuloksia ajanjaksolta 17.7.2009 - 24.5.2010. Taulukoissa ja kuvaajissa on mittauspisteistä käytetty kirjaintunnuksia taulukossa 6.1 esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Kirjaintunnuksia vastaavat pintalämpötila-anturien anturitunnukset ovat liitteessä 2. Anturien tarkat sijainnit voi tarkistaa kytkentäsuunnitelmasta liitteestä 1.

Taulukko 6.1. Mittauspisteitä kuvaavat kirjaintunnukset.

| Merkintätapa | |
|----------------------|---|
| A | = Huoneisto A (Lasittamaton parveke) |
| B | = Huoneisto B (Lasitettu parveke) |
| P | = Pintalämpötila mitattu parvekkeen puolelta |
| H | = Pintalämpötila mitattu huoneiston puolelta |
| I | = Ikkuna |
| O | = Ovi |
| S | = Seinä |
| K | = Katto |
| "Kuusen alla" | = Ulkolämpötila |
| () | = Sulkeissa joko Vaisalan RH/T-anturin yksilöivä tunnus (A,B,C,D,E) tai pintalämpötila-anturin tarkempi sijainti. Esim. (iy)=ikkunan yläosa |
| Esimerkki | |
| AHI(ik) | = Huoneisto A (Laittamaton parveke), pintalämpötila mitattu huoneiston puolelta, ikkunasta, ikkunan keskiosasta |

6.1.2. Parvekkeiden lämpötilat

Mittausjakson aikana parvekkeen ulkopuolelta mitattu ulkolämpötila vaihteli $-23,4\text{ °C}$:n ja $27,7\text{ °C}$:n välillä (taulukko 6.2). Korkein lämpötila mitattiin 16.5.2010 klo 16.00 ja matalin lämpötila 20.2.2010 klo 8.00. Mittausjakson lämpimin kuukausi oli heinäkuu ja kylmin kuukausi tammikuu. Ulkoilman keskilämpötila mittausjakson aikana oli $2,1\text{ °C}$:tta.

Taulukko 6.2. Maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana.

| | Ulkoilma [°C] | Lasitettu parveke [°C] | Lasittamaton parveke [°C] | Lämpötilaero ulkoilman ja lasitetun parvekkeen välillä [°C] | Lämpötilaero lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välillä [°C] |
|-------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|---|---|
| Maksimi | 27,7 | 30,2 | 29,1 | 14,0 | 12,7 |
| Minimi | -23,4 | -16,8 | -22,2 | -3,1 | -2,6 |
| Mittapiste | Vaisala A | Vaisala C | Vaisala E | Vaisala C- A | Vaisala C- E |

Lämpötilat sekä lasitetulla että lasittamattomalla parvekkeella olivat lähes poikkeuksetta ulkolämpötilaa korkeampia (taulukko 6.4). Lasittamattoman parvekkeen lämpötilat vaihtelivat välillä $-22,2\dots 29,1\text{ °C}$:tta ja lasitetun parvekkeen lämpötilat välillä $-16,8\dots 30,2\text{ °C}$:tta. Keskimäärin lasittamaton parveke oli $0,8\text{ °C}$:tta ja lasitettu parveke $3,7\text{ °C}$:tta ulkolämpötilaa korkeampi (taulukko 6.3). Lämmityskaudella lämpötilaerot olivat vastaavasti $0,8\text{ °C}$:tta ja $4,1\text{ °C}$:tta.

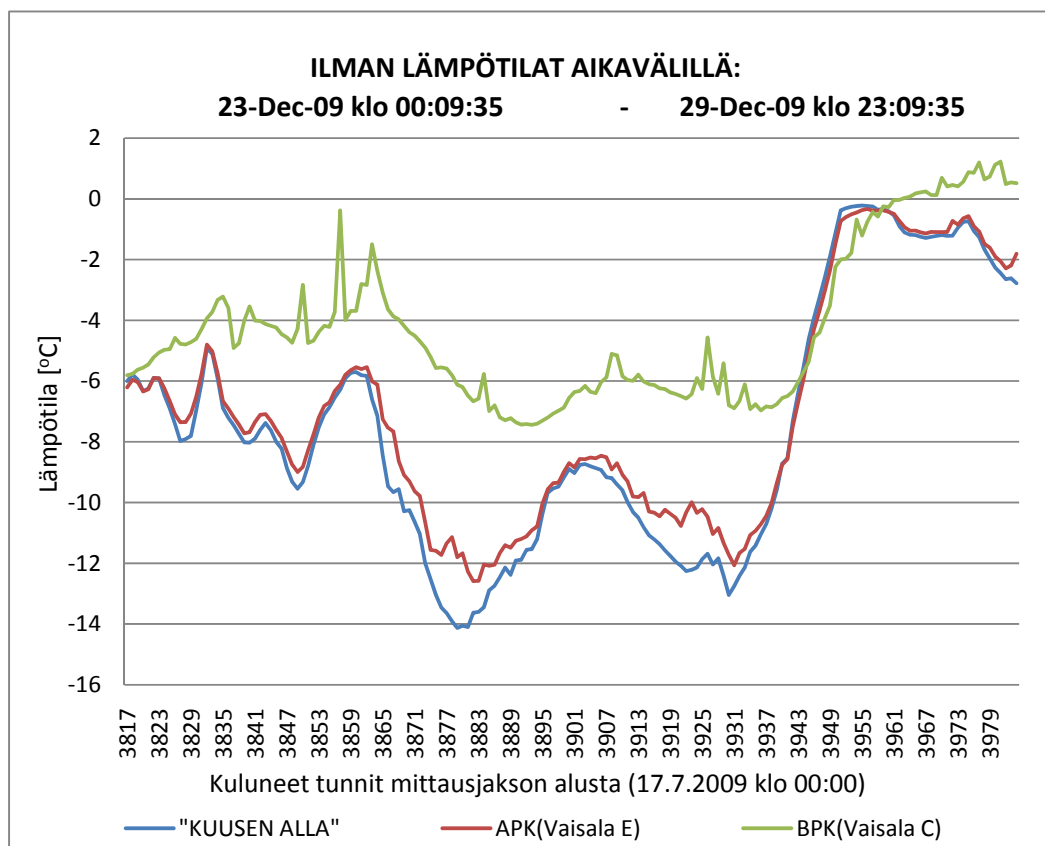
Taulukko 6.3. Lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

| | Lämpötilaero ulkoilman ja lasittamattoman parvekkeen välillä [°C] | Lämpötilaero ulkoilman ja lasitetun parvekkeen välillä [°C] | Lämpötilaero lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välillä [°C] |
|--|--|--|--|
| Koko mittausjakso | 0,8 | 3,7 | 2,9 |
| Lämmityskaudella (loka- huhtikuu) | 0,8 | 4,1 | 3,3 |
| Toukokuu | 1,3 | 4,3 | 3,0 |
| Huhtikuu | 0,9 | 4,4 | 3,4 |
| Maaliskuu | 1,0 | 4,5 | 3,6 |
| Helmikuu | 0,7 | 4,1 | 3,3 |
| Tammikuu | 0,5 | 4,1 | 3,6 |
| Joulukuu | 0,9 | 3,9 | 3,1 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 0,8 | 3,4 | 2,6 |
| Syyskuu | 0,5 | 2,4 | 1,9 |
| Elokuu | 0,9 | 2,9 | 2,0 |
| Heinäkuu | 0,8 | 3,1 | 2,3 |
| Mittapisteeet | Vaisala A | Vaisala C- A | Vaisala C- E |

Taulukko 6.4. Ulkoilman ja parvekkeiden keskilämpötilat mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

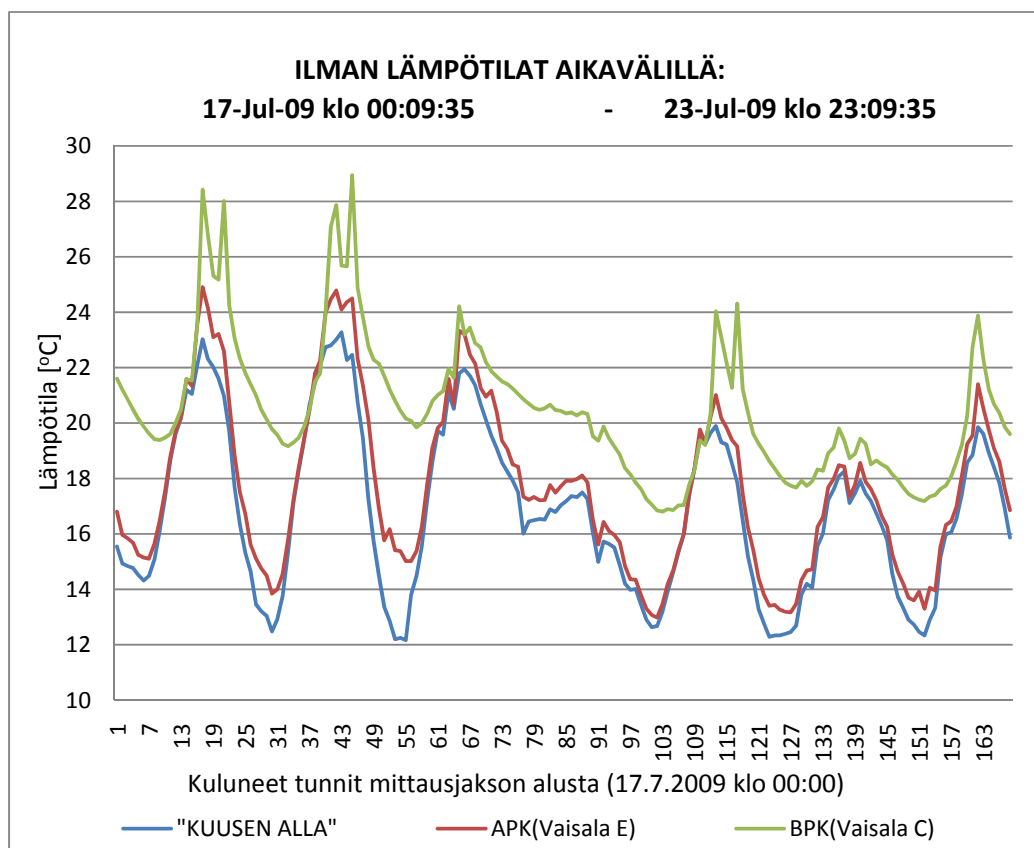
| | Ulkoilma [°C] | Lasittamaton parveke [°C] | Lasitettu parveke [°C] |
|--------------------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| Koko mittausjakso | 2,1 | 2,9 | 5,8 |
| Toukokuu | 12,2 | 13,5 | 16,5 |
| Huhtikuu | 4,1 | 5,1 | 8,5 |
| Maaliskuu | -2,8 | -1,9 | 1,7 |
| Helmikuu | -9,9 | -9,2 | -5,9 |
| Tammikuu | -12,9 | -12,4 | -8,8 |
| Joulukuu | -7,2 | -6,4 | -3,3 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 2,5 | 3,3 | 5,9 |
| Syyskuu | 11,7 | 12,2 | 14,1 |
| Elokuu | 15,6 | 16,5 | 18,4 |
| Heinäkuu | 17,1 | 17,9 | 20,2 |
| Mittapisteen | Vaisala A | Vaisala E | Vaisala C |

Lämpötilaero parvekkeiden ja ulkoilman välillä vaihteli vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Pakkasen kiristyessä lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä kasvoi ja ilman lämmitessä pieneni. Suurin lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä oli 14,0 °C:ta ja se mitattiin 13.12.2009 klo 21.00. Tämä johtui ilman lämpötilojen voimakkaasta laskusta, johon lasitettu parveke ”reagoi” vähän viiveellä. Vastaavasti lasitetun parvekkeen lämpötilat olivat hetkellisesti ulkolämpötilaa alhaisemmat ilman nopean lauhtumisen yhteydessä (kuva 6.1).



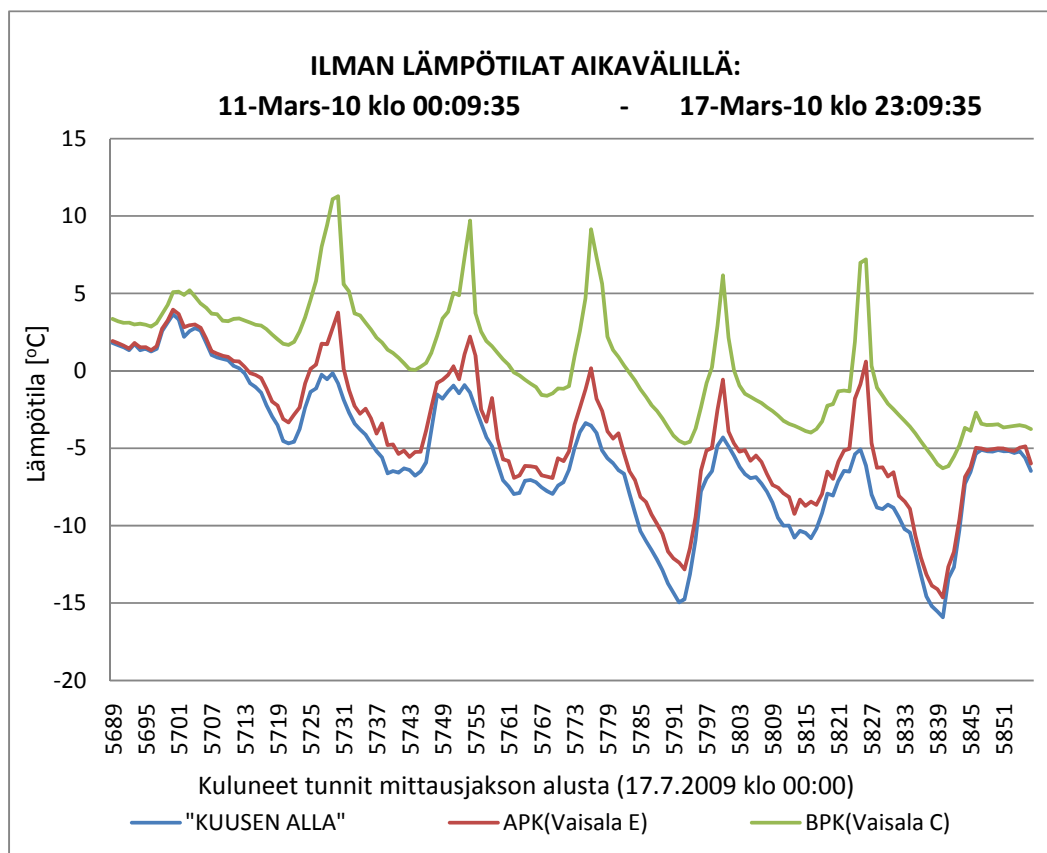
Kuva 6.1. Ilman lauhtuessa lasitetun parvekkeen lämpötilat (°C) olivat hetkellisesti ulkolämpötilaa matalampia. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Kuvasta 6.2 nähdään parvekelasituksen lämpötilaolosuhteet kesäaikana. Auringon säteilyn vaikutuksesta lasitettu parveke lämpiää useita asteita, mutta jäähtyy nopeasti auringon laskettua. Yölämpötilat pysyttelevät selvästi ulkolämpötiloja korkeampina. Lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä oli elokuussa keskimäärin 2,9 °C:tta eli 36 % pienempiä kuin maaliskuussa. Lasittamattoman parvekkeen lämpötilat olivat elokuussa keskimäärin 0,9 °C:tta ulkolämpötilaa korkeampia, jolloin lasitetun ja lasittamattomat parvekkeen keskimääräiseksi lämpötilaeroksi elokuussa jäi 2 °C:tta. Lämpötilaeroa lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä voidaan helposti pienentää avaamalla parvekelasitus joko osittain tai kokonaan.



Kuva 6.2. Lämpötilakuvaaja ajanjaksolta 17.7. - 23.7.2009. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Energiataloudellisessa mielessä paras vaikutus parvekelasituksella oli maaliskuussa. Tällöin rakennuksen lämpöhäviöiden lisäksi auringon säteilyllä oli merkittävä vaikutus parvekkeen lämpötiloihin. Kuvassa 6.3 on parvekkeiden ja ulkoilman lämpötilat 11. - 17. maaliskuuta. Auringon säteilyn vaikutus päivälämpötiloihin nähdään lasitetun parvekkeen lämpötiloissa selvästi.



Kuva 6.3. Auringon säteilyllä oli merkittävä vaikutus parvekkeen lämpötiloihin erityisesti keväällä. Tiedot mittapisteen kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

6.1.3. Huoneistojen lämpötilat

Lasitetulla parvekkeella varustetun huoneiston sisälämpötilat vaihtelivat välillä 21,7...26,4 °C:ta ja lasittamattomalla parvekkeella varustetun huoneiston sisälämpötilat välillä 22...28,4 °C:ta. Kesäaikana huoneistojen lämpötilat olivat hyvin lähellä toisiaan. Huoneisto B (lasitettu parveke) oli heinäkuussa 0,5 °C:ta, elokuussa 0,4 °C:ta ja syyskuussa 0,2 °C:ta viileämpi kuin huoneisto A (ei parvekelaseja) (taulukko 6.5). Lämmityskaudella loka- toukokuussa lämpötilaero huoneistojen välillä oli 0,9...2,1 °C:ta.

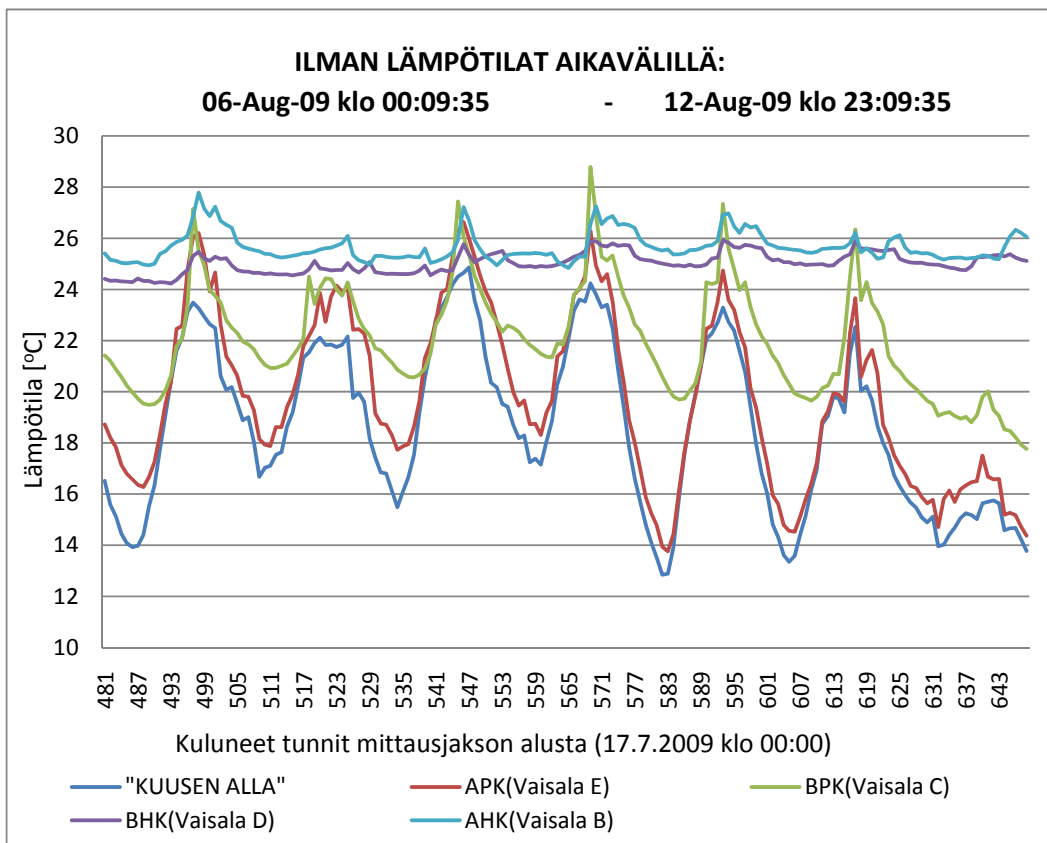
Taulukko 6.5. Huoneistojen lämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

| | Lasitetulla parvekkeella varustettu huoneisto [°C] | Ilman parvekelaseja varustettu huoneisto [°C] | Lämpötilaero [°C] parvekelaseilla ja ilman parvekelaseja varustettujen huoneistojen välillä |
|--|--|---|---|
| Koko mittausjakso | 23,2 | 24,4 | -1,2 |
| Lämmityskaudella (loka- huhtikuu) | 22,9 | 24,5 | -1,5 |
| Toukokuu | 23,9 | 24,9 | -0,9 |
| Huhtikuu | 23,2 | 24,3 | -1,1 |
| Maaliskuu | 23,1 | 24,6 | -1,5 |
| Helmikuu | 22,8 | 24,7 | -1,8 |
| Tammikuu | 22,6 | 24,7 | -2,1 |
| Joulukuu | 22,9 | 24,4 | -1,5 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 22,8 | 24,0 | -1,1 |
| Syyskuu | 23,0 | 23,2 | -0,2 |
| Elokuu | 24,1 | 24,5 | -0,4 |
| Heinäkuu | 24,4 | 24,9 | -0,5 |
| Mittapisteeet | Vaisala D | Vaisala B | Vaisala D- B |

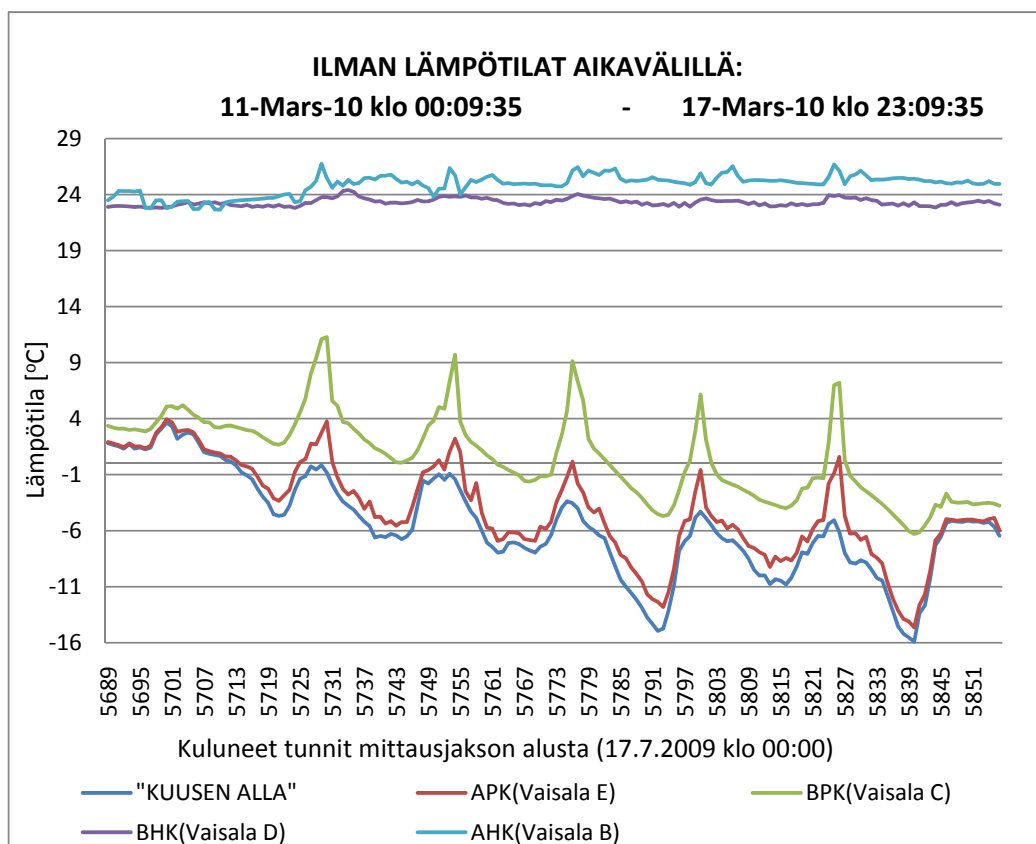
Lämpötilaero huoneistojen välillä oli suoraan verrannollinen lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen väliseen lämpötilaeroon. Pakkasen kiristyessä lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen sekä huoneistojen välinen lämpötilaero kasvoi ja ilman lauhtuessa pieneni. Suurimmillaan lämpötilaero huoneistojen välillä oli 2,1 °C:tta talven kylmimpänä kuukautena tammikuussa ja pienimmillään 0,2 °C:tta syyskuussa. Samoihin aikoihin myös lasitetun ja lasittaman parvekkeen välillä mitattiin suuria ja pienin keskimääräinen lämpötilaero kuukausitasolla. Suurimmat lämpötilaerot lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välillä mitattiin maaliskuu- toukokuussa auringon säteilytehon ollessa selkeästi suurempi kuin sydäntalvella.

Huoneistojen sisälämpötiloihin vaikuttavat parvekelasituksen lisäksi myös mm. asunnon käyttötottumukset ja vedon tunne. Toiset pitävät mieltyttävänä asunnon sisälämpötilana 21 °C:tta ja toiset jopa useita asteita korkeampia sisälämpötiloja. VVO:n kohteissa on myös käytännössä havaittu, että osa heikosti eristettyjen talojen asukkaista pyrkivät pienentämään vedontunnetta ns. yllämmittämällä huoneistoa. Tällöin heikkoa eristävyyttä kompensoidaan korkeammalla sisälämpötilalla. Vedontunnetta voidaan pienentää myös parantamalla ulkoseinärakenteen tiiviyyttä esim. asentamalla parvekkeelle lasitus. Tällöin vetoisuus parvekkeen kohdalla pienenee ja huoneen sisälämpötilaa voidaan mahdollisesti laskea. Tästä ilmiöstä johtuen parvekelasituksen energiansäästö kasvaa vielä lisää verrattuna puhtaaseen lämpöhäviöiden laskuun.

Huoneisto A (ei parvekelasitusta) reagoi voimakkaammin ulkona tapahtuviin lämpötilanmuutoksiin kuin huoneisto B (parvekelasitus), vaikka ilman lämpötilat olivat lasitetulla parvekkeella korkeammat kuin lasittamattomalla parvekkeella (kuvat 6.4 ja 6.5). Yksi selitys tähän on, että parvekelasitus heijastaa ja absorpoo osan auringon säteilyenergiasta ja vähentää siten huoneistoon tunkeutuvan säteilyenergian määrää. Parvekelasituksen aurinkoenergian läpäisyn ollessa 82 % myös parvekkeen taustaseinä, parvekeikkuna ja ovi lämpenee vähemmän auringon säteilyn vaikutuksesta ja pienentää siten huoneiston yllälämpenemisriskiä.

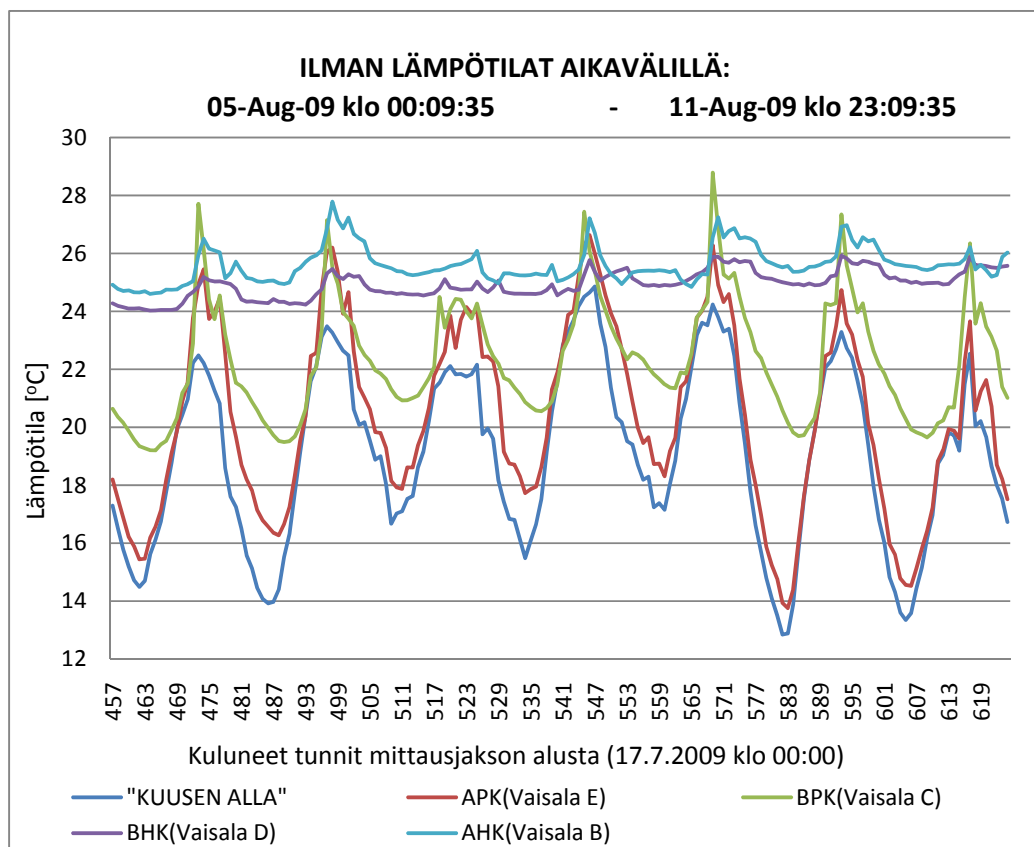


Kuva 6.4. Parvekkeen, ulkoilman ja huoneistojen lämpötilat 6.8. - 12.8.2009. Huoneisto, jossa ei ollut parvekelaseja, lämpeni auringon säteilyn vaikutuksesta enemmän kuin huoneisto, jossa oli parvekelasit. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.



Kuva 6.5. Parvekkeen, ulkoilman ja huoneistojen lämpötilat 11.3. - 17.3.2010. Myös keväällä parvekelaseilla varustetun huoneiston sisälämpötilat vaihtelivat vähemmän auringon säteilyn vaikutuksesta kuin lasittamattomalla parvekkeella varustettu huoneisto. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Kesäkauden aikana lasitetun parvekkeen sisälämpötila kohosivat kahdeksan kertaa hetkellisesti huoneiston sisälämpötilaa korkeammaksi. Samassa yhteydessä myös lasittamaton parveke lämpeni voimakkaasti aiheuttaen sisätiloihin suuremman lämpötilan nousun kuin lasitettu parveke sitä vastaavaan huoneistoon (kuva 6.6). Tässä yhteydessä täytyy todeta, että lasitetulla parvekkeella varustetussa huoneistossa asukkaat olivat paikalla lähes aina ja lasittamattomalla parvekkeella varustetussa huoneistossa vain iltaisin. Jatkuva kotona oleskelu on tuonut lasitetulla parvekkeella varustettuun huoneistoon enemmän sisäisiä lämpökuormia henkilöistä ja sähkölaitteiden käytöstä, mutta mahdollistanut myös tarpeenmukaisen tuuletuksen. Aukkaita oli toki ohjeistettu pitämään parvekelasit suljettuna ja tuulettamaan huoneistoa vain keittiön tuuletusikkunan kautta, jolloin tuuletuksella ei pitäisi olla niin suurta vaikutusta olohuoneen sisälämpötiloihin kuin voisi olettaa.



Kuva 6.6. Parvekkeen, ulkoilman ja huoneistojen lämpötilat 5.8. - 11.8.2009. Lasitetun parvekkeen sisälämpötila nousi kahdeksan kertaa hetkellisesti huoneiston sisälämpötilaa korkeammiksi mittausjakson aikana. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

6.1.4. Ikkunan pintalämpötilat

Ikkunan pintalämpötilat parvekkeelta mitattuna

Ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat parvekkeella B vaihtelivat välillä -13,9...42,1 °C:tta ja parvekkeella A pintalämpötilat välillä -18,8...44,8 °C:tta (taulukko 6.6).

Taulukko 6.6. Ikkunan ulkopinnan maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot antureiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

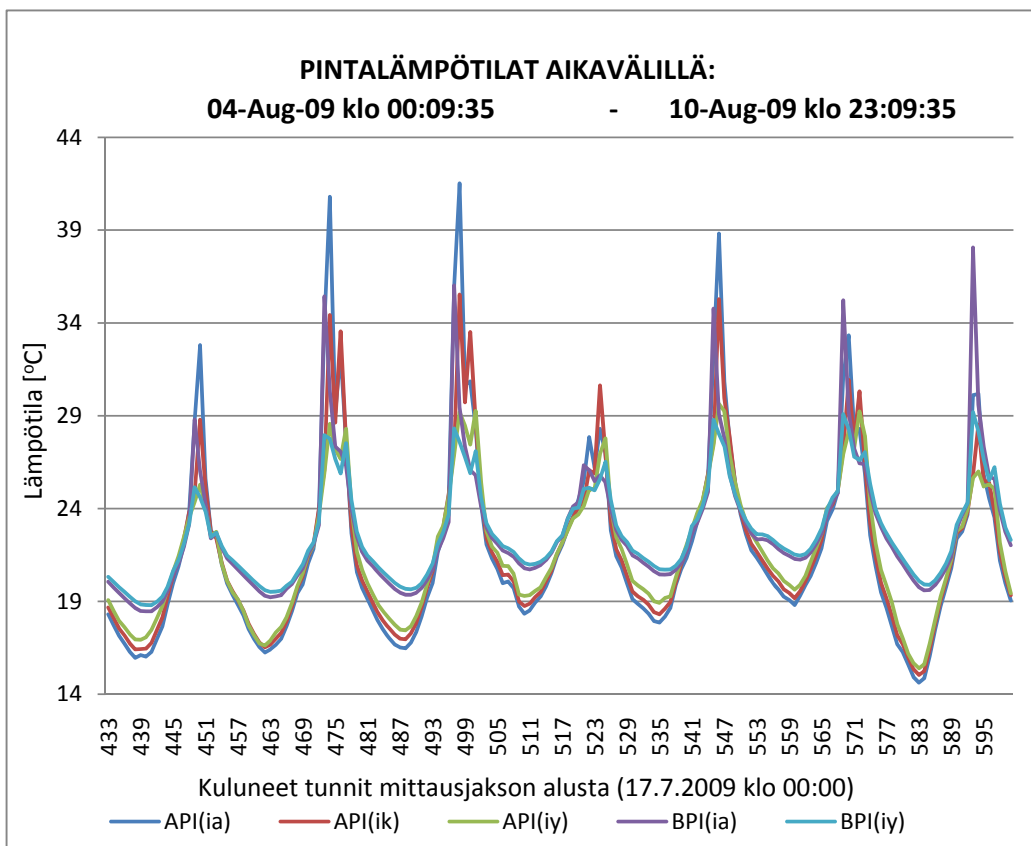
| Anturi | Maksimi | | | Minimi | | |
|----------------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] |
| API(ia) | 20-May-10 | 17:24:35 | 44,8 | 27-Jan-10 | 3:06:35 | -18,8 |
| BPI(ia) | 17-May-10 | 17:24:35 | 42,1 | 29-Jan-10 | 1:09:35 | -13,9 |

Ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat lasitetulla parvekkeella olivat keskimäärin 2,5 °C:tta lasittamattoman parvekkeen pintalämpötiloja suuremmat (taulukko 6.7). Lämmityskaudella lämpötilaero parvekkeiden pintalämpötilojen välillä oli keskimäärin 2,8 °C:tta ja kesäkaudella 1,7 °C:tta.

Taulukko 6.7. Ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

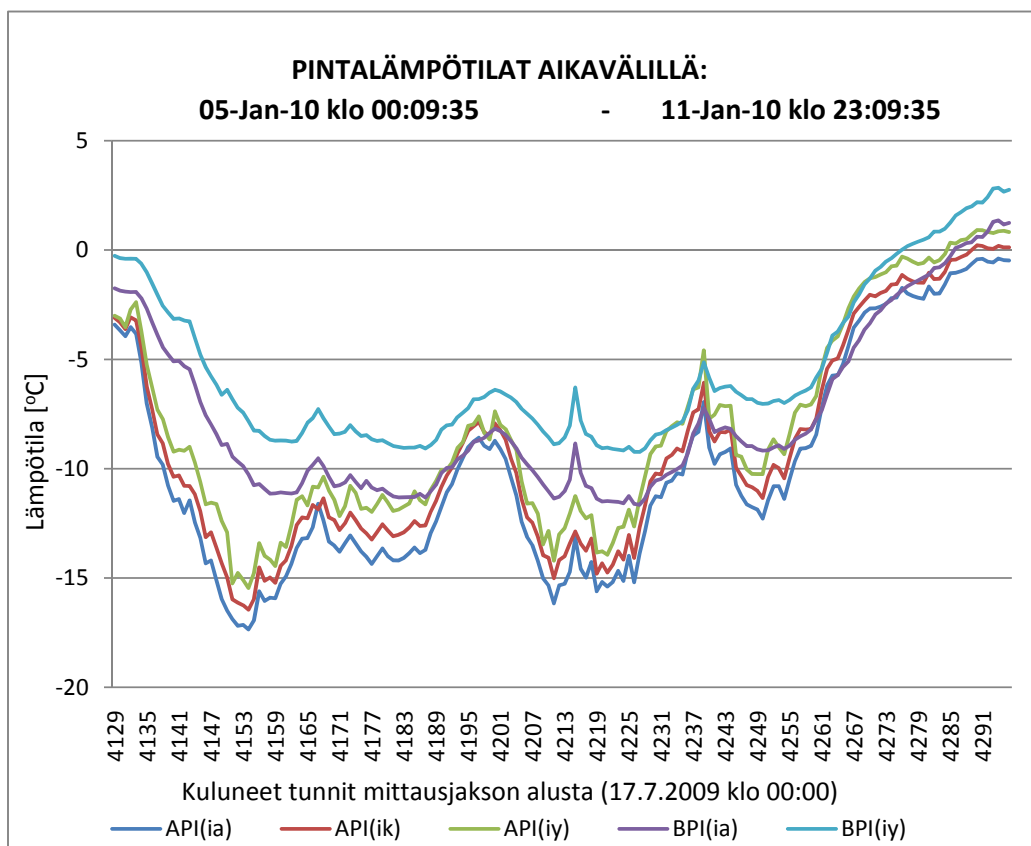
| | Ikkunan ulkopinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella B (lasitettu) | Ikkunan ulkopinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella A (lasittamaton) | Lämpötilaero [°C] ikkunan ulkopinnan pintalämpötiloissa |
|--------------------------|---|--|---|
| Koko mittausjakso | 8,0 | 5,5 | 2,5 |
| Toukokuu | 17,6 | 15,3 | 2,3 |
| Huhtikuu | 10,9 | 7,5 | 3,4 |
| Maaliskuu | 4,6 | 1,4 | 3,3 |
| Helmikuu | -2,4 | -5,4 | 3,0 |
| Tammikuu | -5,2 | -8,2 | 3,0 |
| Joulukuu | -0,4 | -2,8 | 2,5 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 8,4 | 6,1 | 2,3 |
| Syyskuu | 15,4 | 13,5 | 1,9 |
| Elokuu | 19,3 | 17,7 | 1,5 |
| Heinäkuu | 20,9 | 19,2 | 1,8 |

Mittausten perusteella ikkunan alareunan lämpötilanvaihtelut olivat suuremmat kuin ikkunan yläreunan. Esimerkiksi ikkunan pintalämpötilat parvekkeen A alareunassa vaihtelivat välillä -18,8...44,8 °C:ta ja ikkunan yläreunassa välillä -18,0...31,4 °C:ta. Parvekkeen B ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat vaihtelivat alareunassa välillä -13,9...42,1 °C:ta ja ikkunan yläreunassa välillä -11,4...34,3 °C:ta. Mittausten perusteella parvekelasitus tasasi lämpötilanvaihteluita ja lämpötilaeroja ikkunan ulkopinnan ylä- ja alareunan välillä (kuva 6.7).



Kuva 6.7. Ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat 4.8. - 10.8.2009. Parvekelasit tasaavat ikkunan ulkopinnan lämpötilavaihteluita. Tiedot mittapisteen kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Kuvan 6.8 mukaisesti ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat olivat talvella parvekkeella B korkeammat kuin parvekkeella A parvekelasituksien ansiosta.



Kuva 6.8. Ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat 05.01. - 11.01.2010. Ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat parvekkeella B ovat talvikaudella korkeammat kuin parvekkeella A parvekelasituksien ansiosta. Tiedot mittapisteen kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Ikkunan pintalämpötilat huoneistosta mitattuna

Ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat huoneistossa B vaihtelivat välillä 15,9...32,2 °C:tta ja huoneistossa A välillä 16,0...46,8 °C:tta (taulukko 6.8).

Taulukko 6.8. Ikkunan sisäpinnan maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot antureiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

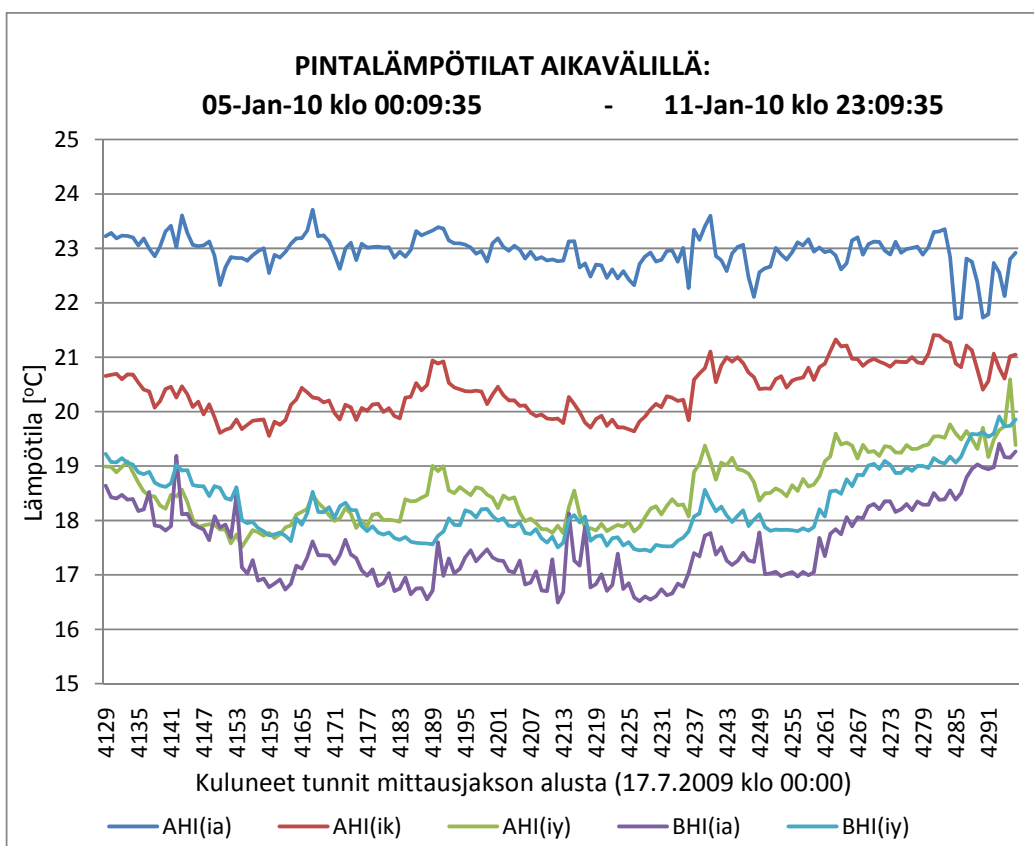
| Anturi | Maksimi | | | Minimi | | |
|---------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] |
| AHI(ia) | 20-May-10 | 17:24:35 | 46,8 | 17-Feb-10 | 19:19:35 | 16,0 |
| BHI(ia) | 20-May-10 | 17:24:35 | 32,2 | 29-Jan-10 | 9:09:35 | 15,9 |

Keskimäärin ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat huoneistossa A olivat 1,0 °C:tta huoneiston B lämpötiloja korkeampia (taulukko 6.9). Kuukausitasolla tarkasteltuna pintalämpötilat olivat ikkunan sisäpinnassa heinä-, elo- ja syyskuussa sekä huhti- ja toukokuussa lähes yhtä suuria. Talvikaudella huoneiston A ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat olivat 1,3...2,5 °C:tta huoneiston B pintalämpötiloja suuremmat. Huoneiston B ikkunan alhaisemmat pintalämpötilat johtuvat todennäköisesti pienemmästä lämmitystarpeesta.

Taulukko 6.9. Ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

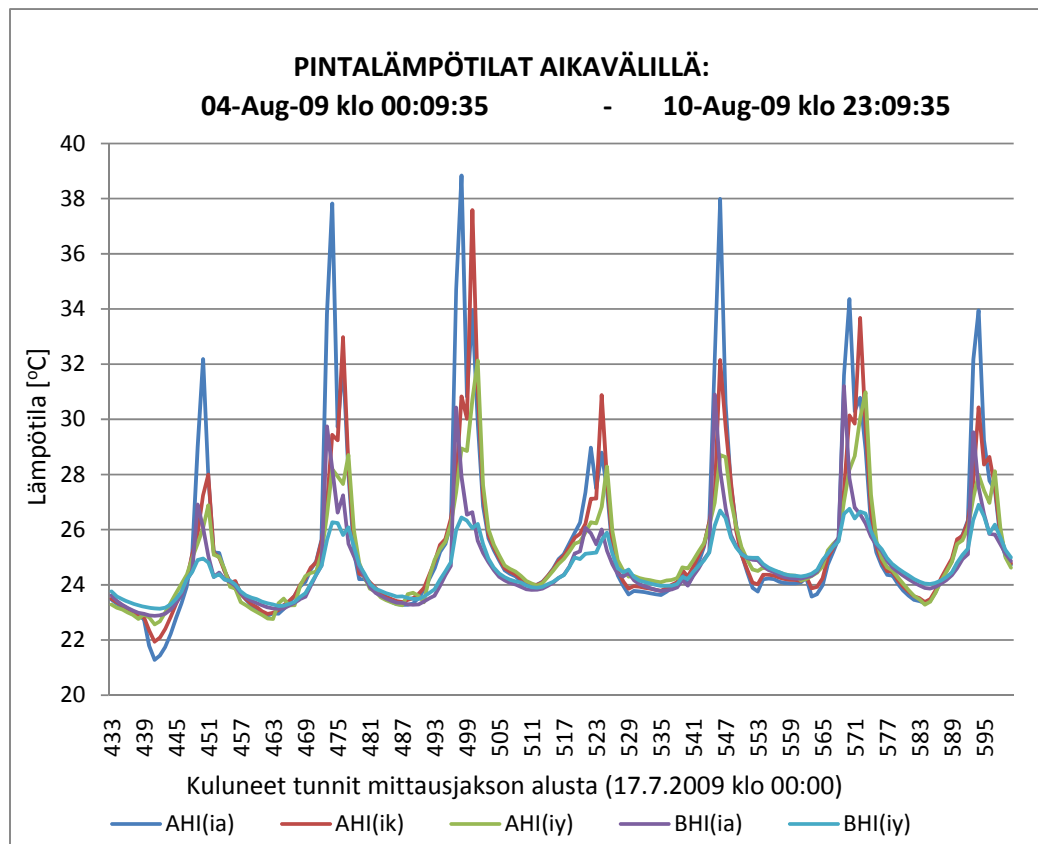
| | Ikkunan sisäpinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin huoneistossa B (parveke lasitettu) | Ikkunan sisäpinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin huoneistossa A (parveke lasittamaton) | Lämpötilaero [°C] ikkunan sisäpinnan pintalämpötiloissa |
|--------------------------|---|--|---|
| Koko mittausjakso | 20,8 | 21,8 | -1,0 |
| Toukokuu | 23,0 | 23,4 | -0,4 |
| Huhtikuu | 21,4 | 21,6 | -0,2 |
| Maaliskuu | 20,2 | 21,6 | -1,3 |
| Helmikuu | 18,8 | 20,8 | -2,0 |
| Tammikuu | 18,1 | 20,6 | -2,5 |
| Joulukuu | 19,1 | 20,8 | -1,8 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 20,5 | 21,8 | -1,3 |
| Syyskuu | 21,6 | 21,6 | 0,0 |
| Elokuu | 23,3 | 23,4 | -0,1 |
| Heinäkuu | 23,9 | 24,1 | -0,2 |

Huoneiston A patterin pintalämpötilat olivat talvikaudella toteutettujen lämpökamerakuvausten perusteella huomattavasti huoneiston B patterin lämpötiloja korkeampia. Tämä piti huoneiston A parvekeikkunan, -oven ja -seinän sisäpinnan pintalämpötilat huoneiston B pintalämpötiloja korkeampina lämmityskauden aikana (kuva 6.9). Esimerkiksi 24.3.2010 klo 13.00 ulkolämpötilan ollessa 1,7 °C:tta oli huoneiston A patteri pintalämpötila 40 °C:tta ja huoneiston B patteri pintalämpötila 31 °C:tta.



Kuva 6.9. Ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat 5.1. - 11.1.2010. Huoneiston A lämpimämpi patteri piti ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat huoneiston B pintalämpötiloja suurempina lämmityskauden aikana. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Mittausten perusteella huoneiston A ikkunan sisäpinnan lämpötilavaihteluita olivat suuremmat kuin huoneiston B (kuva 6.9).



Kuva 6.10. Ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat 4.8. - 1.8.2009. Huoneiston A ikkunan sisäpinnan lämpötilavaihtelut olivat suuremmat kuin huoneiston B. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Yhteenveto

Huoneiston B ikkunan kautta tapahtuvat lämpöhäviöt olivat keskimäärin 22 % pienemmät kuin huoneiston A. Joului-, tammi- ja helmikuussa lämpöhäviöt olivat parvekkeella B 18-19 % pienemmät. Auringon säteilyn merkityksen voi nähdä havainnollisesti kuukausittaisesta energiansäästöstä. Maaliskuussa lämpöhäviöt olivat 23 % pienemmät, huhtikuussa 25 % ja toukokuussa jo 34 %. Kesäaikana lämpöhäviöissä on prosentuaalisesti tarkasteltuna suuri ero, vaikka ikkunan sisä- ja ulkopinnan välisissä lämpötilaeroissa on eroa alle 2 °C:ta. Lämpöhäviöiden pienemiseen on vaikuttanut sekä parvekelasitus että patterin lämpötilat, jotka ovat olleet pienemmästä lämmitystarpeesta johtuen huoneistossa B alhaisemmat kuin huoneistossa A.

***Taulukko 6.10.** Ikkunan sisä- ja ulkopinnan väliset lämpötilaerot sekä parvekelasituksilla säästetty energia ikkunan kohdalta tarkasteltuna. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.*

| | Lämpötilaero [°C] ikkunan sisäpinnan ja ulkopinnan välillä, huoneisto B (parveke lasitettu) | Lämpötilaero [°C] ikkunan sisäpinnan ja ulkopinnan välillä, huoneisto A (parveke lasittamaton) | Huoneiston B ikkunan lämpöhäviöt verrattuna huoneiston A ikkunan lämpöhäviöihin [%] |
|------------------------------|---|--|---|
| Koko mittausjakso | 12,7 | 16,3 | -22 |
| Toukokuu | 5,4 | 8,1 | -34 |
| Huhtikuu | 10,6 | 14,1 | -25 |
| Maaliskuu | 15,6 | 20,2 | -23 |
| Helmikuu | 21,2 | 26,2 | -19 |
| Tammikuu | 23,4 | 28,8 | -19 |
| Joulukuu | 19,4 | 23,7 | -18 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 12,1 | 15,7 | -23 |
| Syyskuu | 6,2 | 8,1 | -24 |
| Elokuu | 4,0 | 5,7 | -29 |
| Heinäkuu | 3,0 | 4,9 | -39 |

6.1.5. Oven pintalämpötilat

Oven pintalämpötilat parvekkeelta mitattuna

Parvekeoven ulkopinnan pintalämpötilat parvekkeella B vaihtelivat välillä -17,4...56,4 °C:tta ja parvekkeella A pintalämpötilat välillä -21,2...60,6 °C:tta (taulukko 6.11).

Taulukko 6.11. *Oven ulkopinnan maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot antureiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.*

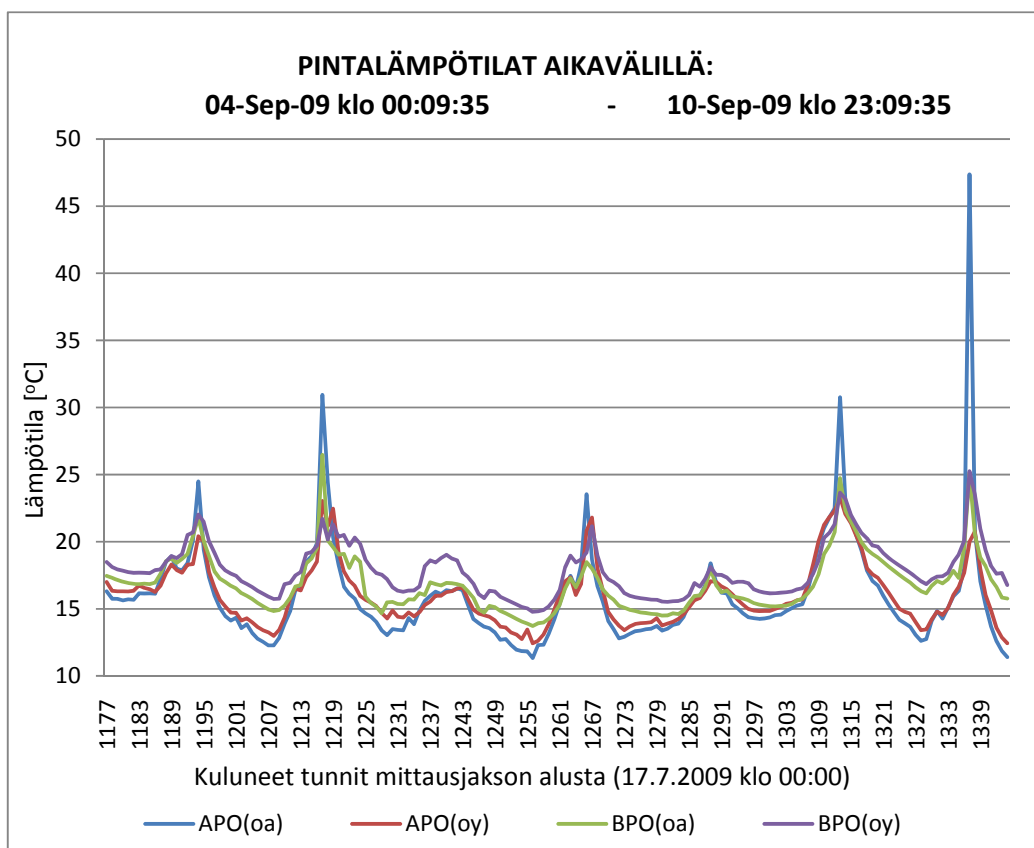
| Anturi | Maksimi | | | Minimi | | |
|---------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] |
| APO(ia) | 17-May-10 | 17:24:00 | 60,60 | 20-Feb-10 | 8:19:00 | -21,20 |
| BPO(ia) | 15-May-10 | 16:24:00 | 56,40 | 29-Jan-10 | 7:19:00 | -17,40 |

Keskimäärin ulkopinnan pintalämpötilat lasitetulla parvekkeella olivat 2,0 °C:tta lasittamattoman parvekkeen pintalämpötiloja suuremmat (taulukko 6.12). Lämmityskaudella lämpötilaero parvekkeiden pintalämpötilojen välillä oli keskimäärin 2,4 °C:tta ja kesäkaudella 1,3 °C:tta.

Taulukko 6.12. *Oven ulkopinnan pintalämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.*

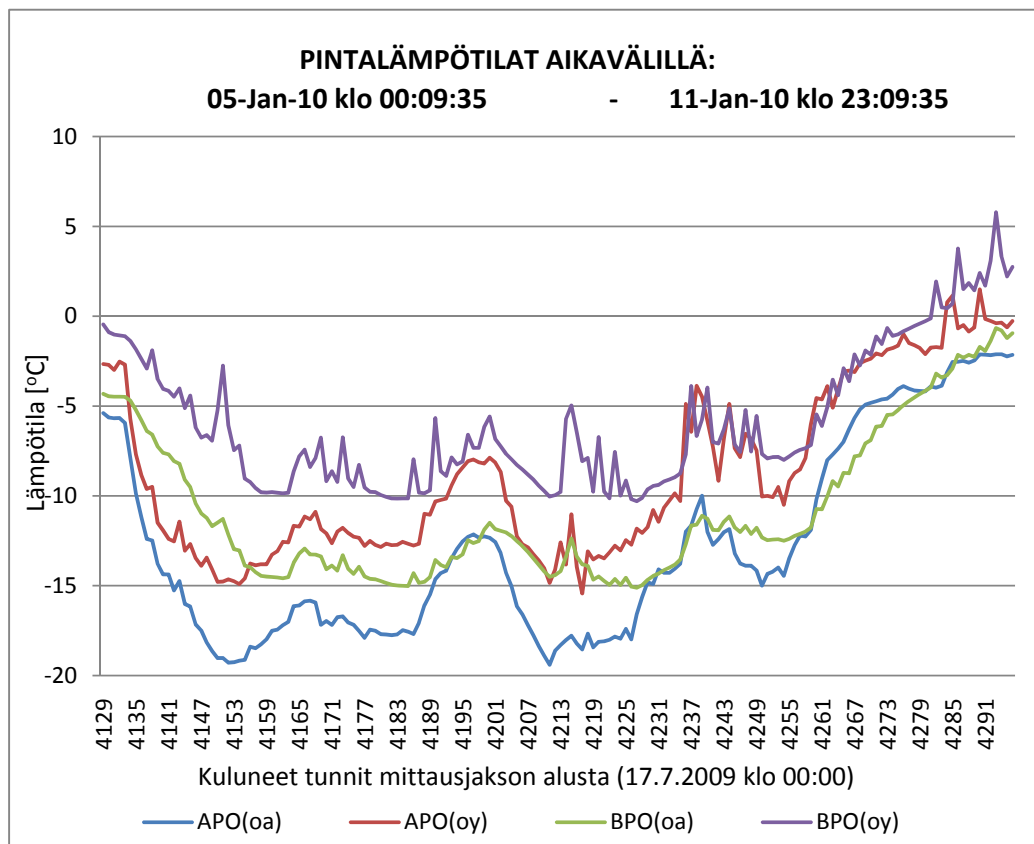
| | Oven ulkopinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella B (lasitettu) | Oven ulkopinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella A (lasittamaton) | Lämpötilaero [°C] oven ulkopinnan pintalämpötiloissa |
|--------------------------|--|---|--|
| Koko mittausjakso | 6,9 | 4,9 | 2,0 |
| Toukokuu | 16,8 | 15,4 | 1,4 |
| Huhtikuu | 9,7 | 7,4 | 2,4 |
| Maaliskuu | 3,0 | 0,4 | 2,6 |
| Helmikuu | -4,2 | -6,4 | 2,3 |
| Tammikuu | -6,8 | -9,3 | 2,6 |
| Joulukuu | -1,6 | -4,0 | 2,4 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 7,0 | 4,9 | 2,1 |
| Syyskuu | 14,8 | 13,3 | 1,5 |
| Elokuu | 18,9 | 17,8 | 1,1 |
| Heinäkuu | 20,7 | 19,7 | 1,0 |

Mittausten perusteella oven alareunan lämpötilanmuutokset olivat suuremmat kuin oven yläreunan. Esimerkiksi oven pintalämpötilat parvekkeen A alareunassa vaihtelivat välillä $-21,2 \dots 60,6$ °C:tta ja oven yläreunassa välillä $-17,0 \dots 36,5$ °C:tta. Parvekkeen B oven pintalämpötilat vaihtelivat alareunassa välillä $-17,4 \dots 56,4$ °C:tta ja oven yläreunassa välillä $-12,4 \dots 35,1$ °C:tta. Mittausten perusteella parvekelasitus tasasi lämpötilavaihteluita ja lämpötilaeroja oven ulkopinnan ylä- ja alareunan välillä (kuvat 6.11).



Kuva 6.11. Oven ulkopinnan pintalämpötilat 4.8. - 10.8.2009. Parvekelasit tasaavat oven ulkopinnan lämpötilavaihteluita. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Kuvan 6.12 mukaisesti oven ulkopinnan pintalämpötilat olivat talvella parvekkeella B korkeammat kuin parvekkeella A parvekelasituksien ansiosta.



Kuva 6.12. Oven ulkopinnan pintalämpötilat 5.1. - 11.1.2010. Oven ulkopinnan pintalämpötilat parvekkeella B ovat talvikaudella korkeammat kuin parvekkeella A parvekelasituksien ansiosta. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Oven pintalämpötilat huoneistosta mitattuna

Oven sisäpinnan pintalämpötilat huoneistossa B vaihtelivat välillä 16,2...32,0 °C:tta ja huoneistossa A välillä 15,5...40,4 °C:tta (taulukko 6.13).

Taulukko 6.13. Oven sisäpinnan maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot antureiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

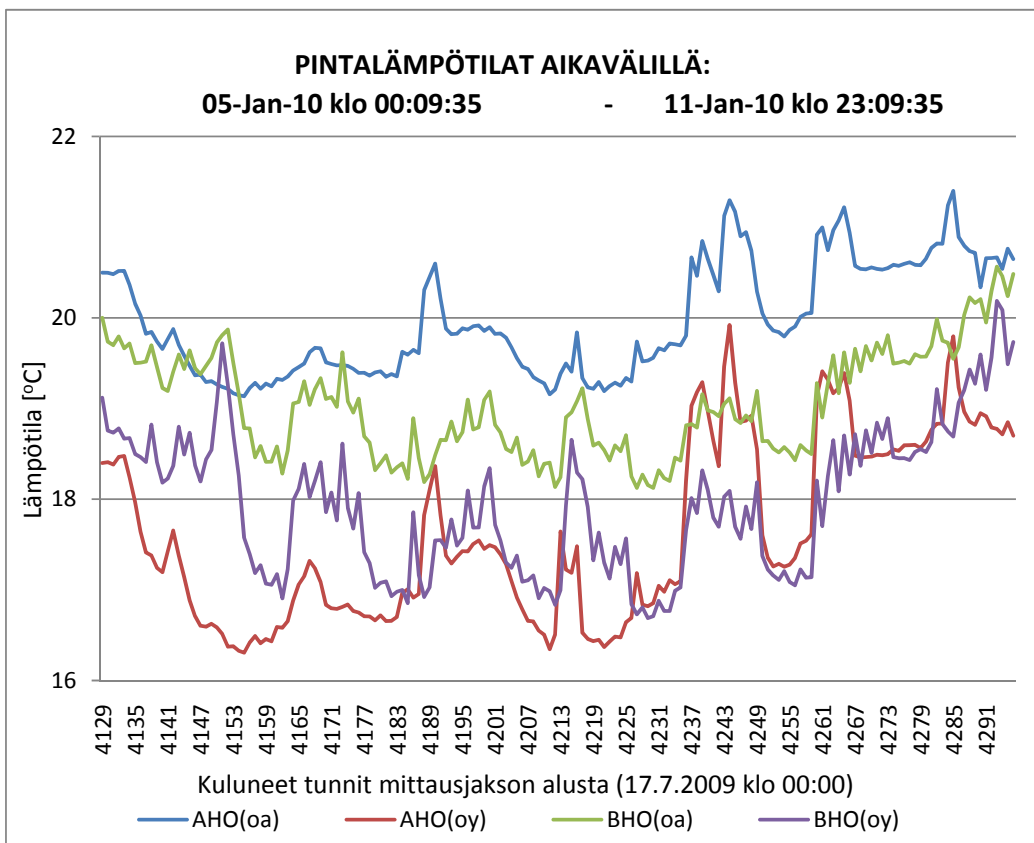
| Anturi | Maksimi | | | Minimi | | |
|---------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] |
| AHO(iy) | 20-May-10 | 19:24:00 | 40,40 | 27-Jan-10 | 3:06:00 | 15,50 |
| BHO(iy) | 28-Mars-10 | 18:24:00 | 32,00 | 29-Jan-10 | 6:19:00 | 16,20 |

Keskimäärin oven sisäpinnan pintalämpötilat huoneistossa A olivat 0,4 °C:tta huoneiston B lämpötiloja korkeampia. Talvikaudella huoneiston A oven pintalämpötilat olivat keskimäärin 1 °C:tta huoneiston B oven pintalämpötiloja korkeampia ja kesäkaudella keskimäärin 0,3 °C:tta korkeampia. Tuloksista päätellen huoneiston A patterin korkea lämpötila ei vaikuttanut oven sisäpinnan pintalämpötiloihin niin merkittävästi kuin ikkunan sisäpinnan pintalämpötiloihin.

Taulukko 6.14. Oven sisäpinnan pintalämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

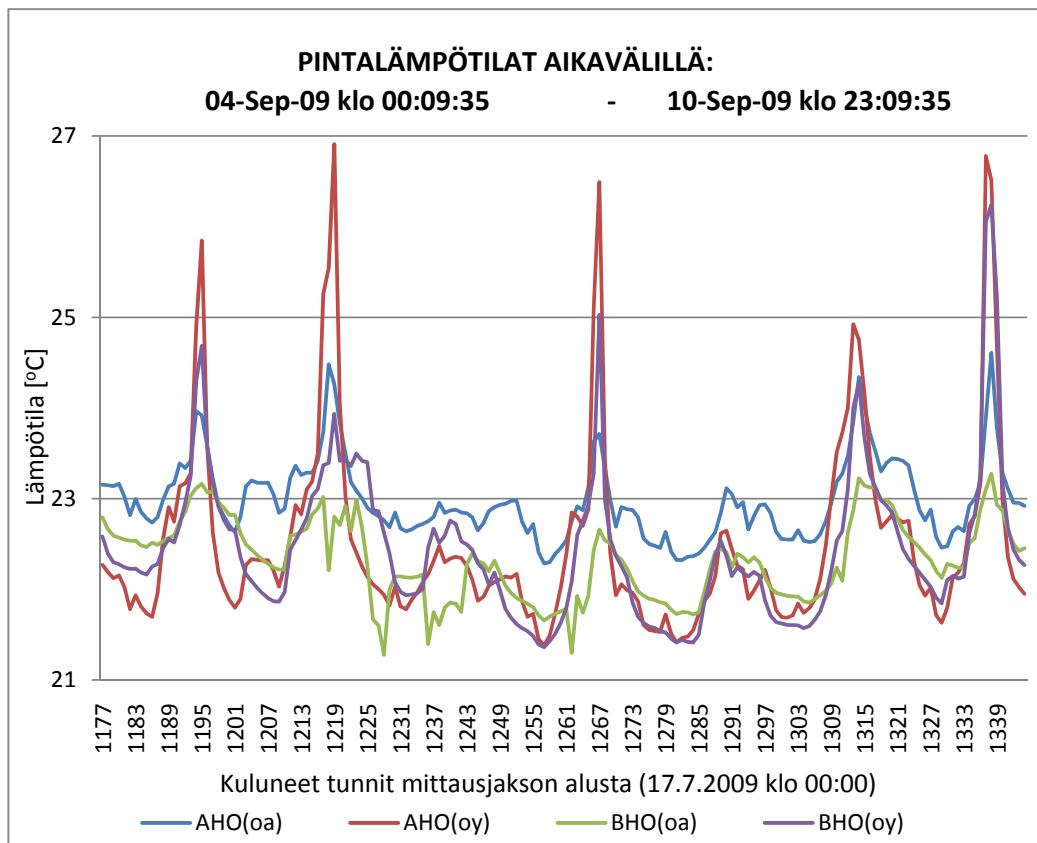
| | Oven sisäpinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin huoneistossa B (parveke lasitettu) | Oven sisäpinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin huoneistossa A (parveke lasittamaton) | Lämpötilaero [°C] oven sisäpinnan pintalämpötiloissa |
|--------------------------|--|---|--|
| Koko mittausjakso | 21,0 | 21,3 | -0,4 |
| Toukokuu | 22,6 | 23,9 | -1,2 |
| Huhtikuu | 21,3 | 22,0 | -0,8 |
| Maaliskuu | 20,3 | 20,8 | -0,5 |
| Helmikuu | 19,2 | 19,4 | -0,3 |
| Tammikuu | 18,7 | 18,9 | -0,2 |
| Joulukuu | 19,6 | 19,5 | 0,1 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 20,7 | 20,9 | -0,2 |
| Syyskuu | 21,8 | 21,8 | -0,1 |
| Elokuu | 23,3 | 23,8 | -0,5 |
| Heinäkuu | 23,8 | 24,4 | -0,6 |

Lasitetun parvekkeen lämpötilat oven yläreunassa olivat lasittamattoman parvekkeen lämpötiloja korkeammat ja alareunassa viileämmät. Oletettavasti Huoneiston A oven vieressä olevan lämpimän patterin vaikutus näkyy oven alareunan pintalämpötiloihin, mutta ei enää merkittävästi oven yläreunassa (kts. kuva 6.13).



Kuva 6.13. Oven sisäpinnan pintalämpötilat 5.1. - 11.1.2010. Huoneiston A oven vieressä olevan patterin vaikutus näkyy oven alareunan mittaustuloksissa, mutta ei enää merkittävästi ikkunan yläreunan tuloksissa. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Mittausten perusteella huoneiston A oven sisäpinnan lämpötilavaihteluita olivat suuremmat kuin huoneiston B (kuva 6.14).



Kuva 6.14. Oven sisäpinnan pintalämpötilat 4.8. - 10.8.2009. Huoneiston A oven sisäpinnan lämpötilavaihteluita olivat suuremmat kuin huoneiston B. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Yhteenveto

Huoneiston B oven kautta tapahtuvat lämpöhäviöt olivat keskimäärin 15 % pienemmät kuin huoneiston A. Joului-, tammi- ja helmikuussa lämpöhäviöt olivat parvekkeella B 10 % pienemmät. Auringon säteilyn merkityksen voi nähdä havainnollisesti kuukausittaisesta energiansäästöstä. Maaliskuussa lämpöhäviöt olivat 15 % pienemmän, huhtikuussa 21 % ja toukokuussa jo 31 %. Kesäaikana lämpöhäviöissä on prosentuaalisesti tarkasteltuna suuri ero, vaikka oven sisä- ja ulkopinnan välisissä lämpötilaeroissa on eroa alle 2 °C:tta. Lämpöhäviöiden pienemiseen on vaikuttanut sekä parvekelasitus että patterin lämpötilat, jotka ovat olleet pienemmästä lämmitystarpeesta johtuen huoneistossa B alhaisemmat kuin huoneistossa A.

***Taulukko 6.15.** Oven sisä- ja ulkopinnan väliset lämpötilaerot sekä parvekelasituksilla säästetty energia ikkunan kohdalta tarkasteltuna. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.*

| | Lämpötilaero [°C] oven sisäpinnan ja ulkopinnan välillä, huoneisto B (parveke lasitettu) | Lämpötilaero [°C] oven sisäpinnan ja ulkopinnan välillä, huoneisto A (parveke lasittamaton) | Huoneiston B oven lämpöhäviöt verrattuna huoneiston A oven lämpöhäviöihin [%] |
|--------------------------|--|---|---|
| Koko mittausjakso | 14,0 | 16,4 | -15 |
| Toukokuu | 5,8 | 8,5 | -31 |
| Huhtikuu | 11,6 | 14,7 | -21 |
| Maaliskuu | 17,3 | 20,4 | -15 |
| Helmikuu | 23,3 | 25,8 | -10 |
| Tammikuu | 25,5 | 28,2 | -10 |
| Joulukuu | 21,2 | 23,5 | -10 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 13,7 | 16,0 | -15 |
| Syyskuu | 7,0 | 8,6 | -19 |
| Elokuu | 4,4 | 6,0 | -27 |
| Heinäkuu | 3,0 | 4,7 | -35 |

6.1.6. Seinän pintalämpötilat

Seinän pintalämpötilat parvekkeelta mitattuna

Parvekeseinän ulkopinnan pintalämpötilat parvekkeella B vaihtelivat välillä -16,2...31,2 °C:tta ja parvekkeella A välillä -20,0...33,4 °C:tta (taulukko 6.16).

Taulukko 6.16. *Seinän ulkopinnan maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot antureiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.*

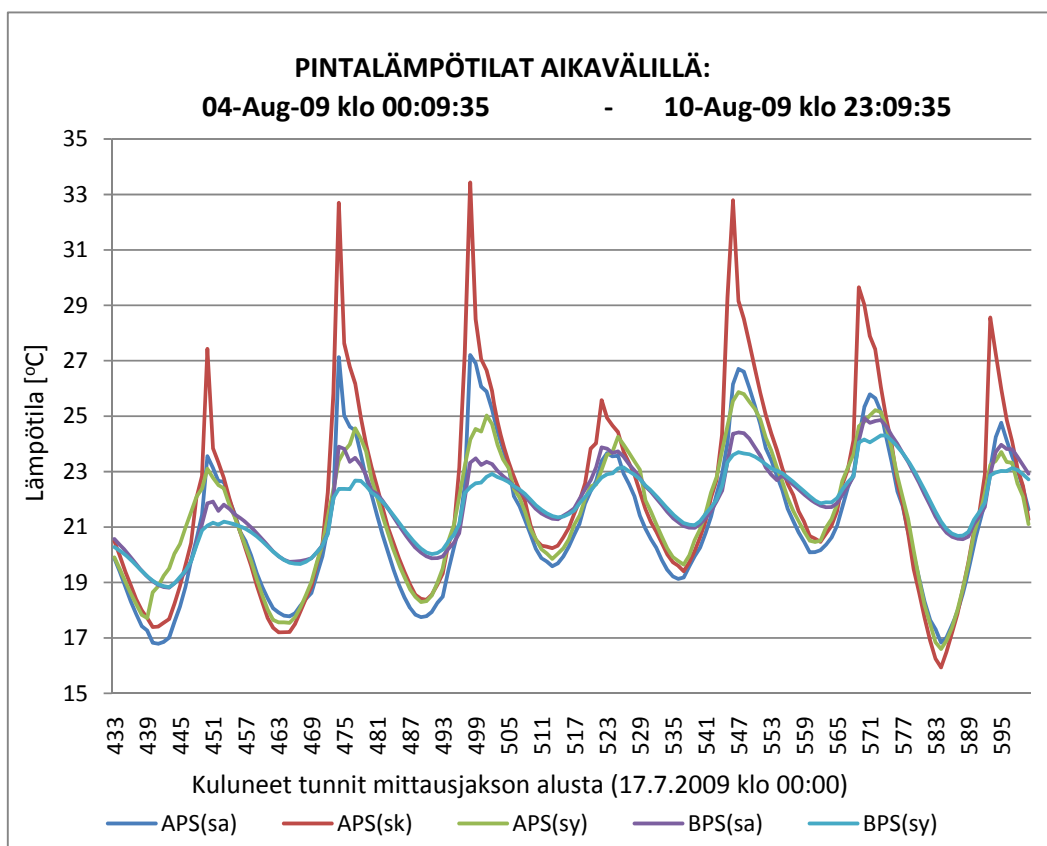
| Anturi | Maksimi | | | Minimi | | |
|--------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] |
| APS | 6-Aug-09 | 17:00:00 | 33,40 | 27-Jan-10 | 3:06:00 | -20,00 |
| BPS | 16-May-10 | 17:24:00 | 31,20 | 29-Jan-10 | 8:19:00 | -16,20 |

Keskimäärin seinän ulkopinnan pintalämpötilat lasitetulla parvekkeella olivat 1,4 °C:tta lasittamattoman parvekkeen pintalämpötiloja korkeammat. Lämmityskaudella lämpötilaero parvekkeiden pintalämpötilojen välillä oli keskimäärin 1,6 °C:tta ja kesäkaudella 1,0 °C:tta (taulukko 6.17).

Taulukko 6.17. *Seinän ulkopinnan pintalämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.*

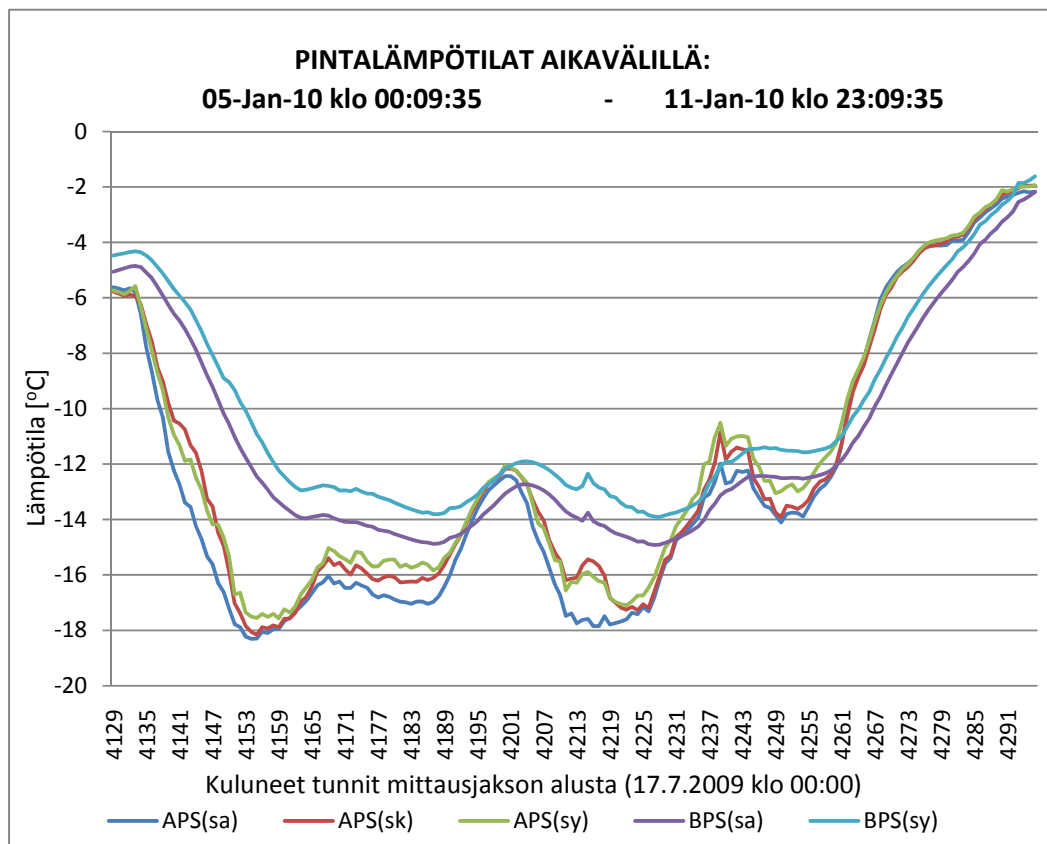
| | Seinän ulkopinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella B (lasitettu) | Seinän ulkopinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella A (lasittamaton) | Lämpötilaero [°C] seinän ulkopinnan pintalämpötiloissa |
|--------------------------|--|---|--|
| Koko mittausjakso | 5,5 | 4,2 | 1,4 |
| Toukokuu | 15,8 | 14,8 | 1,0 |
| Huhtikuu | 8,2 | 6,5 | 1,7 |
| Maaliskuu | 1,4 | -0,3 | 1,8 |
| Helmikuu | -6,0 | -7,7 | 1,7 |
| Tammikuu | -9,1 | -10,9 | 1,9 |
| Joulukuu | -3,5 | -5,0 | 1,5 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 5,7 | 4,6 | 1,1 |
| Syyskuu | 14,1 | 13,1 | 1,0 |
| Elokuu | 18,3 | 17,5 | 0,8 |
| Heinäkuu | 20,1 | 19,0 | 1,1 |

Mittausten perusteella seinän alareunan lämpötilanvaihtelut olivat suuremmat kuin seinän yläreunassa. Kaikkein voimakkaimmin auringon säteilyyn reagoi huoneiston A seinän keskikohdan pintalämpötila-anturi. Todennäköisesti seinän alareunan pintalämpötila-anturi olisi lämmennyt vielä tätäkin voimakkaammin auringon säteilyn vaikutuksesta, jos pintalämpötila-anturin vieressä ei olisi ollut tuolia varjostamassa osan aikaa päivästä. Mittausten perusteella parvekelasitus tasasi lämpötilan vaihteluita ja lämpötilaeroja seinän ulkopinnan ylä- ja alareunan välillä (kuva 6.15).



Kuva 6.15. Seinän ulkopinnan pintalämpötilat 4.8. - 10.8.2009. Parvekelasit tasaavat seinän ulkopinnan lämpötilavaihteluita. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Kuvan 6.16 mukaisesti oven ulkopinnan pintalämpötilat olivat talvella parvekkeella B korkeammat kuin parvekkeella A parvekelasituksien ansiosta.



Kuva 6.16. Seinän ulkopinnan pintalämpötilat 5.1. - 11.1.2010. Seinän ulkopinnan pintalämpötilat parvekkeella B ovat talvikaudella korkeammat kuin parvekkeella A parvekelasituksien ansiosta. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Seinän pintalämpötilat huoneistosta mitattuna

Seinän sisäpinnan pintalämpötilat huoneistossa B vaihtelivat välillä 16,6...25,3 °C:tta ja huoneistossa A välillä 17,1...28,6 °C:tta (taulukko 6.18).

Taulukko 6.18. Seinän sisäpinnan maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot antureiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

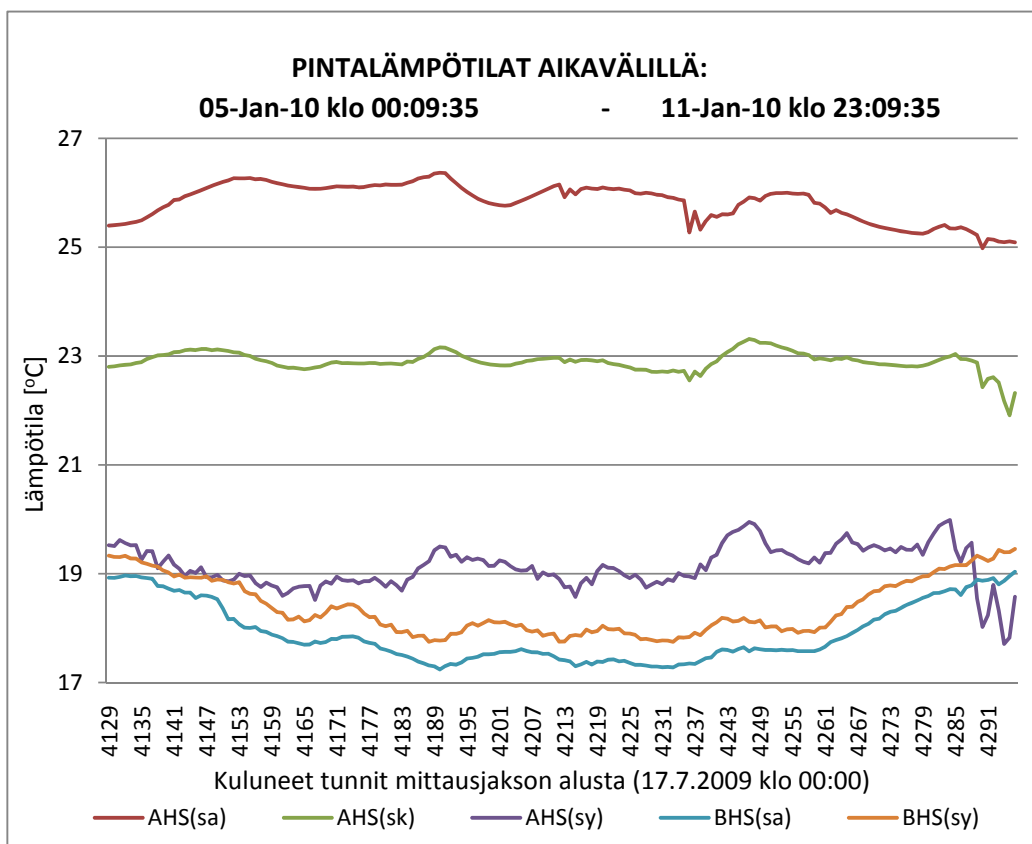
| Anturi | Maksimi | | | Minimi | | |
|--------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] |
| AHS | 20-May-10 | 20:24:00 | 28,60 | 13-Oct-09 | 12:47:00 | 17,10 |
| BHS | 21-May-10 | 20:24:00 | 25,30 | 29-Jan-10 | 13:19:00 | 16,60 |

Keskimäärin oven sisäpinnan pintalämpötilat huoneistossa A olivat 2,0 °C:tta huoneiston B lämpötiloja korkeampia. Kesäkaudella huoneiston A seinän sisäpinnan pintalämpötilat olivat keskimäärin 0,1 °C:tta huoneiston B pintalämpötiloja korkeampia ja talvikaudella keskimäärin 2,7 °C:tta korkeampia. Huoneiston B seinän alhaisemmat pintalämpötilat johtuvat todennäköisesti pienemmästä lämmitystarpeesta.

Taulukko 6.19. Seinän sisäpinnan pintalämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

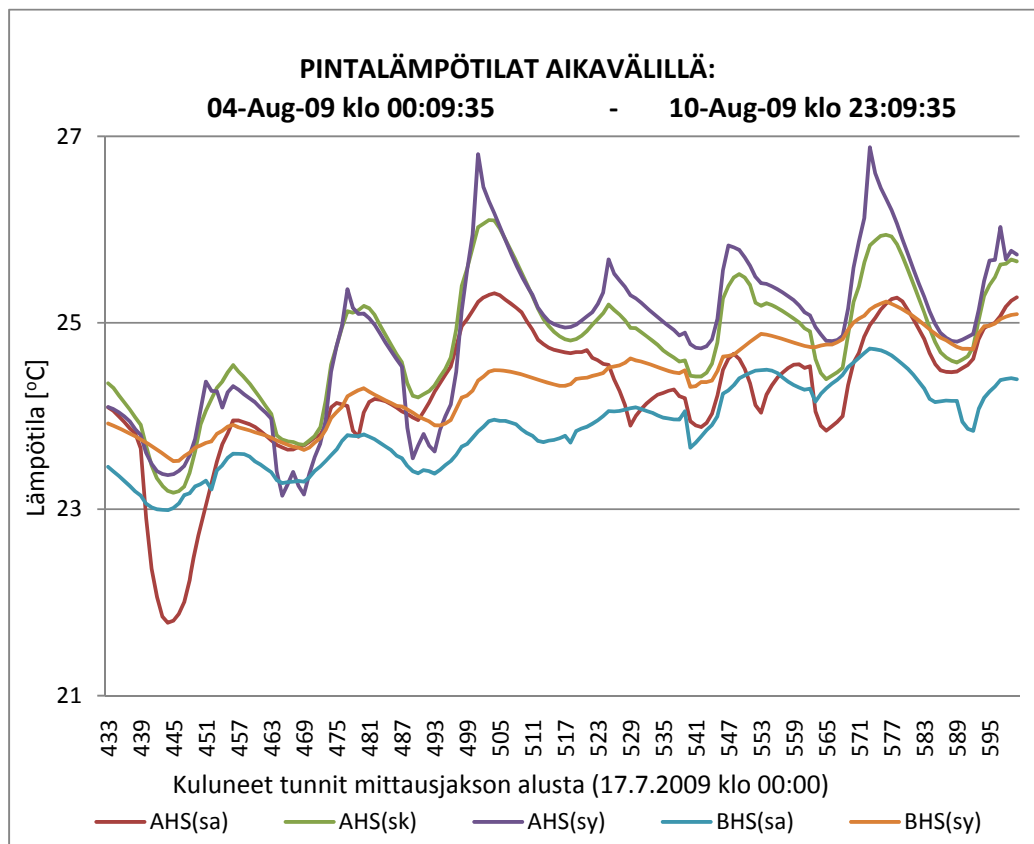
| | Seinän sisäpinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin huoneistossa B (parveke lasitettu) | Seinän sisäpinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin huoneistossa A (parveke lasittamaton) | Lämpötilaero [°C] seinän sisäpinnan pintalämpötiloissa |
|--------------------------|--|---|--|
| Koko mittausjakso | 20,8 | 22,8 | -2,0 |
| Toukokuu | 22,5 | 23,8 | -1,3 |
| Huhtikuu | 21,1 | 22,9 | -1,8 |
| Maaliskuu | 20,1 | 22,9 | -2,8 |
| Helmikuu | 19,0 | 22,8 | -3,8 |
| Tammikuu | 18,4 | 22,6 | -4,2 |
| Joulukuu | 19,3 | 22,4 | -3,0 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 20,5 | 22,4 | -1,9 |
| Syyskuu | 21,7 | 21,8 | -0,1 |
| Elokuu | 23,2 | 23,2 | 0,0 |
| Heinäkuu | 23,6 | 23,8 | -0,2 |

Huoneiston A patterin pintalämpötilat olivat talvikaudella toteutettujen lämpökamerakuvausten perusteella huomattavasti huoneiston B patterin lämpötiloja korkeampia (kuva 6.17). Tämä piti huoneiston A parvekeikkunan, -oven ja -seinän sisäpinnan pintalämpötilat huoneiston B pintalämpötiloja korkeampina lämmityskauden aikana. Esimerkiksi 24.3.2010 klo 13.00 ulkolämpötilan ollessa 1,7 °C:tta oli huoneiston A patteri pintalämpötila 40 °C:tta ja huoneiston B patteri pintalämpötila 31 °C:tta.



Kuva 6.17. Seinän sisäpinnan pintalämpötilat 5.1. - 11.1.2010. Huoneiston A lämpimämmän patterin vaikutuksen pintalämpötiloihin voi havaita erityisesti seinän alareunan pintalämpötilatiedoissa. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Mittausten perusteella huoneiston A seinän sisäpinnan lämpötilavaihteluita olivat suuremmat kuin huoneiston B (kuva 6.18).



Kuva 6.18. Seinän sisäpinnan pintalämpötilat 4.8. - 10.8.2009. Huoneiston A seinän sisäpinnan lämpötilavaihtelut olivat suuremmat kuin huoneiston B. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Yhteenveto

Huoneiston B seinän kautta tapahtuvat lämpöhäviöt olivat keskimäärin 18 % pienemmät kuin huoneiston A. Joului-, tammi- ja helmikuussa lämpöhäviöt olivat parvekkeella B keskimäärin 17-18 % pienemmät. Auringon säteilyn merkityksen voi nähdä havainnollisesti kuukausittaisesta energiansäästöstä. Maaliskuussa lämpöhäviöt olivat 20 % pienemmän, huhtikuussa 21 % ja toukokuussa jo 26 %. Kesäaikana lämpöhäviöissä on prosentuaalisesti tarkasteltuna suuri ero, vaikka seinän sisä- ja ulkopinnan välisissä lämpötilaeroissa on eroa alle 1,5 °C:tta. Lämpöhäviöiden pienemiseen on vaikuttanut sekä parvekelasitus että patterin lämpötilat, jotka ovat olleet pienemmästä lämmitystarpeesta johtuen huoneistossa B alhaisemmat kuin huoneistossa A.

Taulukko 6.20. Seinän sisä- ja ulkopinnan väliset lämpötilaerot sekä parvekelasituksilla säästetty energia seinän kohdalta tarkasteltuna. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

| | Lämpötilaero [°C] seinän sisäpinnan ja ulkopinnan välillä, huoneisto B (parveke lasitettu) | Lämpötilaero [°C] seinän sisäpinnan ja ulkopinnan välillä, huoneisto A (parveke lasittamaton) | Huoneiston B seinän lämpöhäviöt verrattuna huoneiston A seinän lämpöhäviöihin [%] |
|------------------------------|---|--|--|
| Koko mittausjakso | 15,2 | 18,6 | -18 |
| Toukokuu | 6,7 | 9,0 | -26 |
| Huhtikuu | 12,9 | 16,4 | -21 |
| Maaliskuu | 18,6 | 23,2 | -20 |
| Helmikuu | 25,0 | 30,5 | -18 |
| Tammikuu | 27,5 | 33,5 | -18 |
| Joulukuu | 22,8 | 27,4 | -17 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 14,8 | 17,8 | -17 |
| Syyskuu | 7,6 | 8,7 | -13 |
| Elokuu | 4,9 | 5,7 | -14 |
| Heinäkuu | 3,5 | 4,8 | -27 |

6.1.7. Parvekelasituksen pintalämpötilat

Parvekelasituksen pintalämpötilat lasituksen ulko- ja sisäpuolella

Parvekelasitusten sisä- ja ulkopinnan pintalämpötiloissa ei juuri ollut eroa. Parvekelasitusten ulkopinnan pintalämpötilat vaihtelivat välillä -21,85...36,31 °C:tta ja sisäpinnan pintalämpötilat välillä -20,75...35,68 °C:tta (taulukko 6.21).

Taulukko 6.21. Seinän sisäpinnan maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot antureiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

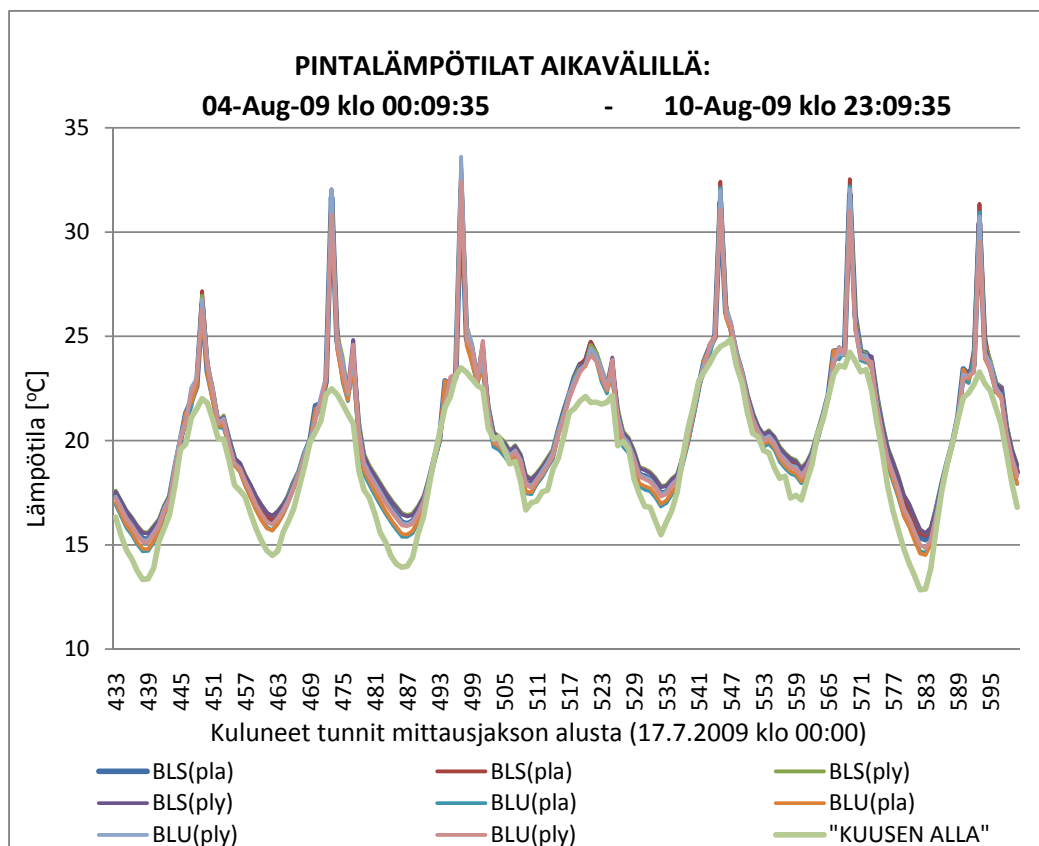
| Anturi | Maksimi | | | Minimi | | |
|---------------|------------|------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika | Lämpötila [°C] |
| "Kuusen alla" | 16-May-10 | 16:24:00 | 27,65 | 20-Feb-10 | 8:19:00 | -23,39 |
| BLU | 15-May-10 | 16:24:00 | 36,31 | 20-Feb-10 | 8:19:00 | -21,85 |
| BLS | 15-May-10 | 16:24:00 | 35,68 | 20-Feb-10 | 8:19:00 | -20,75 |

Keskimäärin parvekelasituksen sisäpinnan pintalämpötila oli 0,3 °C:tta ulkopinnan pintalämpötilaa korkeampi (taulukko 6.22).

Taulukko 6.22. Parvekelasien sisä- ja ulkopinnan pintalämpötilat ja lämpötilaerot mittausjakson aikana. Marraskuun tulokset puuttuvat taulukosta mittauskatkoksen takia.

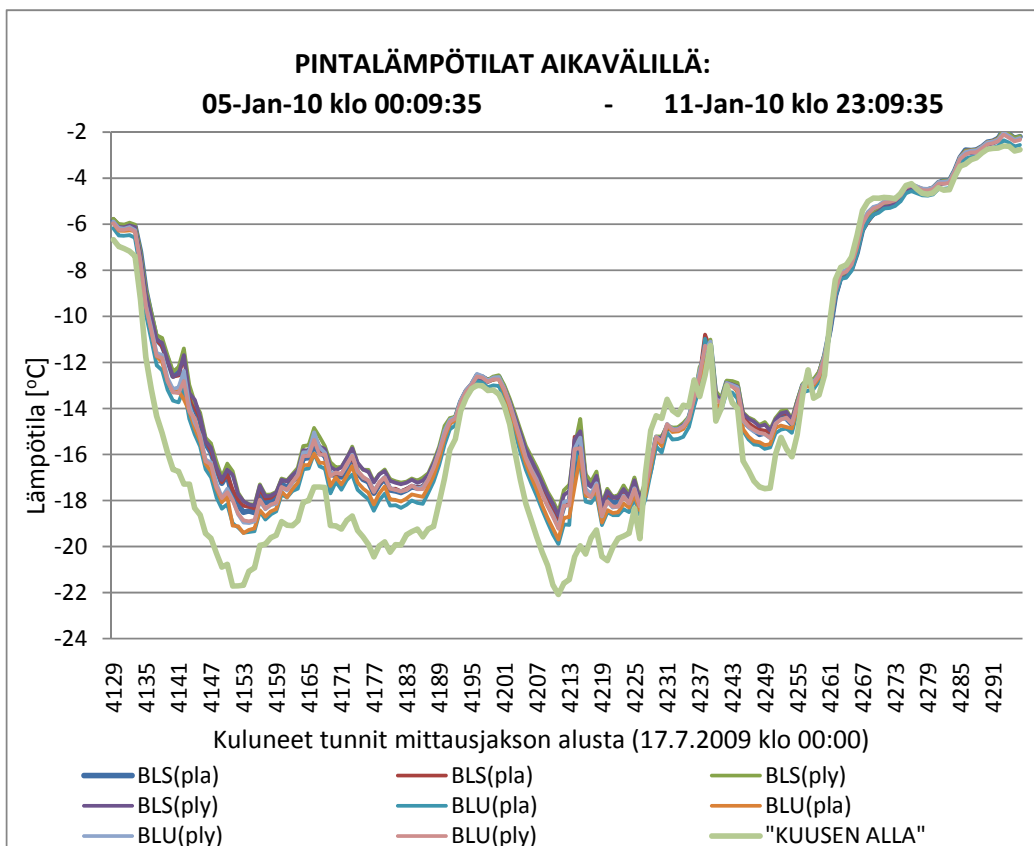
| | Parvekelasien ulkopinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella B (lasitettu) | Parvekelasien sisäpinnan pintalämpötila [°C] keskimäärin parvekkeella B (lasitettu) | Lämpötilaero [°C] parvekelasien sisä- ja ulkopinnan pintalämpötiloissa |
|--------------------------|---|---|--|
| Koko mittausjakso | 3,7 | 3,4 | 0,3 |
| Toukokuu | 14,4 | 14,0 | 0,4 |
| Huhtikuu | 6,2 | 5,8 | 0,4 |
| Maaliskuu | -0,7 | -1,1 | 0,4 |
| Helmikuu | -8,2 | -8,5 | 0,4 |
| Tammikuu | -11,3 | -11,7 | 0,4 |
| Joulukuu | -5,6 | -5,9 | 0,3 |
| Marraskuu | - | - | - |
| Lokakuu | 4,0 | 3,6 | 0,4 |
| Syyskuu | 12,7 | 12,5 | 0,3 |
| Elokuu | 16,9 | 16,6 | 0,3 |
| Heinäkuu | 18,7 | 18,4 | 0,3 |

Lämpötilaero parvekelasituksien sisä- ja ulkopintojen välillä pysyi suuruusluokaltaan samana koko mittausjakson ajan. Kesän aurinkoisina päivinä parvekelasien pintalämpötilat nousivat selvästi ulkolämpötilaa korkeammiksi, mutta lämpötilaero tasaantui nopeasti auringon laskettua (6.19).



Kuva 6.19. Ulkolämpötila sekä parvekelasituksen sisä- ja ulkopinnan pintalämpötilat 4.8. - 10.8.2009. Tiedot mittapisteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

Talvikaudella lämpötilanvaihtelut parvekelasien pintalämpötilojen ja ulkolämpötilojen välillä oli selvästi vähäisempää kuin kesäaikana. Pääsääntöisesti pintalämpötilat olivat hyvin lähellä toisiaan. Ainoastaan kovilla pakkasilla lämpötilaero ulkoilman ja pintalämpötilojen välillä oli selvästi havaittavissa (kuva 6.20).



Kuva 6.20. Ulkolämpötila sekä parvekelasituksen sisä- ja ulkopinnan pintalämpötilat 5.1. - 11.1.2010. Tiedot mittapisteen kirjaintunnuksista on taulukossa 6.1.

6.2. Parveke- ja huoneilman lämpötilojen seuranta

6.2.1. Yleistä

Tässä luvussa käsitellään parveke- ja huonelämpötilojen seurantamittausten keskeisiä tuloksia ajanjaksolta 17.7.2009 - 17.5.2010. Suurin osa tässä luvussa tehdyistä tarkasteluista on tehty koko mittausjaksolle. Vain parvekkeiden lämpötilojen vertailu on tehty aikataulusyistä ajanjaksolle 17.7.2009 - 25.1.2010. Koko mittausjakson pituus on kymmenen kuukautta ja lyhyemmän tarkastelujakson pituus kuusi kuukautta.

Taulukoissa ja kuvaajissa on dataloggerien sijainnit ilmoitettu lyhennetyillä kirjaintunnuksilla taulukossa 6.23 esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Lisäksi

taulukossa on esimerkkinä Opiskelijankatu 28:n yhdellä lasitetulla parvekkeella olevan dataloggerin kirjaintunnus. Esimerkin tarkoituksena on selvittää dataloggerien sijainnista muodostuvan kirjaintunnusten lyhennysperiaatetta.

Taulukko 6.23. Dataloggerien sijaintia kuvaavat kirjaintunnukset.

| Merkintätapa | |
|--------------|---|
| FY | = Fysiikanpolku 7 |
| OP | = Opiskelijankatu 28 |
| TE9 | = Teekkarinkatu 9 |
| TE2 | = Teräskatu 2 |
| HÄ11 | = Härmälänsaarenkatu 11 |
| HÄ13 | = Härmälänsaarenkatu 13 |
| PO | = Pohtolankatu 55 |
| RI | = Rientolankatu 5 |
| PE | = Peltovainionkatu 4 |
| SI | = Siirtolapuutarhankatu 22 |
| VI | = Vilppulanpolku 20 |
| H | = Huoneisto |
| P | = Parveke |
| 1,2,3,4,jne | = Kertoo monesko asunto ks. Kohteessa on kyseessä |
| K/E | = Onko parveke lasitettu vai ei |
| () | Sulkeissa ilmiansuunnat , ilmoitettu kahdella kirjaimella (tarvittaessa = käytetty kolmea kirjainta, esim. IKA=itäkaakko) |
| Esimerkki | |
| OPH3K(LO) | = Opiskelijankatu 28, kolmas huoneisto, lasitettu parveke, ilmiansuunta lounas |

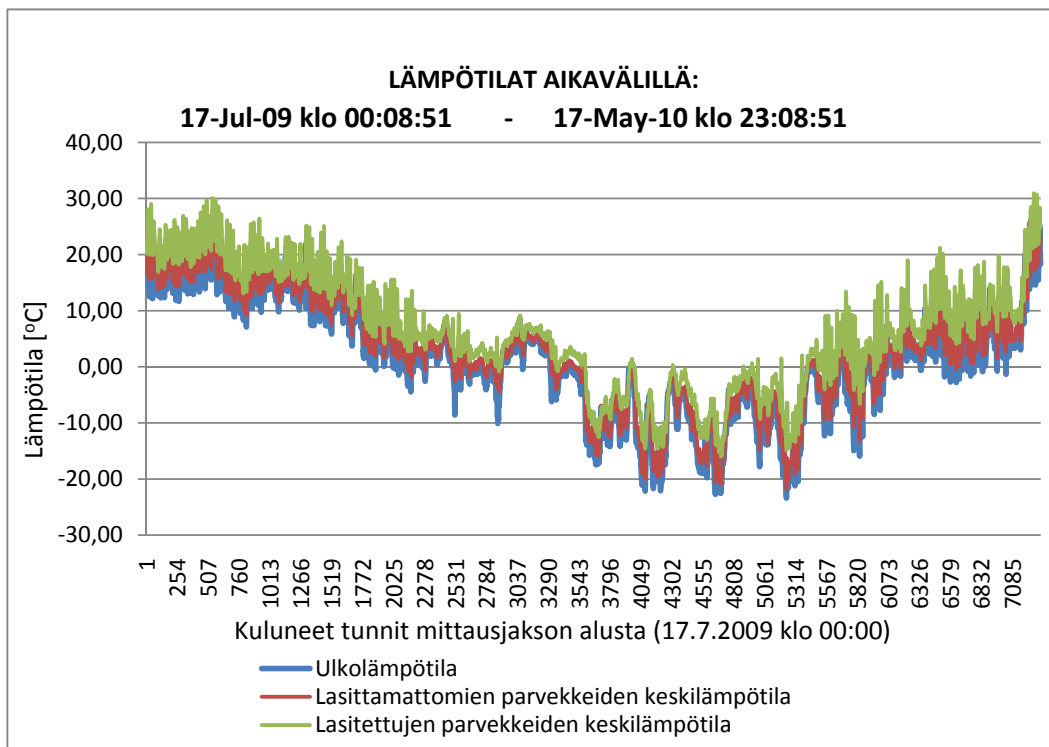
6.2.2. Lämpötilaolosuhteet parvekkeilla

Mittausjakson aikana lasitettujen parvekkeiden lämpötilat vaihtelivat välillä -19,9...39 °C:ta ja lasittamattomien parvekkeiden lämpötilat välillä -22,7...30,9 °C:ta (taulukko 6.24). Korkeimmat lämpötilat mitattiin Rientolankatu 5:n (vv. 2006) lasitetulta parvekkeella 15.5.2010 klo 11.00 ja Opiskelijankatu 28:n (vv. 1975) lasittamattomalta parvekkeelta 18.8.2009 klo 18.00. Matalimmat lämpötilat mitattiin Peltovainionkatu 4:n (vv. 1974) lasitetulta parvekkeelta 29.1.2010 klo 00.00 ja Härmälänsaarenkatu 13:sta (vv. 2002) lasittamattomalta parvekkeelta 7.1.2010 klo 08.00.

Taulukko 6.24. Maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot kohteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.23.

| | Ulkoilma [°C] | Lasittamattomat parvekkeet [°C] (dataloggerin sijainti) | Lasitetut parvekkeet [°C] (dataloggerin sijainti) |
|----------------|---------------|---|---|
| Maksimi | 27,7 | 30,8 (OPP1E(LO)) | 39 (RIP2K(KA)) |
| Minimi | -23,4 | -22,7 (HÄ13P1E(IKA)) | -19,9 (PEP2K(KA)) |

Lasittamattomien parvekkeiden keskilämpötilat vaihtelivat välillä $-21,8 \dots 28,2$ °C:tta ja lasitettujen parvekkeiden keskilämpötilat välillä $-16,0 \dots 30,9$ °C:tta. Lasitettujen parvekkeiden lämpötiloissa oli selvästi suurempi hajonta kuin lasittamattomien parvekkeiden lämpötiloissa. Sekä lasitetuttujen että lasittamattomien parvekkeiden lämpötilat olivat lähes poikkeuksetta ulkolämpötilaa korkeampia (kuva 6.21).



Kuva 6.21. Ulkoilman ja parvekkeiden keskilämpötilat mittausjakson aikana.

Ulkoilman keskilämpötila mittausjakson aikana oli 1,7 °C:tta, lasittamattomien parvekkeiden keskimäärin 3,4 °C:tta ja lasitettujen parvekkeiden keskimäärin 6,5 °C:tta (taulukko 6.25).

Taulukko 6.25. Ulkoilman ja parvekkeiden keskilämpötilat mittausjakson aikana.

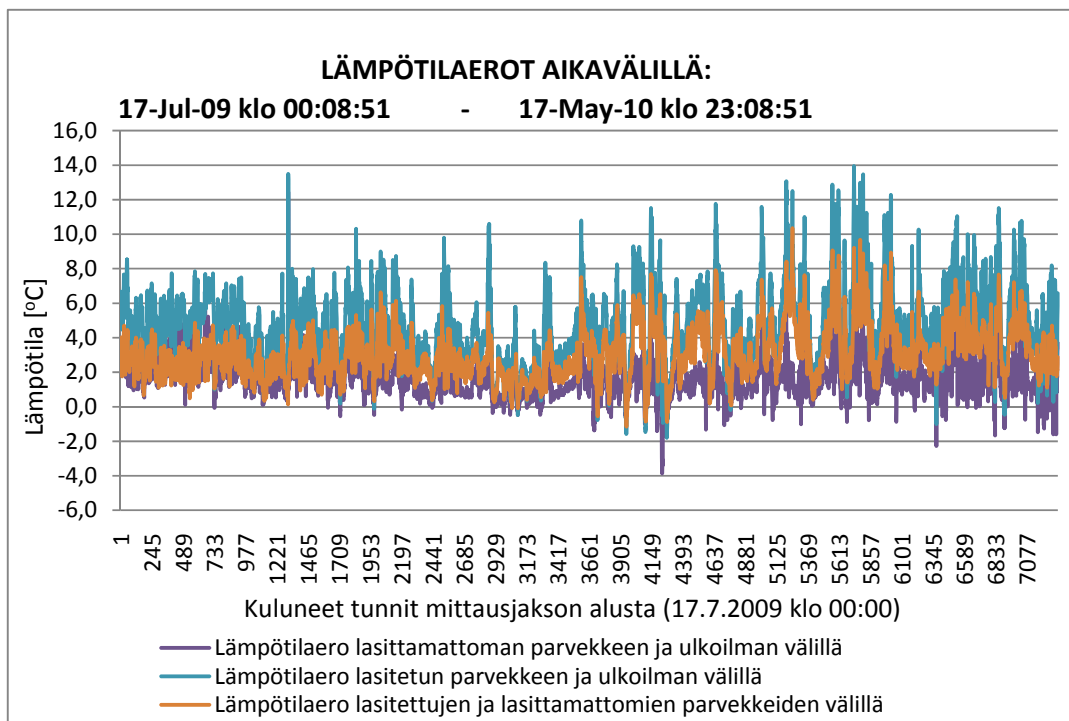
| | Ulkoilman lämpötila [°C] | Lasittamattomien parvekkeiden keskilämpötila [°C] | Lasitettujen parvekkeiden keskilämpötila [°C] |
|--------------------------|-----------------------------|---|---|
| Koko mittausjakso | 1,7 | 3,4 | 6,5 |
| Toukokuu | 10,1 | 11,9 | 15,4 |
| Huhtikuu | 4,1 | 6,1 | 9,9 |
| Maaliskuu | -2,8 | -0,8 | 3,2 |
| Helmikuu | -9,9 | -8,5 | -4,8 |
| Tammikuu | -12,9 | -11,7 | -8,3 |
| Joulukuu | -6,8 | -5,5 | -2,8 |
| Marraskuu | 1,3 | 2,3 | 4,2 |
| Lokakuu | 2,3 | 4,0 | 6,9 |
| Syyskuu | 11,7 | 13,5 | 16,1 |
| Elokuu | 15,6 | 17,9 | 20,6 |
| Heinäkuu | 17,0 | 19,2 | 21,8 |

Keskimäärin lasittamattoman parvekkeen lämpötila oli 1,7 °C:tta ja lasitetun parvekkeen lämpötila 4,7 °C:tta ulkolämpötilaa korkeampi. Lämpötilaero lasitettujen ja lasittamattomien parvekkeiden välillä oli koko mittausjakson aikana 3,1 °C:tta ja lämmityskaudella 3,2 °C:tta (taulukko 6.26).

Taulukko 6.26. Lämpötilaerot mittausjakson aikana.

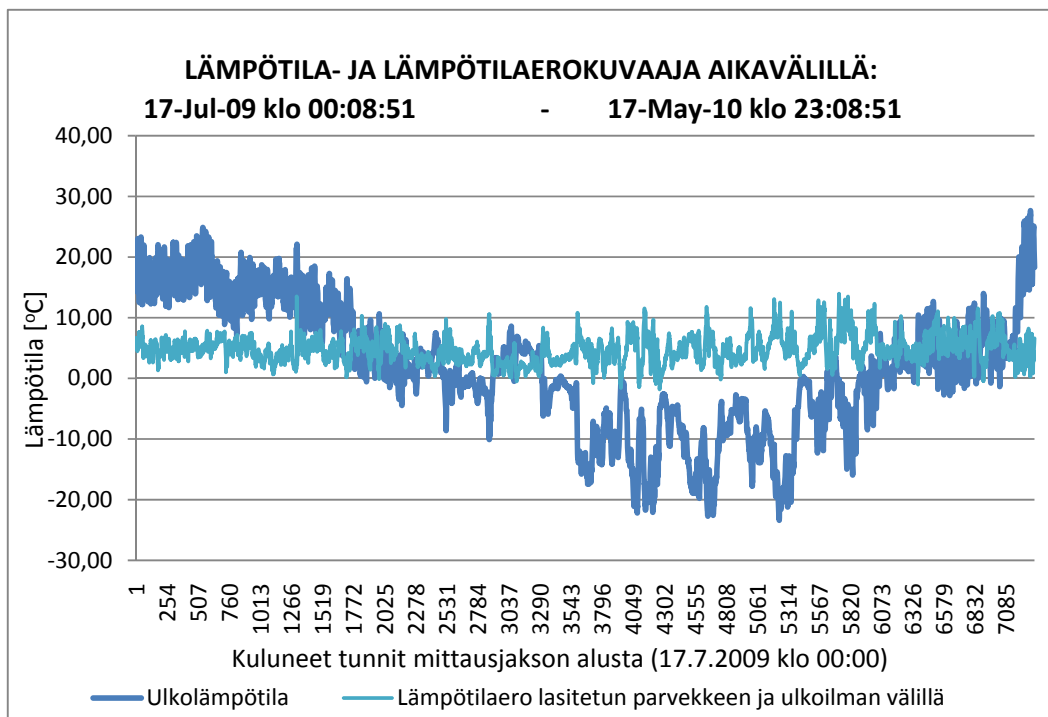
| | Lämpötilaero lasittamattoman parvekkeen ja ulkoilman välillä [°C] | Lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä [°C] | Lämpötilaero lasitettujen ja lasittamattomien parvekkeiden välillä [°C] |
|---------------------------------------|---|---|---|
| Koko mittausjakso | 1,7 | 4,7 | 3,1 |
| Lämmityskausi (loka- huhtikuu) | 1,5 | 4,7 | 3,2 |
| Toukokuu | 1,7 | 5,2 | 3,5 |
| Huhtikuu | 2,0 | 5,8 | 3,8 |
| Maaliskuu | 2,0 | 6,0 | 4,0 |
| Helmikuu | 1,5 | 5,1 | 3,6 |
| Tammikuu | 1,2 | 4,5 | 3,3 |
| Joulukuu | 1,4 | 4,1 | 2,7 |
| Marraskuu | 1,0 | 2,9 | 1,9 |
| Lokakuu | 1,6 | 4,5 | 2,9 |
| Syyskuu | 1,8 | 4,4 | 2,6 |
| Elokuu | 2,4 | 5,0 | 2,7 |
| Heinäkuu | 2,2 | 4,9 | 2,7 |

Lämpötilaerot parvekkeiden ja ulkoilman välillä vaihtelivat vuorokauden ja vuodenajan mukaan (kuva 6.22). Keskimääräinen lämpötilaero lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välillä oli syksyllä 2,6 °C:ta ja keväällä 3,6 °C:ta. Yhden asteen lämpötilaero syksyn ja kevään lämpötilaeroissa johtui auringon säteilystä, jonka merkitys lämpötiloihin oli suurempi keväällä kuin syksyllä. Kevät 2010 oli selvästi aurinkoisempi kuin syksy 2009.



Kuva 6.22. Lämpötilaerot aikavälillä 17.7.2009 - 17.5.2010. Lämpötilaerot parvekkeiden ja ulkoilman välillä vaihtelivat vuorokauden ja vuodenajan mukaan.

Pakkasen kiristyessä lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä kasvoi ja ilman lämmitessä pieniä (kuva 6.23). Suurin lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä oli 13,9 °C ja se mitattiin 12.5.2010 klo 15.00. Toukokuussa alhaalta paistavan auringon säteilyteho on voimistunut huomattavasti talven minimitehostaan ja voi siksi hetkellisesti nostaa lasitetun parvekkeen lämpötilan huomattavasti ulkolämpötilaa korkeammaksi.



Kuva 6.23. Ulkolämpötila sekä ulkoilman ja lasitettujen parvekkeiden lämpötilaero aikavälillä 17.7.2009 - 17.5.2010.

Lasitetun parvekkeen lämpötila nousi yli 20 °C:n ensimmäisen kerran keväällä 9. maaliskuuta ja viimeisen kerran syksyllä 15. lokakuuta. Vastaavasti lasittamattoman parvekkeen lämpötila nousi yli 20 °C:n ensimmäisen kerran 12. toukokuuta ja viimeisen kerran 21. syyskuuta. Kaikkien lasitettujen parvekkeiden keskilämpötila nousi yli 20 °C:n ensimmäisen kerran 13. huhtikuuta ja viimeisen kerran 15. syyskuuta ja lasittamattomien parvekkeiden keskilämpötila ensimmäisen kerran 12. toukokuuta ja viimeisen kerran 15. syyskuuta. Tällä perusteella arvioituna lasitetun parvekkeen käyttöaika vuodessa on keskimäärin vähän yli kuukauden ja parhaassa tapauksessa yli 2,5 kuukautta pitempi kuin lasittamattoman parvekkeen käyttöaika.

6.2.3. Lämpötilaolosuhteet huoneistossa

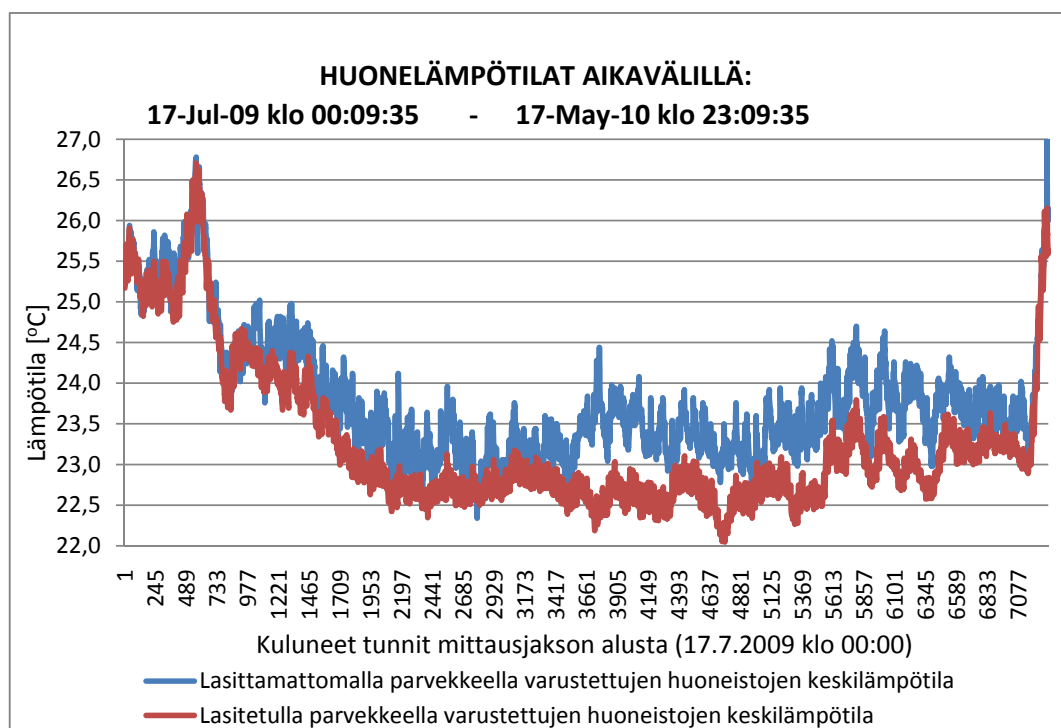
Mittausjakson aikana lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen mitatut sisälämpötilat vaihtelivat välillä 18,9...28,8 °C:ta ja lasittamattomilla parvekkeilla

varustettujen huoneistojen sisälämpötilat välillä 19,3...31,6 °C:tta (taulukko 6.27). Korkeimmat sisälämpötilat mitattiin Härmälänsaarenkatu 11:sta (vv. 2002) lasitetulla parvekkeella varustetusta huoneistosta 6.8.2009 klo 17.00 ja Peltovainionkatu 4:n (vv. 1974) lasittamattomalla parvekkeella varustetusta huoneistosta 17.5.2010 klo 14.00. Matalimmat sisälämpötilat mitattiin Opiskelijankatu 28:n (vv. 1975) lasitetulla parvekkeella varustetusta huoneistosta 14.10.2009 klo 18.00 ja Opiskelijankatu 28:n (vv. 1975) lasittamattomalla parvekkeella varustetusta huoneistosta 11.2.2010 klo 10.00.

Taulukko 6.27. Maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana. Tiedot kohteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.23.

| | Ulkoilma[°C] | Lasittamattomilla parvekkeilla varustetut huoneistot [°C] (dataloggerin sijainti) | Lasitetuilla parvekkeilla varustetut huoneistot [°C] (dataloggerin sijainti) |
|----------------|--------------|---|--|
| Maksimi | 27,7 | 31,6 (PEH1E(KA)) | 28,8 HÄ11H2K(ET)) |
| Minimi | -23,4 | 19,3 (OPH1E(LO)) | 18,9 OPH5K(LO)) |

Lasittamattomilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen keskilämpötilat vaihtelivat välillä 22,3...27,4 °C:tta ja lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen keskilämpötilat välillä 22,1...26,7 °C:tta (kuva 6.24). Lämpötilat mitattiin lähes kaikissa mittauskohteissa huoneesta, jossa lasitettu tai lasittamaton parveke sijaitti.



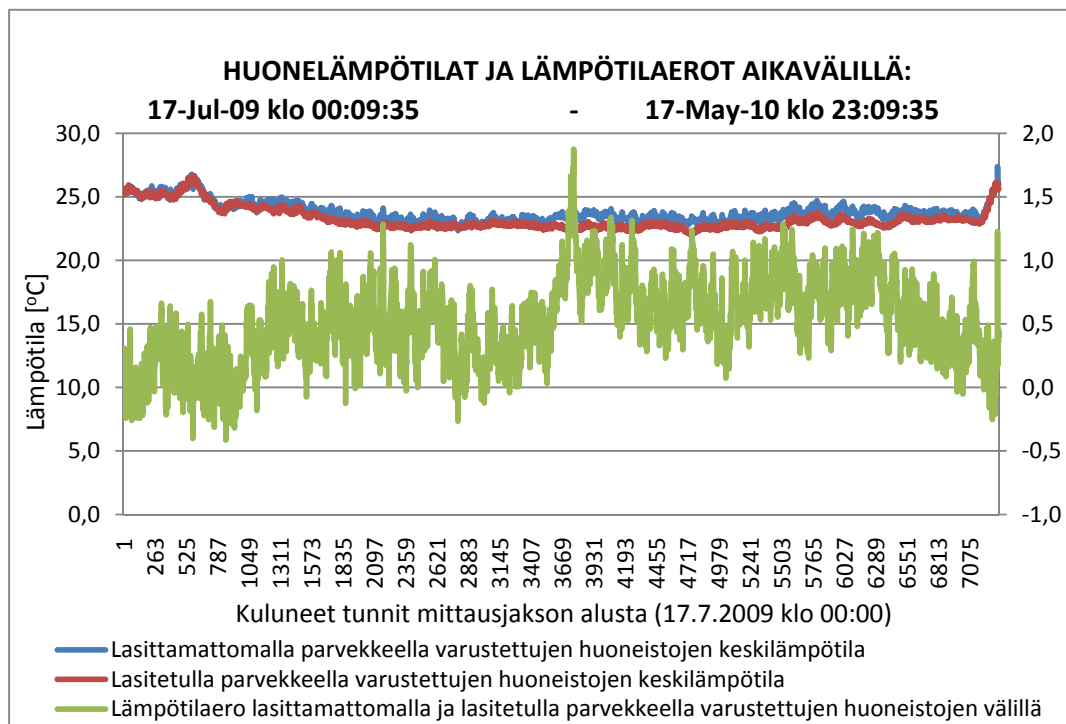
Kuva 6.24. Huoneistojen keskilämpötilat mittausjakson aikana.

Kaikkien lasittamattomilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen keskilämpötila vuoden aikana oli 23,8 °C:tta ja lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen 23,3 °C:tta (taulukko 6.28). Lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen sisälämpötilat olivat keskimäärin 0,5 °C:tta viileämpiä kuin lasittamattomilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen sisälämpötila.

Taulukko 6.28. Ulkoilman ja huoneistojen keskilämpötilat sekä lämpötilaerot aikavälillä 17.07.2009 - 17.05.2010.

| | Ulkoilman lämpötila [°C] | Lasittamattomilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen keskilämpötilat [°C] | Lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen keskilämpötilat [°C] | Lämpötilaero huoneistojen välillä [°C] |
|--------------------------|--------------------------|--|---|--|
| Koko mittausjakso | 1,7 | 23,8 | 23,3 | 0,5 |
| Toukokuu | 10,1 | 24,0 | 23,7 | 0,3 |
| Huhtikuu | 4,1 | 23,7 | 23,1 | 0,6 |
| Maaliskuu | -2,8 | 23,8 | 23,1 | 0,8 |
| Helmikuu | -9,9 | 23,3 | 22,6 | 0,7 |
| Tammikuu | -12,9 | 23,3 | 22,6 | 0,7 |
| Joulukuu | -6,8 | 23,4 | 22,7 | 0,7 |
| Marraskuu | 1,3 | 23,1 | 22,8 | 0,3 |
| Lokakuu | 2,3 | 23,2 | 22,8 | 0,5 |
| Syyskuu | 11,7 | 24,2 | 23,7 | 0,5 |
| Elokuu | 15,6 | 25,0 | 24,9 | 0,1 |
| Heinäkuu | 17 | 25,4 | 25,3 | 0,1 |

Pienimmillään lämpötilaero parvekkeiden välillä oli lämmityskauden ulkopuolella heinä- elokuussa ja suurimmillaan maaliskuussa (kuva 6.25). Keskimääräinen lämpötilaero lasitetuilla ja lasittamattomilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen mitatuissa sisälämpötiloissa oli syksyllä 0,4 °C:tta ja keväällä 0,6 °C:tta.



Kuva 6.25. Huoneistojen keskilämpötilat ja lämpötilaerot aikavälillä 17.07.2009-17.05.2010. Vihreällä merkityn lämpötilaeron suuruus luetaan kuvaajan oikeanpuoleiselta pystyakselilta.

Parvekkeiden lämpötilojen ja huoneistoista mitattujen sisälämpötilojen välillä on nähtävissä selvä yhteys. Se parvekkeilta että huoneistoista mitattujen lämpötilojen ero oli pienimmillään lämmityskaudella marraskuussa ja suurimmillaan maaliskuussa. Lämpötilaero huoneistojen välillä kasvoi lasitetujen ja lasittamattomien parvekkeiden lämpötilaeron kasvaessa ja pienentyi lämpötilaeron pienentyessä. Tämä viittaa siihen, että parvekelasit ovat mahdollistaneet sisälämpötilan laskemisen lämpöviihtyvyyttä heikentämättä.

Tutkimuksessa tehtiin myös tarkasteluja parvekelasituksen ja sisälämpötilan pudottamisen välisen yhteyden selvittämiseksi. Tarkasteluun otettiin mukaan kerrostalot, joista oli tutkimuksessa mukana vähintään yksi lasitetulla ja yksi lasittamattomalla parvekkeella varustettu huoneisto ja verrattiin lasittamattomalla parvekkeella varustetusta huoneistosta mitattuja sisälämpötiloja lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen sisälämpötiloihin. Tällaisia huoneistoja oli tutkimuksessa mukana kymmenen kappaletta, joista seitsemässä huoneistossa sisälämpötila oli

lasittamattomalla parvekkeella varustettua vertailuparveketta alhaisempi ja kolmessa korkeampi (taulukko 6.29).

Taulukko 6.29. Lasittamattomalla parvekkeella varustettujen huoneistojen sisälämpötila verrattuna lasitetuilla parvekkeilla varustettuihin huoneistoihin. Tiedot kohteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.23.

| Lasitetulla parvekkeella varustetun huoneiston sisälämpötila on matalampi kuin lasittamattomalla parvekkeella varustetun huoneiston | | | Lasitetulla parvekkeella varustetun huoneiston sisälämpötila on korkeampi kuin lasittamattomalla parvekkeella varustetun huoneiston | | |
|---|------------------|-------------------|---|------------------|-------------------|
| | Kohde | Lämpötilaero [°C] | | Kohde | Lämpötilaero [°C] |
| 1 | OPH5K(LO) | 0,5 | 1 | HÄ11H2K | -0,9 |
| 2 | TE9H2K(KA) | 1,6 | 2 | OPH2K(LO) | -0,3 |
| 3 | HÄ13H2K(IKA) | 1,5 | 3 | OPH3K(LO) | -0,4 |
| 4 | HÄ13H3K(ELO) | 1,0 | 4 | Keskiarvo | -0,6 |
| 5 | PEH2K(KA) | 0,8 | | | |
| 6 | FYH2K(LO) | 0,8 | | | |
| 7 | FYH3K(LO) | 2,9 | | | |
| 8 | Keskiarvo | 1,3 | | | |

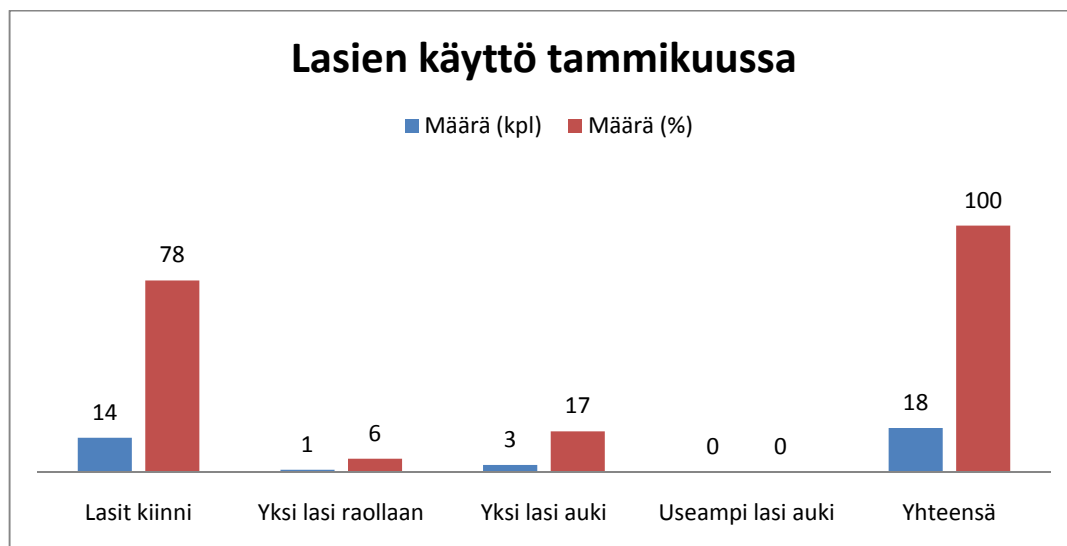
Keskimäärin seitsemän lasitetun parvekkeen lämpötila oli 1,3 °C:tta lasittamattomalla parvekkeella varustetun huoneiston sisälämpötilaa alhaisempi ja kolmen lasitetulla parvekkeella varustetun huoneiston sisälämpötila 0,6 °C:tta korkeampi. Suurimmassa osassa tapauksista lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen sisälämpötilat olivat alhaisempia kuin lasittamattomalla parvekkeella varustettujen huoneistojen sisälämpötilat. Huomionarvoista on, että sisälämpötilojen alitukset ovat selvästi suurempia kuin sisälämpötilojen ylitykset. Tarkastelu osoittaa, että parvekelasitus vaikuttaa positiivisesti huoneiston lämpöviihtyvyyteen ja mahdollistaa sisälämpötilan laskemisen lämpöviihtyvyyttä heikentämättä huoneessa, joka on yhteydessä parvekkeeseen. Täsmällisiä arvioita lämpötilan pudottamisen suuruudesta ei voida tämän aineiston perusteella sanoa, koska sisälämpötiloihin vaikuttavat monet muutkin asiat kuin lasitettu parveke.

6.2.4. Parvekeratkaisujen energiatalous ja siihen vaikuttavat tekijät

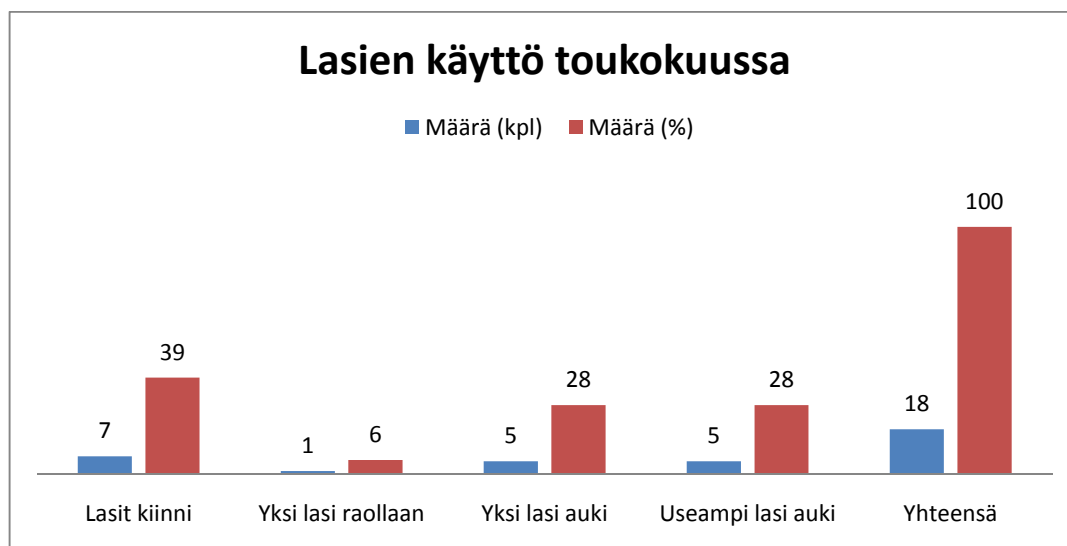
Tutkimuksen aikana seurattiin 18 tutkimuskohteena olleen lasitetun parvekkeen käyttöä havainnoimalla ulkoapäin parvekelasitusten avonaisuusaste vähintään kerran kuussa. Avonaisuusasteet olivat; parvekelasitus täysin kiinni, yksi laseista tuuletusasennossa ja yksi lasi täysin auki sekä useampi kuin yksi lasi täysin auki.

Seurannan aikana kävi ilmi, että suurin osa parvekelasituksista oli talviaikana täysin kiinni ja kesäaikana vähintään yksi lasi raollaan (kuvat 6.26 ja 6.27). Kovien pakkasten aikaan tammikuussa 84 % parvekelasituksista oli joko täysin kiinni tai yksi lasi raollaan

ja kesällä kuumina hellepäivinä 54 % parvekelasituksista oli vähintään yksi lasi täysin auki.



Kuva 6.26. Parvekelasitusten käyttö tutkimuskohteissa tammikuussa 2010.



Kuva 6.27. Parvekelasitusten käyttö tutkimuskohteissa toukokuussa 2010.

Samaa suuruusluokkaa olevia tuloksia on saanut myös Jari Heikkilä väitöstutkimuksensa yhteydessä tekemän laajan asukaskyselyn avulla. Hänen selvityksensä perusteella lähes 90 % parvekelasituksista oli talvisin kokonaan suljettuja ja kesäisin noin 80 % osittain auki [15].

Huoneistot, joissa parveketta käytettiin tupakoitiin tai vilvoitteluun, parvekelasien avonaisuusaste vaihteli huomattavasti talven aikana. Käyttämättömät tai varastoina toimivat parvekkeet olivat taas samassa avonaisuusasteessa huomattavan pitkiä aikoja.

Aktiivisesti parvekkeella oleskelevat henkilöt käyttivät pääsääntöisesti parvekettä kuten energiataloudellinen käyttö vaatii eli lasitus oli pakkasella täysin kiinni ja kesän hellepäivinä vähintään yksi lasi auki.

Energiaa säästävät parvekkeet

Parvekelasitusten epäsäännöllisen käytön takia päätettiin parvekkeiden lämpötiloja tarkastella kuukausittain järjestämällä parvekkeet sisälämpötilojen perusteella suuruusjärjestykseen lämpimimmästä kylmimpään. Lämpimin parveke oli järjestysnumeroltaan yksi ja kylmin parveke järjestysnumeroltaan 22. Energiataloudellisessa mielessä parhaita parvekkeita olivat ne, jotka olivat kesällä viileitä (järjestysnumero mahdollisimman suuri) ja talvella lämpimiä (järjestysnumero mahdollisimman pieni). Taulukossa 6.30 on mukana myös lasittamattomat parvekkeet, jotka erottaa helposti joukosta kirjaintunnuksen viimeisen kirjaimen perusteella, joka on E.

Taulukosta 6.30 havaitaan, että lasitettujen parvekkeiden lämpötilat vaihtelevat huomattavasti kuukauden mukaan. Aina kiinni ollut lasitettu parveke Opiskelijankatu 28:ssa (OPP4K) on ollut tasaisesti sijoilla yksi ja kaksi. Myös Opiskelijankatu 28:n parveke numero 5 (OPP5K) on sijoittunut lämpötilavertailussa suhteellisen tasaisesti sijoille 3-6 talvikauden aikana. Sen sijaan epäsäännöllisesti käytetyn Pohtolankatu 55:n (POP1K) lasitetun parvekkeen lämpötiloissa on ollut huomattavaa vaihtelua. Kesäaikana parveke on ollut huomattavan viileä. Heinäkuussa parveke on sijoittunut sijalle 17 ja elokuussa sijalle 18. Talviaikana vaihtelua lämpötiloissa on ollut selvästi enemmän. Lokakuussa järjestysnumero oli 11, marraskuussa 10 ja joulukuussa 6. Tammikuussa täysin suljettuna ollessaan parveke on ollut kaikkein lämpimin, mutta pudonnut taas helmikuussa sijalle yhdeksän. Myös Fysiikanpolku 7:n kolmannen parvekkeen (FYP3K) lämpötiloissa on ollut huomattavaa vaihtelua.

Taulukko 6.30. Parvekkeet järjestettynä kuukausittain lämpimämmästä kylmimpään sisälämpötilojen perusteella. Lämpimimmän parvekkeen järjestysnumero on yksi ja kylmimmän parvekkeen 22. Viiden energiaa säästävimmän lasitetun parvekkeen tiedot on ilmoitettu väreillä. Tiedot kohteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.23.

| 5 ENERGIAA SÄÄSTÄVINTÄ LASITETTUA PARVEKETTA | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | HEINÄ | ELO | LOKA | MARRAS | JOULU | TAMMI | TALVI* | KESÄ** |
| 1 | OPP4K | TE2P1K | OPP4K | OPP4K | OPP4K | POP1K | OPP4K | TE2P1K |
| 2 | TE2P1K | VIP1K | FYP3K | OPP3K | TE9P2K | OPP4K | SIP1K | OPP4K |
| 3 | VIP1K | OPP4K | OPP5K | TE9P2K | SIP1K | VIP1K | OPP5K | VIP1K |
| 4 | HÄ11P2K | OPP5K | TE2P1K | SIP1K | OPP5K | TE9P2K | TE9P2K | HÄ11P2K |
| 5 | OPP2K | OPP2K | SIP1K | OPP5K | FYP3K | SIP1K | VIP1K | OPP2K |
| 6 | SIP1K | HÄ11P2K | VIP1K | VIP1K | POP1K | OPP5K | FYP3K | OPP5K |
| 7 | OPP3K | SIP1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K | SIP1K |
| 8 | OPP5K | OPP3K | TE9P2K | FYP3K | VIP1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K |
| 9 | HÄ13P2K | RIP2K | HÄ13P3K | TE2P2K | TE2P1K | TE2P2K | POP1K | RIP2K |
| 10 | RIP2K | TE2P2K | OPP2K | POP1K | FYP2K | FYP2K | TE2P2K | RIP1K |
| 11 | RIP1K | RIP1K | POP1K | OPP2K | TE2P2K | FYP3K | FYP2K | HÄ13P2K |
| 12 | TE2P2K | HÄ13P3K | RIP2K | FYP2K | OPP2K | RIP2K | OPP2K | TE2P2K |
| 13 | HÄ13P3K | HÄ13P2K | FYP2K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K |
| 14 | TE9P2K | TE9P2K | TE2P2K | HÄ13P2K | RIP2K | OPP2K | RIP2K | TE9P2K |
| 15 | PEP1E | PEP2K | HÄ11P2K | RIP2K | HÄ11P2K | RIP1K | HÄ11P2K | PEP1E |
| 16 | FYP3K | PEP1E | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K | PEP2K | RIP1K | PEP2K |
| 17 | POP1K | HÄ11P1E | PEP2K | RIP1K | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K | HÄ11P1E |
| 18 | TE9P1E | POP1K | HÄ13P2K | PEP1E | PEP1E | HÄ13P2K | PEP2K | POP1K |
| 19 | HÄ11P1E | FYP2K | HÄ11P1E | HÄ11P1E | PEP2K | PEP1E | PEP1E | FYP3K |
| 20 | FYP2K | FYP3K | PEP1E | PEP2K | HÄ11P1E | OPP1E | HÄ11P1E | FYP2K |
| 21 | PEP2K | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E | OPP1E | HÄ11P1E | OPP1E | TE9P1E |
| 22 | OPP1E | OPP1E | OPP1E | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E |

*Talvi=loka-,marras-,joulu- ja tammikuu (Lämmityskausi)

**Kesä=heinä- ja elokuu (Kesäaika)

Energiataloudellisessa mielessä kaikista kannattavin parveke oli Opiskelijankatu 28:n (vv. 1975) ulkonevalla parvekkeella varustettu lasitettu parveke (OPP4K). Parvekkeen lämpötila oli keskimäärin 4,6 °C:tta lasittamattoman parvekkeen lämpötiloja korkeampi. Muita tasaisesti lämpimiä parvekkeita olivat Siirtolapuutarhankatu 22:n (SIP1K) ja Opiskelijankatu 28:n (OPP5K) ulkonevilla parvekkeilla varustetut lasitetut parvekkeet. Niiden lämpötilaerot lasittamattomiin parvekkeisiin olivat 3,4 ja 3,6 °C:tta. Opiskelijankatu 28:n hyvän tuloksen vaikuttivat tarkasteltavaan aineistoon nähden heikko eristystaso ikkunoissa (U-arvo alle $\sim 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$), vähäinen ulkopuolinen varjostus ja suhteellisen tiivis parvekerakenne. Siirtolapuutarhankadun parvekkeen etuina olivat suuri auringon energian saatavuus ja suhteellisen suuri lämpöhäviöiden määrä (ulkoseinää parvekkeen kahdella sivulla). Parveke oli myös todella tiivis ja rakennuksen sisänurkkaan sijoituessaan luonnostaan tuuleton. Siirtolapuutarhankadun lasitetulla parvekkeella vaihtui ilma huomattavan vähän, vaikka parvekelasit olivat osittain auki.



Kuva 6.28. Kolme eniten energiaa säästävää lasitettua parveketta. Kohteet vasemmalta lukien Opiskelijankatu 28 (vv. 1975), Siirtolapuutarhankatu 22 (vv. 2000) ja Teekkarinkatu 9 (vv. 1976).

Vähän energiaa säästävät parvekkeet

Tutkimuksessa oli mukana myös lasitettuja parvekkeita, joiden lämpötila oli talvikaudella vain 1-2 °C:tta lasittamattomien parvekkeiden lämpötiloja korkeampia. Lasitettujen parvekkeiden alle kaksi astetta korkeampiin lämpötiloihin löytyi luonnollisia selityksiä, kuten rakennuksen vaipan hyvä lämmöneristävyys ja parvekkeiden epätiivit kaideratkaisut. Myös parvekelasituksen käytöllä oli suuri merkitys lasitetun parvekkeen sisälämpötiloihin. Esimerkiksi Teräskatu 2:n parvekkeiden, joista toisessa parvekelasitus oli täysin kiinni ja toisessa yksi lasi auki, keskilämpötilat tarkastelujakson aikana olivat 4,2 °C:tta ja 2,1°C:tta eli yhden lasin

aukaiseminen lasi 2,1 °C:tta (50%) parvekkeen sisälämpötilaa. Vastaavasti Rientolankatu 5:ssä keskilämpötila täysin suljetulla parvekkeella oli 2,8 °C:tta ja yksi lasi auki olevalla 1,6 °C:tta.

Energiataloudellisessa mielessä kaikista heikoimmin menestyviä parvekkeita oli Peltovainionkatu 4 (vv. 1974), Härmälänsaarenkatu 13 (vv. 2002) ja Rientolankatu 5 (vv. 2006) (taulukko 6.31). Parvekkeiden keskilämpötilat olivat Peltovainionkatu 4:ssä (PEP2K) 1,0 °C:tta, Härmälänsaarenkatu 13:sta (HÄ13P2K) 1,5 °C:tta ja Rientolankatu 5:ssä (RIP1K) 1,6 °C:tta.

Taulukko 6.31. Parvekkeet järjestettynä kuukausittain lämpimämmästä kylmimpään sisälämpötilojen perusteella. Lämpimimmän parvekkeen järjestysnumero on yksi ja kylmimmän parvekkeen 22. Viiden vähiten energiaa säästävän lasitetun parvekkeen tiedot on ilmoitettu väreillä. Tiedot kohteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.23.

| 5 VÄHITEN ENERGIAA SÄÄSTÄVÄÄ LASITETTUA PARVEKETTA | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | HEINÄ | ELO | LOKA | MARRAS | JOULU | TAMMI | TALVI* | KESÄ** |
| 1 | OPP4K | TE2P1K | OPP4K | OPP4K | OPP4K | POP1K | OPP4K | TE2P1K |
| 2 | TE2P1K | VIP1K | FYP3K | OPP3K | TE9P2K | OPP4K | SIP1K | OPP4K |
| 3 | VIP1K | OPP4K | OPP5K | TE9P2K | SIP1K | VIP1K | OPP5K | VIP1K |
| 4 | HÄ11P2K | OPP5K | TE2P1K | SIP1K | OPP5K | TE9P2K | TE9P2K | HÄ11P2K |
| 5 | OPP2K | OPP2K | SIP1K | OPP5K | FYP3K | SIP1K | VIP1K | OPP2K |
| 6 | SIP1K | HÄ11P2K | VIP1K | VIP1K | POP1K | OPP5K | FYP3K | OPP5K |
| 7 | OPP3K | SIP1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K | SIP1K |
| 8 | OPP5K | OPP3K | TE9P2K | FYP3K | VIP1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K |
| 9 | HÄ13P2K | RIP2K | HÄ13P3K | TE2P2K | TE2P1K | TE2P2K | POP1K | RIP2K |
| 10 | RIP2K | TE2P2K | OPP2K | POP1K | FYP2K | FYP2K | TE2P2K | RIP1K |
| 11 | RIP1K | RIP1K | POP1K | OPP2K | TE2P2K | FYP3K | FYP2K | HÄ13P2K |
| 12 | TE2P2K | HÄ13P3K | RIP2K | FYP2K | OPP2K | RIP2K | OPP2K | TE2P2K |
| 13 | HÄ13P3K | HÄ13P2K | FYP2K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K |
| 14 | TE9P2K | TE9P2K | TE2P2K | HÄ13P2K | RIP2K | OPP2K | RIP2K | TE9P2K |
| 15 | PEP1E | PEP2K | HÄ11P2K | RIP2K | HÄ11P2K | RIP1K | HÄ11P2K | PEP1E |
| 16 | FYP3K | PEP1E | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K | PEP2K | RIP1K | PEP2K |
| 17 | POP1K | HÄ11P1E | PEP2K | RIP1K | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K | HÄ11P1E |
| 18 | TE9P1E | POP1K | HÄ13P2K | PEP1E | PEP1E | HÄ13P2K | PEP2K | POP1K |
| 19 | HÄ11P1E | FYP2K | HÄ11P1E | HÄ11P1E | PEP2K | PEP1E | PEP1E | FYP3K |
| 20 | FYP2K | FYP3K | PEP1E | PEP2K | HÄ11P1E | OPP1E | HÄ11P1E | FYP2K |
| 21 | PEP2K | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E | OPP1E | HÄ11P1E | OPP1E | TE9P1E |
| 22 | OPP1E | OPP1E | OPP1E | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E |

*Talvi=loka-,marras-,joulu- ja tammikuu (Lämmityskausi)

**Kesä=heinä- ja elokuu (Kesäaika)

Härmälänsaarenkatu 13:sta ja Rientolankatu 5:n kerrostalot ovat 2000- luvulta ja omaavat huomattavasti paremman lämmöneristävyyden kuin 1970- luvulla rakennetut kerrostalot. Niiden parvekkeet ovat ulkonevia ja parvekelasitus ulottuu parvekkeella

kahdelle tai kolmelle sivulle. Härmälänsaarenkatu 13:sta parveke avautuu lähes suoraan itään ja Rientolankatu 5:n parveke kaakkoon. Härmälänsaarenkadulla parveke oli aina kiinni ja Rientolankadulla yksi lasi raollaan koko talven ajan.

Peltovainionkatu 4:n kerrostalo oli rakennettu 1970 -luvun alkupuolella, mutta peruskorjattu 2000- luvulla. Parvekeikkunat ja –ovet olivat hiljattain uusittu ja vanhat parvekkeet korvattu uusilla paremman yleisilmeen aikaansaamiseksi. Parveke sisälsi paljon lasipintoja ja oli rakenteeltaan suhteellisen epätiivis. Parvekelasitukset olivat aina suljettuna. Vaikka lasitetun parvekkeen heikkoon lämmöneristävyyteen oli ymmärrettäviä selityksiä, kaikista heikoin energiansäästö oli kuitenkin yllätys.



Kuva 6.29. Kolme vähiten energiaa säästävää lasitettua parvekettä. Kohteet vasemmalta lukien Peltovainionkatu 4 (vv. 1974), Härmälänsaarenkatu 13 (vv. 2002) ja Rientolankatu 5 (vv. 2006).

Erityisen epäedullinen parvekekaide energiataloudellisessa mielessä oli Härmälänsaarenkadulla, jossa tuulella paukkuvat ryppypeltikaiteet lämmittivät parvekettä kesäaikana ja aiheuttivat ajoittain huomattavan korkeita sisälämpötiloja lasitetuille parvekkeille. Lisäksi kaide oli talviaikana huomattavan kylmä ja lisäsi siten epämiellyttävää vedontunnetta parvekkeella talviaikana.

Yleensä yksi parvekkeen lämpötaloutta heikentävä tekijä (esim. hyvä lämmöneristävyys) ei poistanut parvekkeiden energiansäästöpotentiaalia, vaan tarvittiin useampi heikentävä asia kuten Rientolankadulla ja Härmälänsaarenkadulla. Tästä hyvänä osoituksena on vuonna 2000 valmistunut kerrostalo Siirtolapuutarhankatu 22:ssa, jonka lasitettu parveke oli toiseksi energiaa säästävin (taulukko 6.30).

Parvekkeiden käytön seuranta osoittaa, että lasitettu parveke on vielä energiaa säästävä, vaikka yksi lasi pidettäisiin koko talvikauden ajan auki. Toisaalta tutkimus osoittaa

myös, että yksi lasi auki olevalla parvekkeella lämpötilat ovat myös kesäaikana lasittamattoman parvekkeen lämpötiloja korkeammat. Riittävän tuulettuminen aikaansaadaan aukaisemalla useampi kuin yksi lasi tai laseja useammalta sivulta. Läpivedon avulla voidaan parveke pitää tehokkaimmin viileänä kesäaikana. Useampi sivuisissa kulma- tai U-parvekkeessa kannattaa hyödyntää ulkona vallitsevia ilmavirtauksia tehokkaan tuulettumisen saavuttamiseksi.

Parvekkeiden lämpeneminen

Taulukosta 6.32 nähdään, että talvella herkästi auringon säteilystä ja rakennuksen lämpöhäviöistä lämpenevä lasitettu parveke lämpenee helposti myös kesäaikana. Viisi lämpimintä parveketta sijoittuivat energiansäästönsään sijoille 1,5,8,2 ja 3. Huomattavaa kuitenkin on, että lämpötilaero lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välillä on kesäaikana huomattavasti pienempi kuin talviaikana. Lisäksi avautuvat parvekelasit mahdollistavat vaivattoman tuuletuksen tarpeen mukaan.

Taulukko 6.32. Parvekkeet järjestettynä kuukausittain lämpimimmästä kylmimpään sisälämpötilojen perusteella. Lämpimimmän parvekkeen järjestysnumero on yksi ja kylmimmän parvekkeen 22. Viiden lämpimimmän lasitetun parvekkeen tiedot on ilmoitettu väreillä. Tiedot kohteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.23.

| 5 LÄMPIMINTÄ LASITETTUA PARVEKETTA | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | HEINÄ | ELO | SYYS | LOKA | MARRAS | JOULU | TAMMI | KAIKKI |
| 1 | OPP4K | TE2P1K | TE2P1K | OPP4K | OPP4K | OPP4K | POP1K | OPP4K |
| 2 | TE2P1K | VIP1K | OPP4K | FYP3K | OPP3K | TE9P2K | OPP4K | VIP1K |
| 3 | VIP1K | OPP4K | VIP1K | OPP5K | TE9P2K | SIP1K | VIP1K | TE2P1K |
| 4 | HÄ11P2K | OPP5K | OPP5K | TE2P1K | SIP1K | OPP5K | TE9P2K | SIP1K |
| 5 | OPP2K | OPP2K | SIP1K | SIP1K | OPP5K | FYP3K | SIP1K | OPP5K |
| 6 | SIP1K | HÄ11P2K | RIP2K | VIP1K | VIP1K | POP1K | OPP5K | OPP3K |
| 7 | OPP3K | SIP1K | OPP3K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K | TE2P1K | TE9P2K |
| 8 | OPP5K | OPP3K | FYP3K | TE9P2K | FYP3K | VIP1K | OPP3K | FYP3K |
| 9 | HÄ13P2K | RIP2K | OPP2K | HÄ13P3K | TE2P2K | TE2P1K | TE2P2K | OPP2K |
| 10 | RIP2K | TE2P2K | HÄ11P2K | OPP2K | POP1K | FYP2K | FYP2K | RIP2K |
| 11 | RIP1K | RIP1K | HÄ13P3K | POP1K | OPP2K | TE2P2K | FYP3K | TE2P2K |
| 12 | TE2P2K | HÄ13P3K | TE2P2K | RIP2K | FYP2K | OPP2K | RIP2K | HÄ13P3K |
| 13 | HÄ13P3K | HÄ13P2K | RIP1K | FYP2K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ11P2K |
| 14 | TE9P2K | TE9P2K | HÄ13P2K | TE2P2K | HÄ13P2K | RIP2K | OPP2K | POP1K |
| 15 | PEP1E | PEP2K | TE9P2K | HÄ11P2K | RIP2K | HÄ11P2K | RIP1K | FYP2K |
| 16 | FYP3K | PEP1E | PEP1E | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K | PEP2K | RIP1K |
| 17 | POP1K | HÄ11P1E | PEP2K | PEP2K | RIP1K | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K |
| 18 | TE9P1E | POP1K | HÄ11P1E | HÄ13P2K | PEP1E | PEP1E | HÄ13P2K | PEP2K |
| 19 | HÄ11P1E | FYP2K | POP1K | HÄ11P1E | HÄ11P1E | PEP2K | PEP1E | PEP1E |
| 20 | FYP2K | FYP3K | FYP2K | PEP1E | PEP2K | HÄ11P1E | OPP1E | HÄ11P1E |
| 21 | PEP2K | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E | OPP1E | HÄ11P1E | TE9P1E |
| 22 | OPP1E | OPP1E | OPP1E | OPP1E | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E |

Kaikki energiaa säästävät parvekkeet eivät yllälämmenneet kesällä (taulukko 6.33). Näiden huoneistojen asukkaat huolehtivat itse parvekkeensa riittävästä tuulettamisesta. Hyvänä esimerkkinä voidaan todeta Teekkarinkatu 9:n toinen parveke (TE9P2K), joka sijoittui energiansäästövertailussa neljännelle sijalle ja siitä huolimatta yllälämpeni kesällä viidenneksi vähiten. Myös Fysiikanpolku 7:n kolmannen parvekkeen (FYP3K) aktiivinen käyttäjä toimi energiataloudellisessa mielessä optimaalisella tavalla huolehtiessaan parvekkeen riittävästä tuulettumisesta kesällä ja pitämällä parvekkeet täysin suljettuna talvella. Pohtolankatu 5:n sisäänvedetty parveke omasi suuren energiansäästöpotentiaalin, mutta parvekelasituksen auki unohtelu heikensi huomattavasti energiansäästövaikutusta.

Taulukko 6.33. Parvekkeet järjestettynä kuukausittain lämpimämmästä kylmimpään sisälämpötilojen perusteella. Lämpimimmän parvekkeen järjestysnumero on yksi ja kylmimmän parvekkeen 22. Viiden vähiten yllälämpenevän lasitetun parvekkeen tiedot on ilmoitettu väreillä. Tiedot kohteiden kirjaintunnuksista on taulukossa 6.23.

| 5 VÄHITEN YLLÄLÄMPENEVÄÄ LASITETTUA PARVEKETTA | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | HEINÄ | ELO | LOKA | MARRAS | JOULU | TAMMI | TALVI* | KESÄ** |
| 1 | OPP4K | TE2P1K | OPP4K | OPP4K | OPP4K | POP1K | OPP4K | TE2P1K |
| 2 | TE2P1K | VIP1K | FYP3K | OPP3K | TE9P2K | OPP4K | SIP1K | OPP4K |
| 3 | VIP1K | OPP4K | OPP5K | TE9P2K | SIP1K | VIP1K | OPP5K | VIP1K |
| 4 | HÄ11P2K | OPP5K | TE2P1K | SIP1K | OPP5K | TE9P2K | TE9P2K | HÄ11P2K |
| 5 | OPP2K | OPP2K | SIP1K | OPP5K | FYP3K | SIP1K | VIP1K | OPP2K |
| 6 | SIP1K | HÄ11P2K | VIP1K | VIP1K | POP1K | OPP5K | FYP3K | OPP5K |
| 7 | OPP3K | SIP1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K | SIP1K |
| 8 | OPP5K | OPP3K | TE9P2K | FYP3K | VIP1K | OPP3K | TE2P1K | OPP3K |
| 9 | HÄ13P2K | RIP2K | HÄ13P3K | TE2P2K | TE2P1K | TE2P2K | POP1K | RIP2K |
| 10 | RIP2K | TE2P2K | OPP2K | POP1K | FYP2K | FYP2K | TE2P2K | RIP1K |
| 11 | RIP1K | RIP1K | POP1K | OPP2K | TE2P2K | FYP3K | FYP2K | HÄ13P2K |
| 12 | TE2P2K | HÄ13P3K | RIP2K | FYP2K | OPP2K | RIP2K | OPP2K | TE2P2K |
| 13 | HÄ13P3K | HÄ13P2K | FYP2K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K | HÄ13P3K |
| 14 | TE9P2K | TE9P2K | TE2P2K | HÄ13P2K | RIP2K | OPP2K | RIP2K | TE9P2K |
| 15 | PEP1E | PEP2K | HÄ11P2K | RIP2K | HÄ11P2K | RIP1K | HÄ11P2K | PEP1E |
| 16 | FYP3K | PEP1E | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K | PEP2K | RIP1K | PEP2K |
| 17 | POP1K | HÄ11P1E | PEP2K | RIP1K | RIP1K | HÄ11P2K | HÄ13P2K | HÄ11P1E |
| 18 | TE9P1E | POP1K | HÄ13P2K | PEP1E | PEP1E | HÄ13P2K | PEP2K | POP1K |
| 19 | HÄ11P1E | FYP2K | HÄ11P1E | HÄ11P1E | PEP2K | PEP1E | PEP1E | FYP3K |
| 20 | FYP2K | FYP3K | PEP1E | PEP2K | HÄ11P1E | OPP1E | HÄ11P1E | FYP2K |
| 21 | PEP2K | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E | OPP1E | HÄ11P1E | OPP1E | TE9P1E |
| 22 | OPP1E | OPP1E | OPP1E | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | TE9P1E | OPP1E |

*Talvi=loka-,marras-,joulu- ja tammikuu (Lämmityskausi)

**Kesä=heinä- ja elokuu (Kesäaika)

Rakennuksen lämmöneristävyyden, parveketyypin ja suuntauksen vaikutus lasitettujen parvekkeiden energiatalouteen

Tutkimuksen perusteella vanhat rakennukset omaavat suuremman energiansäästöpotentiaalin kuin uudet rakennukset. Viiden energiaa säästävimmän lasitetun parvekkeen joukossa oli kolme parveketta 1970- luvulta, yksi parveke 1980- luvulta (tutkimuksessa mukana yksi lasitettu parveke 1980- luvulta) ja yksi parveke 2000- luvulta. Viiden vähiten energiaa säästävän lasitetun parvekkeen joukossa oli neljä parveketta 2000- luvulta ja yksi parveke 1970- luvulta.

Sisäänvedetty parveke on aikaisempien tutkimusten perusteella energiataloudellisessa mielessä parempi ratkaisu kuin ulkoneva parveke. Tässä tutkimuksessa oli mukana vain yksi sisäänvedetty parveke, joka tammikuussa suljettuna ollessaan osoitti omaavansa suuren energiansäästöpotentiaalin. Asukkaan satunnainen parvekelasitusten avaaminen ja sulkeminen heikensi kuitenkin parvekkeen energiansäästöä vuositasolla. Tämän asian yksityiskohtainen selvittäminen olisi vaatinut laajemman kenttätutkimusaineiston sisäänvedetyistä parvekkeista.

Paras ilmansuunta auringon säteilyenergian saatavuuden kannalta on etelä. Aikaisempien tutkimusten perusteella pienet poikkeamat ± 15 astetta eteläsuunnasta eivät kuitenkaan merkittävästi vähennä auringon säteilyenergiaa. Toinen keskeinen asia auringon säteilyn kannalta on vapaa paistekulma. Etelään suunnatun parveke ei lämpene auringon säteilyn vaikutuksesta, jos edessä on esimerkiksi varjostava rakennus tai tiheä puusto. Viidestä eniten energiaa säästävästä lasitetusta parvekkeesta kaksi oli suunnattu lounaaseen sekä yksi länteen, etelään ja kaakkoon. Näiden parvekkeiden edessä ei ollut juurikaan varjostavia esteitä, jolloin auringon säteily saavutti parvekkeen myös talvikaudella. Viidestä vähiten energiaa säästävästä parvekkeesta kolme oli suunnattu kaakkoon, yksi etelään ja yksi itään. Kaikissa näistä kohteista ikkunoiden ja ovien lämmöneristävyys oli todella hyvä. Kenttätutkimuksen perusteella rakennuksen lämmöneristystaso oli merkittävämpi asia energiansäästön kannalta kuin rakennuksen suuntaus.

7. ENERGIASIMULOINTIEN TULOKSET

7.1. Laskentamallin verifiointin tulokset

7.1.1. Yleistä

Tässä luvussa käsitellään IDA-ICE simulointiohjelmalla suoritetun laskentamallin verifiointin keskeisiä tuloksia ajanjaksolta 1.1.2009 - 31.12.2009. Simuloinneissa käytettiin säätietoina ensisijaisesti kohteelta vuonna 2009 mitattuja lämpötila- ja kosteustietoja. Puuttuvat lämpötilaa ja suhteellista kosteutta koskevat tiedot ajanjaksolta 1.1.2009 - 17.7.2009 sekä tuulen nopeutta ja suuntaa koskevat tiedot ajanjaksolta 1.1.2009 - 31.12.2009 täydennettiin Pirkkalan lentoaseman säähavainnoilla. Säteilytiedot ovat peräisin Jokioisten ilmatieteellisen observatorion säteilyhavainnoista.

Rakennusta ja sen käyttöä koskevat tiedot on selvitetty suunnitelma-asiakirjoista, kohteella suoritetuilla kertamittauksilla ja asiakaskyselyillä. Laskentamallin verifiointi suoritettiin vertailemalla toteutuneita sisä- ja parvekeilman lämpötiloja simuloituihin arvoihin. Mallinnuksella tavoiteltiin mitattujen ja simuloitujen lämpötilojen vastaavuutta 0,5 °C:n tarkkuudella. Laskentamallin kalibrointi ja samalla kohdetta koskevien tietojen tarkennukset lopetettiin, kun kaikkien kuukausien lämpötilat oli saatu raja-arvon 0,5 °C:ta sisäpuolelle. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että laskentamalli vastasi todellisuutta hämmästyttävän hyvin. Tässä tutkimuksessa riittävän luotettavana raja-arvona pidettiin 0,5 °C:n tarkkuutta, mutta yksityiskohtaisemmat selvitykset tekemällä laskentamalli olisi voitu saada vastaamaan todellisuutta jopa 0,1 °C:n tarkkuudella.

7.1.2. Parvekkeiden lämpötilat

Parvekkeelta mitattujen ja simulointiohjelmalla laskettujen lämpötilatietojen vertailuajankohtana käytettiin 1.8.2009 - 13.12.2009 välistä ajanjaksoa. Tänä aikana parvekkeen ulkopuolelta mitattu ulkolämpötila vaihteli -17,5 °C:n ja 24,9 °C:n välillä. Korkein lämpötila mitattiin 8.8.2009 klo 18.00 ja matalin lämpötila 17.12.2009 klo 8.00. Mittausjakson lämpimin kuukausi oli elokuu ja kylmin joulukuu. Ulkoilman keskilämpötila tarkastelujakson aikana oli 5,9 °C:ta. Jos ulkolämpötiloista jätetään tarkastelematta mittauskatkokset loka- ja marraskuussa, nousee ulkoilman keskilämpötila 6,9 °C:een. Tätä lämpötilaa pidettiin tarkastelujakson ulkoilman vertailuarvona tässä luvussa, koska myös lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen lämpötilanmittauksissa on katkokset loka- ja marraskuussa.

Taulukko 7.1. Maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana.

| | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika |
|---|----------------|------------|------------|
| Mitattu ulkolämpötila (mittauspiste: Vaisala A) | | | |
| Max | 24,9 | 8.8.2009 | 18:00 |
| Min | -17,5 | 17.12.2009 | 8:00 |
| Mitattu lämpötila lasitetulta parvekkeella (mittauspiste: Vaisala C) | | | |
| Max | 28,8 | 9.8.2009 | 16:00 |
| Min | -11,9 | 18.12.2009 | 11:00 |
| Simuloitu lämpötila lasitetulta parvekkeella | | | |
| Max | 26,7 | 9.8.2009 | 17:00 |
| Min | -12,4 | 18.12.2009 | 11:00 |
| Mitattu lämpötila lasittamattomalta parvekkeella (mittauspiste: Vaisala E) | | | |
| Max | 26,6 | 8.8.2009 | 17:00 |
| Min | -16,2 | 18.12.2009 | 11:00 |
| Simuloitu lämpötila lasittamattomalta parvekkeella | | | |
| Max | 25,3 | 8.8.2009 | 18:00 |
| Min | -16,3 | 17.12.2009 | 9:00 |

Lasitettujen ja lasittamattomien parvekkeiden mitatut ja simuloitut maksimi- ja minimilämpötilat ajoittuivat samoille helle- ja pakkasjaksoille. Lasittamattoman parvekkeen mitattu minimilämpötila vastasi 0,1 °C:n tarkkuudella simuloitua arvoa ja maksimilämpötila 1,3 °C:n tarkkuudella. Lasitetun parvekkeen minimi- ja maksimilämpötiloissa oli enemmän hajontaa. Mitattu minimilämpötila vastasi 0,5 °C:n ja maksimilämpötila 2,1°C:n tarkkuudella simuloituja arvoja. Kesäajan maksimilämpötiloihin toi hieman hajontaa Tampereen säteilyhavaintojen puuttuminen ja puuston mallintaminen läpinäkymättömillä tolilla. Jos auringon säteily olisi mitattu paikan päällä ja IDA-ICE ohjelmassa olisi voitu mallintaa puuston aiheuttama varjostus tarkemmin, mittauksissa olisi voitu päästä tarkempaan tulokseen maksimilämpötilojen osalta.

Lasittamaton parveke

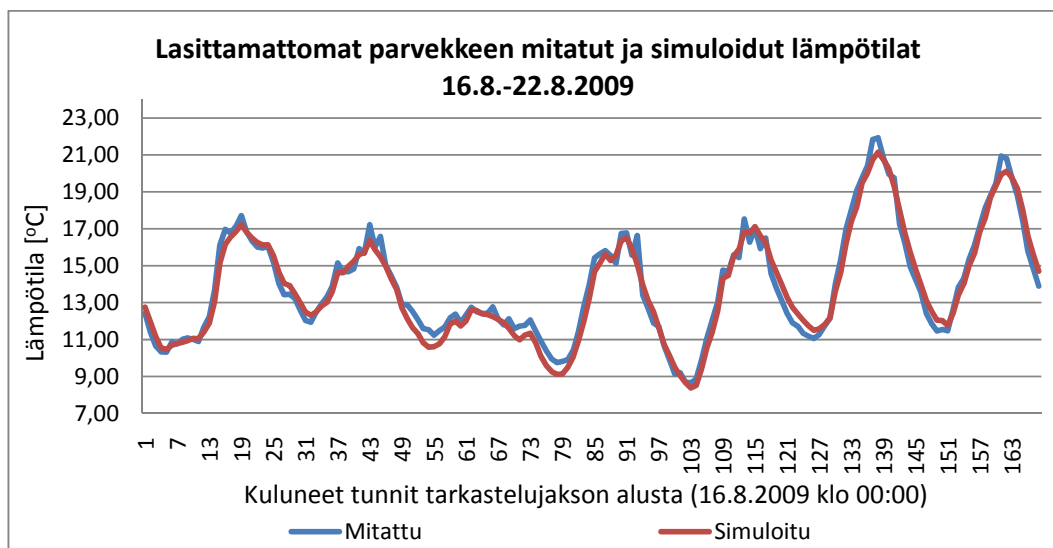
Lasittamattoman parvekkeen mitatut ja simuloitut lämpötilat vastasivat tarkastelujakson aikana 0,14 °C:n tarkkuudella toisiaan (taulukko 7.2). Suurimmat poikkeamat mitattujen ja simuloitujen lämpötilojen välillä oli elokuussa ja pienimmät poikkeamat joulukuussa. Sydäntalvella, jolloin aurinko ei juuri paistanut parvekkeelle, lämpötilat vastasivat 0,05 °C:tta tarkemmin todellisuutta kuin alkusyksystä. 0,25 °C:n tarkkuus simuloitujen ja mitattujen lämpötilojen välillä on kuitenkin laskentaohjelmalle hyvä lopputulos.

Taulukko 7.2. Lasittamattoman parvekkeen mitatut ja simuloitut keskilämpötilat mittausjakson aikana.

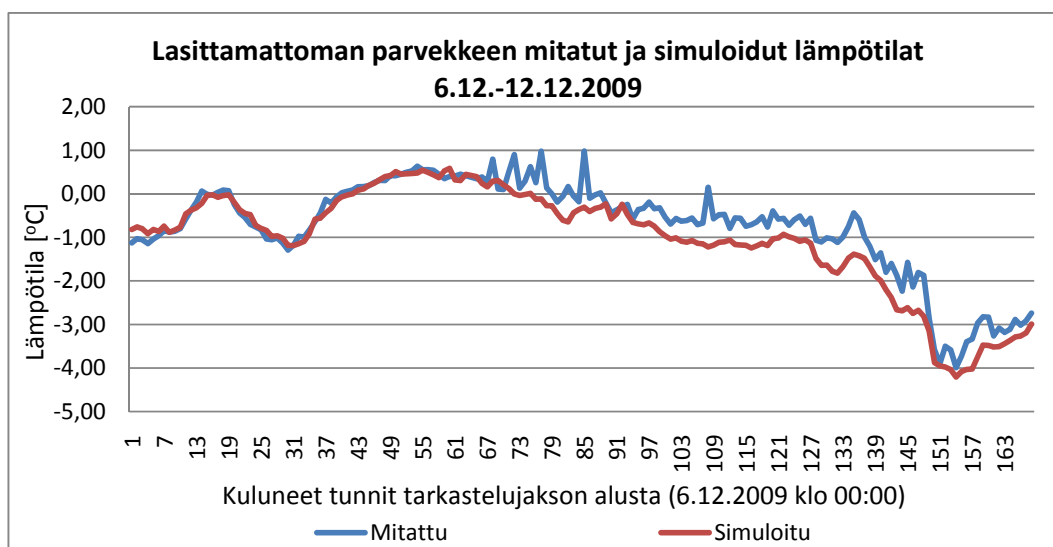
| | Lasittamattoman parvekkeen lämpötilat [°C] | | Lämpötilaero mitatun ja simuloitun lämpötilan välillä [°C] |
|-----------------------------|--|-------------|--|
| | Mitattu | Simuloitu | |
| Koko tarkastelujakso | 7,6 | 7,5 | -0,14 |
| Joulukuu | -6,4 | -6,6 | -0,20 |
| Lokakuu | 3,3 | 3,1 | -0,21 |
| Elokuu | 16,5 | 16,2 | -0,25 |

+ = Simuloitu lämpimämpi ja - = mitattu lämpimämpi

Kuvissa 7.1 ja 7.2 on esitetty yhden pakkasviikon ja yhden lämpimän viikon simuloitujen ja mitattujen lämpötilojen vertailujaksot. 16.8.2009 - 22.8.2009 välisenä aikana mitatuissa ja simuloituissa tiedoissa ei juuri ollut hajontaa. Pakkasen kiristyessä talvikautena parveke pysyi todellisuudessa hieman lämpimämpänä kuin simuloinneissa. Poikkeamat olivat kuitenkin vähäisiä ja niiden kesto lyhytaikainen.



Kuva 7.1. Lasittamattoman parvekkeen mitatut ja simuloitut lämpötilat aikavälillä 16.8.2009 - 22.8.2009.



Kuva 7.2. Lasittamattoman parvekkeen mitatut ja simuloituvat lämpötilat aikavälillä 6.12.2009 - 12.12.2009.

Lasitettu parveke

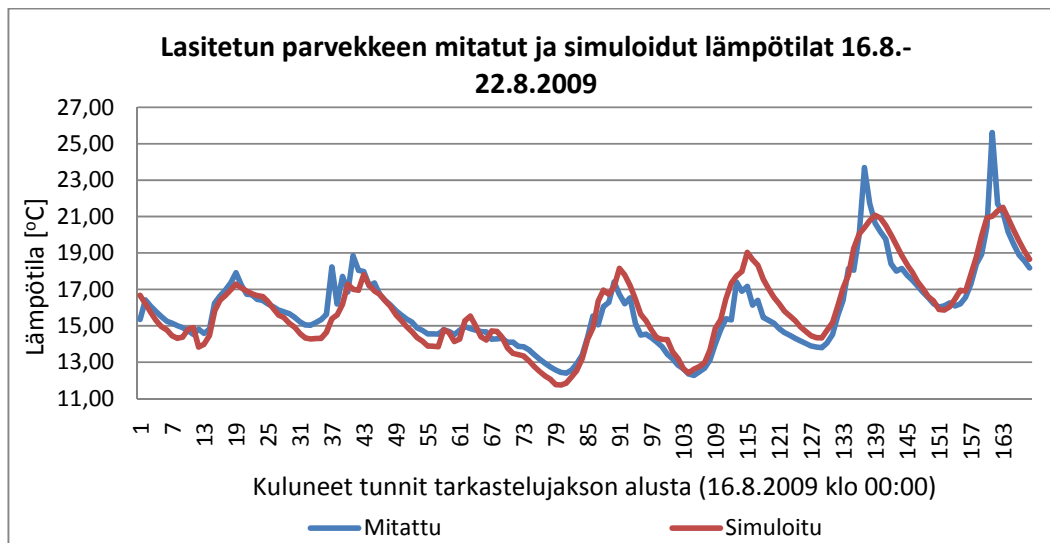
Lasitetun parvekkeen mitatut ja simuloituvat lämpötilat vastasivat tarkastelujakson aikana keskimäärin 0,06 °C:n tarkkuudella toisiaan (taulukko 7.3). Suurimmat poikkeamat mitattujen ja simuloitujen lämpötilojen välillä oli lokakuussa ja pienimmät poikkeamat joulukuussa. Sydäntalvella, jolloin aurinko ei juuri paistanut parvekkeelle, lämpötilat vastasivat 0,26 °C:tta tarkemmin todellisuutta kuin lokakuussa. 0,32 °C:n tarkkuus simuloitujen ja mitattujen lämpötilojen välillä on kuitenkin laskentaohjelmalle hyvä lopputulos.

Taulukko 7.3. Lasitetun parvekkeen mitatut ja simuloituvat keskilämpötilat mittausjakson aikana.

| | Lasitetun parvekkeen lämpötilat [°C] | | Lämpötilaero mitatun ja simuloitun lämpötilan välillä [°C] |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------|--|
| | Mitattu | Simuloitu | |
| Koko mittausjakso | 10,0 | 9,9 | -0,06 |
| Joulukuu | -3,3 | -3,3 | 0,04 |
| Lokakuu | 5,9 | 5,6 | -0,32 |
| Elokuu | 18,4 | 18,4 | -0,05 |

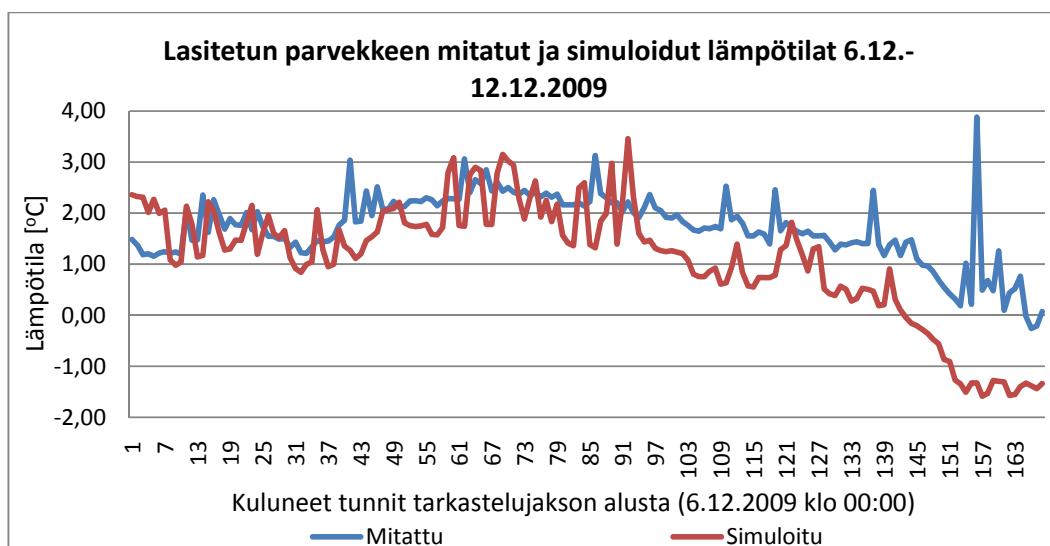
+ = Simuloitu lämpimämpi ja - = mitattu lämpimämpi

Kuvassa 7.3 on esitetty yhden lämpimän viikon simuloitujen ja mitattujen lämpötilojen vertailujakso. Pääsääntöisesti simuloituvat ja mitatut lämpötilat vastasivat hyvin toisiaan. Ainoastaan muutamina aurinkoisina päivinä elokuun aikana lämpötilat nousivat lasitetulla parvekkeella hetkellisesti jopa yli 4 °C:tta simuloituja lämpötiloja korkeammaksi. Kuitenkin kuukausitasolla mitatut ja simuloituvat lämpötilat vastasivat elokuussa 0,05 °C:n tarkkuudella toisiaan, jolloin yksittäiset lämpötilan nousut eivät vaikuttaneet merkittävästi lopputulokseen.



Kuva 7.3. Lasitetun parvekkeen mitatut ja simuloitut lämpötilat aikavälillä 16.8.2009 - 22.8.2009.

Pakkaskaudella tilapäistä hajontaa oli lasitetujen parvekkeiden mitatuissa ja simuloituissa lämpötiloissa enemmän kuin kesäaikana (kuva 7.4). Simuloitut lämpötilat seurasivat pakkasen kiristyessä nopeammin ulkolämpötilojen muutosta kuin mitatut arvot. Vastaavasti kelin lauhtuessa lasitettu parveke lämpeni nopeammin simuloinneissa kuin todellisuudessa. Pakkaskaudella havaittiin yksittäisiä hetkiä, jolloin parvekkeen lämpötilat olivat huomattavasti simuloituja arvoja korkeampia. Nämä ajateltiin johtuvat huoneiston tuulettamisesta parvekkeen oven kautta.



Kuva 7.4. Lasitetun parvekkeen mitatut ja simuloitut lämpötilat aikavälillä 6.12.2009 - 12.12.2009.

Lasitetun parvekkeen mitatuissa ja simuloituissa lämpötiloissa oli enemmän hajontaa kuin lasittamattoman parvekkeen mitatuissa ja simuloituissa lämpötiloissa. Hajonta oli kuitenkin tasaista eli simuloitu ja mitattu lämpötila olivat toisiaan lämpimämpiä vuorotellen, jolloin kuukausitasolla tarkasteltuna päästiin todella hyvään laskentatarkkuuteen. Hajontaa aiheuttivat Tampereen säteilytietojen korvaaminen Jokioisten observatorion säteilytiedoilla ja puuston mallintaminen läpinäkymättömillä tolpileillä. Simulointiohjelmassa auringon säteily lämmitti parvekettä hieman eri aikoina kuin todellisuudessa. Simuloitujen lämpötilojen keskiarvo lämmityskaudella oli kuitenkin alhaisempi kuin mitattujen lämpötilojen keskiarvo, jolloin arvioitu energiansäästö parvekelaseilla on arvioitu laskelmissa ns. varman päälle. Todellisuudessa energiansäästö oli hieman suurempi kuin verifiointituloksena saatu energiansäästö.

7.1.3. Huoneiston lämpötilat

Huoneistosta B mitattujen ja simulointiohjelmalla laskettujen lämpötilatietojen vertailuajankohtana käytettiin 1.8.2009 - 13.12.2009 välistä ajanjaksoa. Tänä aikana huoneistosta mitatut lämpötilat vaihtelivat välillä 21,9...25,9 °C:tta ja simuloitujen lämpötilat välillä 21,3...25,3 °C:tta (taulukko 7.4). Korkein lämpötila mittauksen perusteella oli huoneistossa 10.8.2009 klo 16.00 ja simulointien perusteella 9.8.2009 klo 19.00. Kylmin ajankohta sekä simuloinneissa että mittauksissa osui joulukuun 12. päivälle. Huoneistosta mitatut minimi- ja maksimilämpötila vastasivat 0,6 °C:n tarkkuudella simuloituja.

Taulukko 7.4. Maksimi- ja minimilämpötilat mittausjakson aikana.

| | Lämpötila [°C] | Päivämäärä | Kellonaika |
|---|----------------|------------|------------|
| Mitatettu lämpötila huoneistossa | | | |
| Max | 25,9 | 10.8.2009 | 16:00 |
| Min | 21,9 | 19.12.2009 | 9:00 |
| Simuloitu lämpötila huoneistossa | | | |
| Max | 25,3 | 9.8.2009 | 19:00 |
| Min | 21,3 | 19.12.2009 | 7:00 |

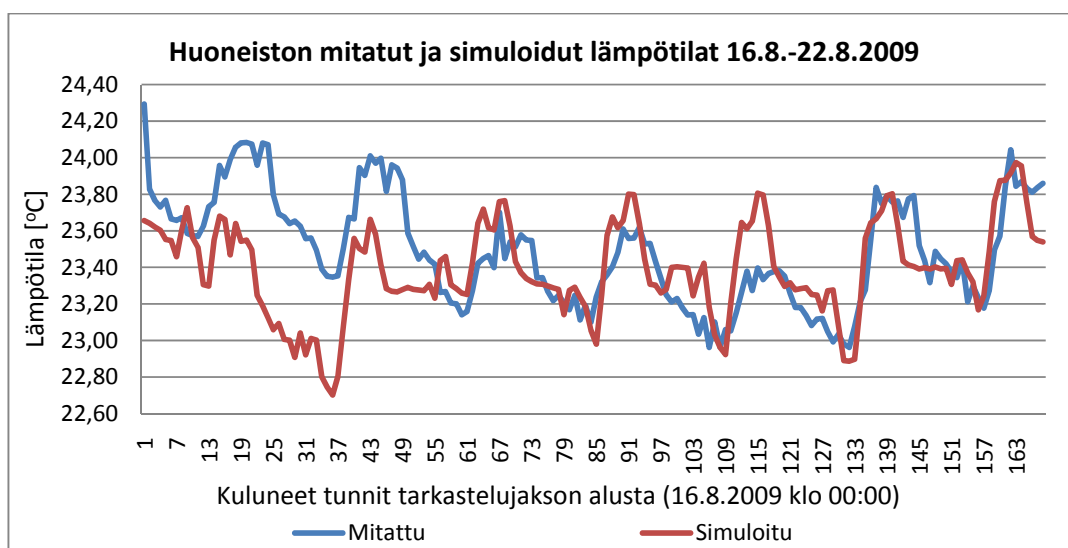
Huoneiston mitatut ja simuloitujen lämpötilat vastasivat tarkastelujakson aikana keskimäärin 0,03 °C:n tarkkuudella toisiaan. Suurimmat poikkeamat mitattujen ja simuloitujen lämpötilojen välillä oli elokuussa ja pienimmät poikkeamat joulukuussa. Kesäkuukausina mittauksiin toi epävarmuutta asunnon epäsäännöllinen tuulettaminen ja tavallisesta poikkeava asunnon käyttö. Talvella taas epävarmuutta loi laskentaohjelman ideaalinen toiminta, joka ei välttämättä vastaa olohuoneen termostaattien toimintaa tarkasti. Monista epävarmuustekijöistä huolimatta saatu 0,28 °C:n laskentatarkkuus elokuussa ja 0,07 °C:n laskentatarkkuus joulukuussa on käytettävissä olleisiin resursseihin nähden todella hyviä arvoja.

Taulukko 7.5. Huoneiston mitatut ja simuloitut keskilämpötilat mittausjakson aikana.

| | Huoneiston sisälämpötilat [°C] | | Lämpötilaero mitatun ja simuloitun lämpötilan välillä [°C] |
|--------------------------|--------------------------------|-----------|--|
| | Mitattu | Simuloitu | |
| Koko mittausjakso | 23,3 | 23,3 | -0,03 |
| Joulukuu | 22,9 | 23,0 | 0,07 |
| Lokakuu | 22,8 | 23,1 | 0,22 |
| Elokuu | 24,1 | 23,8 | -0,28 |

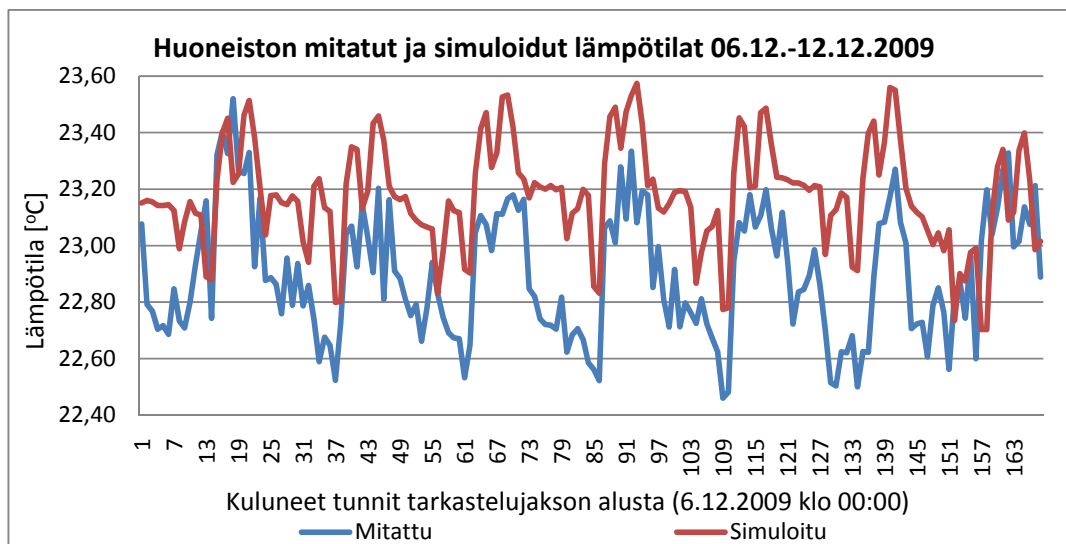
+ = Simuloitu lämpimämpi ja - = mitattu lämpimämpi

Kuvassa 7.5 on esitetty 16.8.2009 - 22.8.2009 mitatut ja simuloitut sisälämpötilat. Pääsääntöisesti huoneistosta mitatut lämpötilat vastasivat elokuussa hyvin simuloituja lämpötiloja. Lämpötilojen keskipoikkeama oli kesäaikana 0,3 °C:tta ja suurin lämpötilaero 1,1 °C:tta.



Kuva 7.5. Huoneiston mitatut ja simuloitut lämpötilat aikavälillä 16.8.2009-22.8.2009.

Joulukuun lämpötiloissa oli enemmän hajontaa (kuva 7.6). Mitatut lämpötilat olivat 21,9 °C:n ja 24,2 °C:n välillä ja simuloitut lämpötilat välillä 21,3 °C:n ja 23,6 °C:n välillä. Suurin lämpötilaero mitattujen ja simuloitujen lämpötilojen välillä oli 2,1°C:tta ja keskipoikkeama 0,07°C:tta. Hajonnasta huolimatta simuloitut lämpötilat vastasivat mitattuja lämpötiloja Joulukuussa 0,07 °C:n tarkkuudella.



Kuva 7.6. Huoneiston mitatut ja simuloitua lämpötilat aikavälillä 6.12.2009 - 12.12.2009.

7.1.4. Parvekelasituksella saavutettu energiansäästö

Simuloitujen ja mitattujen lämpötilojen vertailu osoittaa, että IDA-ICE ohjelma soveltuu hyvin parvekelasituksien energiataloudellisten tarkastelujen tekemiseen. Ohjelman laskentatarkkuus riippuu syötettyjen lähtötietojen oikeellisuudesta. Tässä tutkimuksessa tavoiteltiin alle 0,5 °C:n laskentatarkkuutta, mutta tarkempaankin tulokseen on mahdollista päästä selvittämällä sisäiset kuormat ja asukkaiden käyttötottumukset tarkemmin. Tässä tutkimuksessa laskentatarkkuutta ei olisi voitu enää merkittävästi parantaa, koska puustoa ei ohjelmalla voi tällä hetkellä tarkemmin mallintaa ja Tampereen säteilytietoja jälkikäteen hankkia. Sisälämpötilojen osalta hajonta olisi pienentynyt hieman asukkaiden toimintaan tarkemmin perehtymällä. Toisaalta 0,03 °C:n laskentatarkkuus sisälämpötiloissa on niin hyvä, ettei jatkotoimenpiteisiin ollut tarvetta ryhtyä.

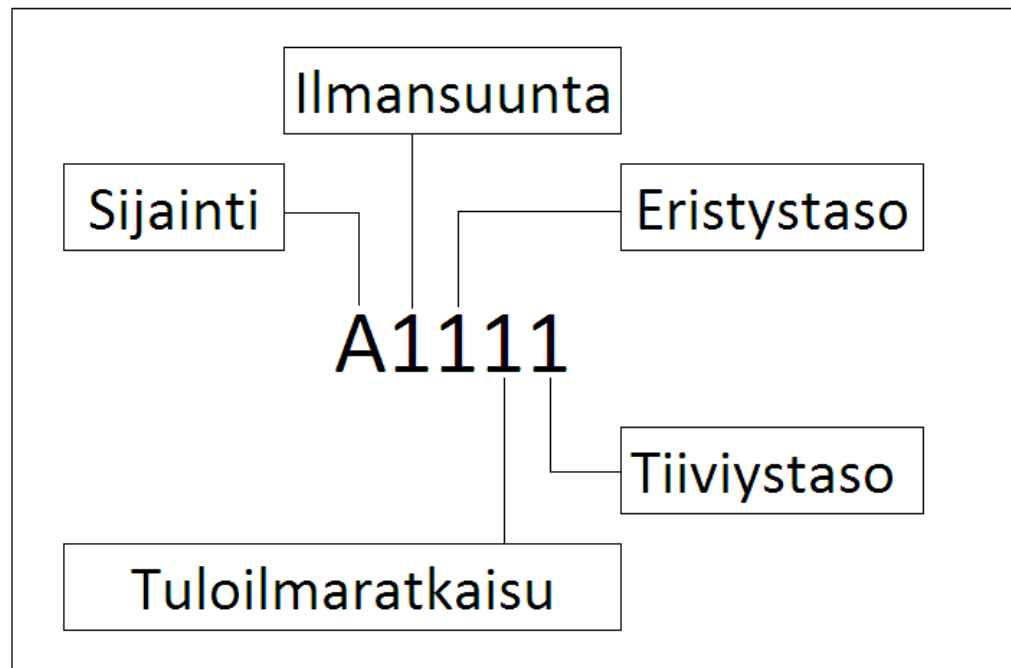
Lämpötilojen verifiointin jälkeen tulostettiin laskentaohjelmasta lasitetulla ja lasittamattomalla parvekkeella varustettujen huoneiden lämmitysenergian kulutukset. Lasitetulla parvekkeella varustettujen huoneiston lämmitysenergiankulutus vuoden 2009 säätiedoilla oli laskennallisesti 5473 kWh ja lasittamattomalla parvekkeella varustettujen huoneiston lämmitysenergiankulutus 5741 kWh. Energiansäästö marras-, joului- ja tammikuussa oli 3,0-3,3 %, lokakuussa 4,2 % ja helmi-, maalisi- ja huhtikuussa 3,7-6,0 %. Vuositasolla energiansäästö oli 4,7 %. Koska huoneiston rakenteet ja käyttö oli saatu mallinnettua luotettavasti mitattuja ja simuloituja lämpötiloja vertailemalla, ajateltiin myös toteutuneen lämmitysenergian säästön olleen huoneistossa suuruusluokaltaan 4,7 % vuonna 2009. Tarkastelujen perusteella parvekelasituksista oli enemmän hyötyä keväällä kuin syksyllä.

7.2. Variointien tulokset

7.2.1. Yleistä

Tässä luvussa käsitellään parvekelasitusten energiataloudellisia vaikutuksia tapauskohtaisesti. Rakennuksen sijainnin, suuntauksen ja lämmöneristystason sekä parveketyypin vaikutusta parvekelasituksilla saavutettavaan energiansäästöön on arvioitu laskennallisesti IDA-ICE ohjelmalla. Lisäksi on arvioitu korvausilmaventtiilien sijoituksen vaikutusta parvekelasituksilla saavutettavaan energiansäästöön.

Taulukoissa ja kuvaajissa on eri variointitapauksista käytetty viidestä merkistä koostuvaa lyhennettä, jotka koostuvat yhdestä kirjaimesta ja neljästä numerosta kuvassa 7.7 esitetyn periaatteen mukaisesti.



Kuva 7.7. Variointitapauksesta kertovan lyhenteen muodostusperiaate.

Taulukossa 7.6 on esitetty selitykset lyhenteessä olevien kirjainten ja numeroiden sisällölle.

Taulukko 7.6. Selitykset lyhenteessä olevien kirjainten ja numeroiden sisällölle.

| Muuttuja | Tunnus | Laskentatapaukset |
|-------------------------|--------------|---|
| Sijainti | A | Helsinki |
| | B | Jyväskylä |
| | C | Sodankylä |
| | D | Berliini |
| Ilmansuunta | 1 | Pohjoinen |
| | 2 | Etelä |
| | 3 | Itä |
| | 4 | Länsi |
| Eristystaso | 1 | Vuoden 1974 eristystaso |
| | 2 | Vuoden 2010 eristystaso |
| Tuloilmaratkaisu | 1 | Tuloilma parvekkeelta |
| | 2 | Tuloilma parvekkeen ulkopuolelta |
| Tiiviystaso | 1 | Tavallinen |
| | 2 | Heikko |
| Esimerkki | C2122 | Sodankylässä sijaitseva, etelään suunnattu, vuoden 2010 eristystasolla oleva parveke, jonka tuloilma otetaan parvekkeen ulkopuolelta. Parvekkeen tiiviys on heikko. |

7.2.2. Laskennallinen energiansäästö tapauskohtaisesti

Variointeissa tarkasteltiin 80 m² suuruista asuinhuoneistoa, jonka ominaisuuksia muutettiin laskenta- eli variointitapauksesta (taulukko 5.7) riippuen. Laskenta suoritettiin vaiheittain muuttamalla yhtä lähtöarvoa kerrallaan ja suorittamalla laskenta aina uudelleen. Tietokoneella kului aikaa yhden laskennan suorittamiseen yksi tunti, jolloin 256 variointitapauksen laskemiseen kului 256 tuntia eli 32 työpäivää. Laskentatulokset antoivat kattavan kuvan parvekelasitusten energiataloudellisista vaikutuksista 80 m² suuruudessa kerrostalohuoneistossa.

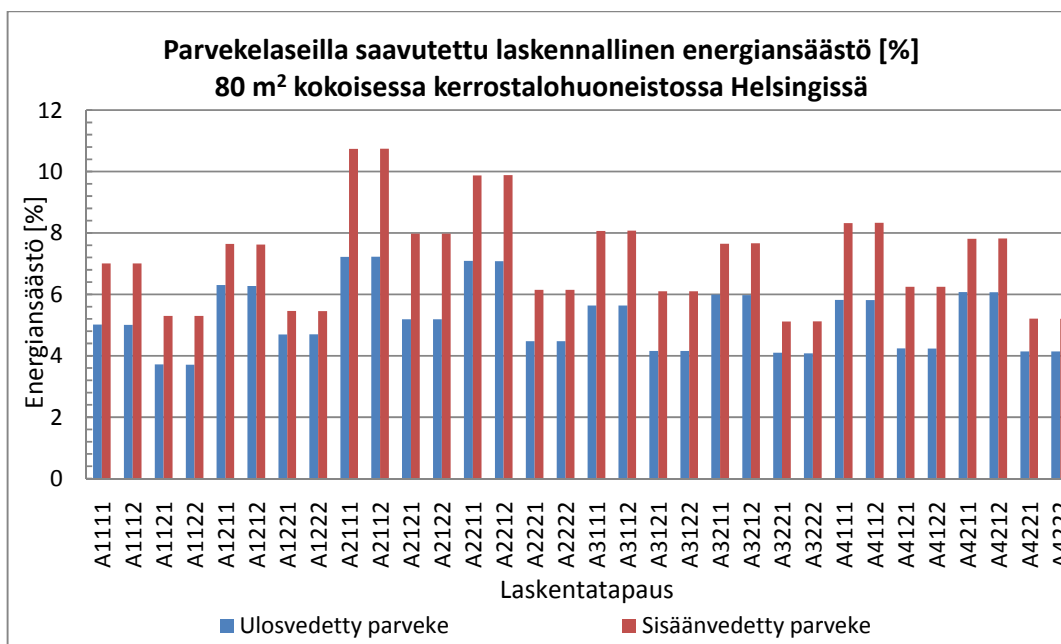
Parvekelaseilla saavutettu lämmitysenergian säästö vaihteli koko aineistossa 3,4 %:n ja 12,0 %:n välillä ja Suomen olosuhteissa 3,4 %:n ja 10,7 %:n välillä laskentatapauksesta riippuen. Eniten parvekelaseista oli Suomessa hyötyä Helsingissä sijaitsevilla 1970-luvun rakennuksissa, joiden parvekkeet oli suunnattu etelään ja tuloilma otettiin parvekkeen kautta. Vastaavasti parvekelasituksista oli vähiten hyötyä Sodankylässä sijaitsevilla nykymääräysten (2010) mukaisissa rakennuksissa, joiden parvekkeet oli suunnattu itään ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta. Keskimääräinen energiansäästö 80 m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa oli Suomen olosuhteissa 5,9 %

ja koko tarkasteluaineistossa 6,4 %. Taulukossa 7.7 on esitetty laskentatapausten suurimmat ja pienimmät energiansäästöt.

Taulukko 7.7. Laskentatapausten suurimmat ja pienimmät energiansäästöt. Selitykset laskentatapausten lyhenteille on taulukossa 7.6.

| | Säästetty energia [%] | Laskentatapausten tunnus |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| Max(kaikki) | 12,0 | D2112 |
| Max(Suomi) | 10,7 | A2112 |
| Min(kaikki) | 3,4 | C3221 |
| Min(Suomi) | 3,4 | C3221 |

Energiansäästöissä oli huomattavaa vaihtelua tapauksesta riippuen. Esimerkiksi Helsingissä parvekelaseilla saavutettu lämmitysenergian säästö vaihteli 3,7 %:n ja 10,7 %:n välillä. Keskimääräinen energiansäästö oli 6,2 %. Kuvassa 7.8 on esitetty parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset 80 m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa tapauskohtaisesti Helsingin olosuhteissa. Kuvaajassa eri laskentatapausten on kuvattu lyhenteillä, joiden tarkempi sisältö selviää taulukosta 7.6.



Kuva 7.8. Lasitetulla parvekkeella saavutettu energiansäästö [%] laskennallisesti 80 m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa Helsingissä. Selitykset laskentatapausten lyhenteille on taulukossa 7.6.

Laskentatapausta vertailtiin laskemalla keskimääräinen energiansäästö jokaiselle laskentatapaustalle erikseen ja kirjaamalla tulokset taulukkoon 7.8. Keskimääräiset energiansäästöt eri kaupungeissa laskettiin suoraan kyseisissä kaupungeissa sijaitsevien laskentatapausten keskiarvona. Vastaavalla tavalla määritettiin myös energiansäästöjen keskiarvot eri ilmansuuntiin, eri eristystason omaaville rakennuksille ja

parveketyypeille sekä tiiviystasolle ja tuloilmaratkaisulle. Tärkeimmäksi energiansäästöön vaikuttamaksi tekijäksi osoittautui tuloilman sisään ottaminen parvekkeelta. Myös parveketyypillä ja rakennuksen suuntauksella oli merkittävä vaikutus saavutettuihin energiansäästöihin. Sen sijaan rakennuksen sijainnilla, eristystasolla ja parvekkeen tiiveydellä ei ollut Suomen olosuhteissa niin suurta merkitystä energiansäästöön.

Taulukko 7.8. Keskimääräiset energiansäästöt eri laskentatapauksissa Suomen olosuhteissa.

| Muuttuja | Tunnus | Laskentatapaukset | Säästetty energia [%] |
|-------------------------|--------|----------------------------------|-----------------------|
| Sijainti | A | Helsinki | 6,2 |
| | B | Jyväskylä | 6,0 |
| | C | Sodankylä | 5,5 |
| | D | Berliini | 8,2 |
| Ilmansuunta | 1 | Pohjoinen | 5,5 |
| | 2 | Etelä | 6,7 |
| | 3 | Itä | 5,7 |
| | 4 | Länsi | 5,7 |
| Eristystaso | 1 | Vuoden 1974 eristystaso | 6,3 |
| | 2 | Vuoden 2010 eristystaso | 5,6 |
| Tuloilmaratkaisu | 1 | Tuloilma parvekkeelta | 6,8 |
| | 2 | Tuloilma parvekkeen ulkopuolelta | 4,9 |
| Tiiviystaso | 1 | Tavallinen | 5,9 |
| | 2 | Heikko | 5,9 |
| Parveketyyppi | 1 | Ulkoneva parveke | 5,0 |
| | 2 | Sisäänvedetty parveke | 6,8 |

Tuloilmaratkaisu

Tuloilman sisään ottaminen lasitetulta parvekkeelta paransi parvekelasituksilla saavutettavaa energiansäästöä 24...38 % verrattaessa lasitettuihin parvekkeisiin, joiden tuloilma otettiin lasitetun parvekkeen ulkopuolelta. Lämmitysenergian säästö lasitetulta parvekkeelta tuloilmansa saavissa huoneistoissa oli 6,8 % ja tuloilman lasitetun parvekkeen ulkopuolelta saavissa huoneistoissa 4,9 %. Suurin vaikutus tuloilmaratkaisulla oli etelään suunnatuissa parvekkeissa ja pienin itään suunnatuissa parvekkeissa. Etelään suunnattu lasitettu parveke on itään suunnattua parvekettä lämpimämpi erityisesti kevään ja syksyn aurinkoisina päivinä. Tällöin myös parvekkeen kautta sisään otettava ilma on lämpimämpää. Etelään suunnatun lasitetun parvekkeen tuloilmaa ei silloin tarvitse lämmittää niin paljon kuin itään suunnatun parvekkeen tuloilmaa, jolloin energiaa säästyy.

Parveketyyppi

Sisäänvedetty parveke osoittautui energiataloudellisessa mielessä huomattavasti paremmaksi parvekeratkaisuksi kuin ulkoneva parveke. Parveketyypin etuna on suhteellisen suuri ulkoseinäpinta-ala lasitettavaan pinta-alaan nähden. Useassa tapauksessa arvioitiin, että sisäänvedetyn parvekkeen saama lämpöhäviöenergia oli kaksinkertainen verrattuna vastaavaan ulkonevaan parvekkeeseen. Talvikuukausina, jolloin auringon energiaa ei juuri ollut saatavilla, pysyttelivät sisäänvedetyn parvekkeen lämpötilat selvästi korkeampina kuin ulkonevan parvekkeen suurempien lämpöhäviöiden takia. Tämän vuoksi sisäänvedetyn parvekkeen lasittaminen on kannattavampaa kuin ulkonevan parvekkeen.

Sisäänvedetty parveke lisäsi parvekelasituksilla saavutettavaa energiansäästöä 14...35 % ulkonevaan parvekkeeseen verrattuna. Energiansäästö ulkonevilla lasitetuilla parvekkeilla oli 5,0 % ja sisäänvedettyjen lasitettujen parvekkeiden 6,8 %. Suurin vaikutus parveketyypillä oli heikosti eristetyissä rakennuksissa, joiden tuloilma otettiin sisään etelään suunnatulta lasitetulta parvekkeelta ja pienin vaikutus hyvin eristetyissä rakennuksissa, joiden lasitetut parvekkeet oli suunnattu pohjoiseen ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta. Parveketyypin merkitys oli suurempi Helsingissä kuin Sodankylässä. Tällä perusteella suositeltavinta energiataloudellisessa mielessä olisi lasittaa Helsingissä sijaitsevat 1960- ja 1970- luvun kerrostalot, joiden parvekkeet ovat ns. sisäänvedettyjä.

Parvekkeen suuntaus

Auringon säteilyenergian saamiseksi parvekkeet tulisi sijoittaa ensisijaisesti eteläsektorille. Pienet ± 15 asteen poikkeamat etelästä eivät kirjallisuusselvityksen perusteella juuri heikennä auringon säteilyn vaikutusta, mutta sitä suuremmilla poikkeamilla alkaa vaikutukset jo näkymään. Suoraan länteen ja itään suunnatut lasitetut parvekkeet eivät talvikaudella juuri hyödy auringon säteilyenergiasta, vaan niiden energiansäästö perustuu ensisijaisesti rakennusten lämpöhäviöiden talteen ottamiseen.

Ilmansuuntien vaikutus lasitetuilla parvekkeilla saavutettaviin energiansäästöihin vaihteli -15...35 %:n välillä verrattaessa pohjoiseen suunnattua parveketta muihin ilmansuuntiin. Pohjoiseen suunnattujen lasitettujen parvekkeiden keskimääräinen energiansäästö oli 5,5 % ja etelään suunnattujen lasitettujen parvekkeiden energiansäästö 6,7 %. Itä ja länsi olivat ilmansuuntina vain hieman pohjoista energiaa säästävempiä. Näiden ilmansuuntien keskimääräinen energiansäästö oli 5,7 %

Pääsääntöisesti pohjoinen oli ilmansuunnista epäedullisin, mutta laskelmista löytyi myös tapauksia, jossa epäedullisin ilmansuunta oli itä. Tämä selittää -15 % heikennyksen energiansäästöön yksittäistapauksissa. Suurin vaikutus ilmansuunnilla oli heikosti eristetyissä rakennuksissa, joiden tuloilma otettiin sisään etelään suunnatulta

lasitetulta parvekkeelta ja pienin vaikutus hyvin eristetyissä rakennuksissa, joiden lasitetut parvekkeet oli suunnattu pohjoiseen ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta. Laskelmat osoittavat, että ilmastolähtöisen suunnittelun merkitys rakennuksen energiankulutukseen pienenee lämmöneristystason kasvaessa.

Eristystaso

Rakennuksen lämmöneristävyuden vaikutusta parvekelasituksilla saavutettavaan energiansäästöön tarkasteltiin kahden eri eristystason omaavan rakennuksen avulla. Ensimmäinen rakennus oli vuodelta 1974 ja toinen vuodelta 2010. Kilowattitunneissa mitattuna parvekkeiden lasittamisesta oli selvästi enemmän hyötyä vanhemmassa rakennuskannassa kuin uudemmassa, mutta erot pienenevät tarkasteltaessa energiansäästöä prosentuaalisesti alkuperäiseen kulutukseen nähden.

Eristystason vaikutus lasitetuilla parvekkeilla saavutettaviin energiansäästöihin vaihteli -27...23 %:n välillä verrattaessa hyvin eristettyjen huoneistojen energiansäästöjä heikosti eristettyjen huoneiston energiansäästöihin. Vuoden 1974 eristystason omaavan huoneiston keskimääräinen energiansäästö oli 6,3 % ja vuoden 2010 eristystason huoneiston 5,6 %. Suurimmassa osassa tapauksista lasitettujen parvekkeiden energiansäästö oli myös prosentuaalisesti vanhoissa rakennuksissa suurempi kuin uusissa rakennuksissa. Ainoastaan pohjoiseen suunnatuissa ulkonevissa lasitetuissa parvekkeissa, joiden tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta, prosentuaalinen energiansäästö oli suurempi paremmin eristetyssä rakennuksessa kuin heikosti eristetyssä rakennuksessa. Suurin vaikutus eristystasolla oli etelään suunnatuissa sisäänvedetyissä parvekkeissa, joiden tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta.

Sijainti

Sijainnin vaikutus lasitetuilla parvekkeilla saavutettaviin energiansäästöihin vaihteli -4...22 %:n välillä verrattaessa Sodankylää muihin tarkasteltaviin paikkakuntiin. Suurimmassa osassa tapauksista parvekelaseilla saavutettu energiansäästö kasvoi pohjoisesta etelään siirryttäessä, mutta muutamissa yksittäistapauksissa energiansäästö pieneni. Näissä tapauksissa rakennuksessa oli heikko eristystaso ja ne oli suunnattu itään. Talvikautena heikosti auringon säteilyenergiaa saavat itään ja pohjoiseen suunnatut lasitetut parvekkeet lämpenivät rakennuksen lämpöhäviöiden takia enemmän kylmässä Sodankylässä kuin leudomman ilmaston Etelä-Suomessa. Näissä tapauksissa pohjoiseen ja itään suunnatut parvekkeet on kannattavampaa lasittaa Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa.

Keskimääräinen energiansäästö Helsingissä oli 6,2 %, Jyväskylässä 6,0 % ja Sodankylässä 5,5 %. Sodankylässä parvekelasituksien energiataloudelliset vaikutukset olivat hieman pienemmät kuin Helsingissä ja Jyväskylässä, mutta eivät merkittävästi. Ilmeisesti rakennuksesta saatava suurempi lämpöhäviöenergia Pohjois-Suomessa kompensoi hyvin menetettyä säteilyenergiaa auringosta. Eniten sijainnista hyötyivät

hyvän eristystason omaavat huoneistot Helsingissä, joiden tuloilma otettiin etelään suunnatun lasitetun parvekkeen kautta ja vähiten heikon eristystason omaavat huoneistot Jyväskylässä, joiden tuloilma otettiin itään suunnatun lasitetun parvekkeen kautta.

Tiiviystaso

Lasitetut parvekkeet ovat suhteellisen epätiivitä rakenteita luonnostaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin normaalina tiiviystasona 5 lasisen suoran parvekelasituksen tiiviystasoa. Epätiiviskohtia muodostettiin lasiväleihin sekä yläprofiilin ja katon väliin Lumon Oy:n asennusohjeissa esitettyjen ohjeellisten käynti- ja säätövälien mukaisesti. Heikko tiiviystaso muodostettiin tuplaamalla normaalit asennus- ja säätöväli. Laskelmien mukaan suhteellisen epätiivien rakenteen vuotoilma-alan lisääminen ei vaikuta juurikaan parvekelasituksilla saavutettavaan energiansäästöön. Erot tavanomaisen ja heikon tiiviystason lasitettujen parvekkeiden energiansäästöissä olivat 0,01 %. Molempien tapausten keskimääräinen energiansäästö oli 5,9 %, joka oli myös kaikkien Suomen laskentatapausten keskiarvo.

8. PARVEKELASIT SAKSAN ILMASTO- OLOSUHTEISSA

Pohjoisen lauhkeaan ilmastovyöhykkeeseen kuuluvassa Saksassa kerrostalorakentaminen poikkeaa tuotantotavoiltaan huomattavasti suomalaisesta rakentamisesta. Asuinkerrostalot ovat yleensä paikalla rakennettuja ja yksilöllisesti toteutettuja. Ainoat ns. tyyppitalot löytyvät Saksan uusien osavaltioiden alueelta, jossa toisen maailmansodan jälkeisinä vuosikymmeninä tuotettiin valtava määrä samannäköisiä ja -kokoisia elementtikerrostaloja. Yksi näistä tyyppitaloista on WBS70-järjestelmää kuuluva elementtikerrostalo, jota esiintyy huomattavan paljon mm. Berliinissä sijaitsevalla Marzahn asuinalueella. Tässä luvussa käsitellään lyhyesti Saksan ilmasto-olosuhteita, perehdytään hieman saksalaiseen elementtirakentamiseen ja arvioidaan parvekelasitusten energiataloudellisia vaikutuksia Berliinissä sijaitsevassa WBS70- tyyppin elementtikerrostalossa.

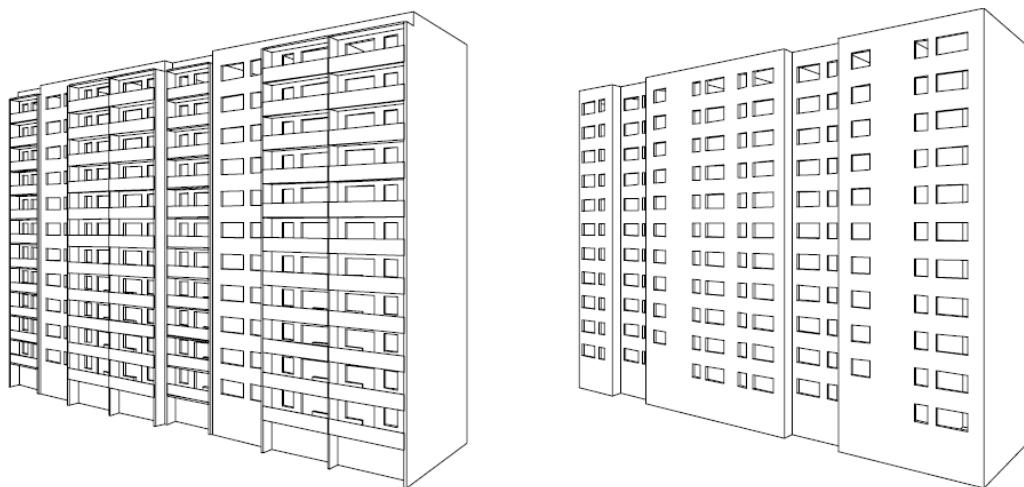
8.1. Saksan ilmasto-olosuhteet

Saksa sijaitsee ilmastollisesti pohjoisen lauhkean vyöhykkeen alueella. Siellä voidaan havaita melko selvästi neljä eri vuodenaikaa, kuten meillä Suomessakin. Itä- ja Pohjanmeri pienentävät Saksan pohjoisosissa vuodenaikojen välisiä lämpötilaeroja, jolloin kesällä rannikolla on hiukan viileämpää ja talvella lämpimämpää kuin sisämaassa. Keskilämpötila kylmimpään vuodenaikaan, tammikuussa on rannikolla -0,5-1,5 °C:tta ja sisämaassa alle -6 °C:tta. Vuoden lämpimimpänä kuukautena, heinäkuussa on rannikolla 17-20 °C:tta ja sisämaassa jonkin verran yli 20 °C:tta. Atlantilla Norjan rannikon tuntumassa kulkeva Golf-virta vaikuttaa myös hiukan Saksan lämpötiloihin. [34.]

Säät Saksassa ovat hyvin vaihtelevia. Vuotuiset sademäärät ovat Pohjois-Saksassa 500-700 mm, Etelä-Saksassa 700-1500 mm ja Alpeilla jopa yli 2000 mm vuodessa. Niihin vaikuttavat Pohjois-Atlantilla syntyvät syklonit eli liikkuvat matalapaineet, jotka syntyvät kun etelän lämpimät ja pohjoisen kylmät ilmamassat kohtaavat polaaririntamassa. Syklonit liikkuvat Atlantilta koilliseen siten, että kesällä ne liikkuvat Pohjois- ja Keski-Euroopan yli ja talvella Etelä-Euroopan yli. Tästä syystä tuulet vaihtelevat sen mukaan missä matalapaine sijaitsee. Matalapaineen pohjoispuolella tuulet ovat koillistuulia ja eteläpuolella lounais- ja länsituulia. [34.]

8.2. Tarkasteltava elementtikerrostalo

Saksan uusien osalatioiden alueella on noin 3 000 000 toisen maailmansodan jälkeen rakennettua asuntoa. Näistä 33 % on suurissa yli 2500 huoneiston asuinkortteleissa. 1970-luvulta lähtien nämä asuinkorttelit on rakennettu DDR:n rakennusakatemian (Bauakademie der DDR – Institut für Wohnungs- und Gesellschaftsbau) kehittämällä elementtijärjestelmillä. Yksi Saksan suurimmista elementtirakenteisista betonilähiöistä on Berliinissä sijaitseva Marzahn asuinalue, joka koostuu 62 000 vuosien 1975 ja 1991 välisenä aikana rakennetusta huoneistosta. Näistä 71 % on rakennettiin käyttämällä WBS70- elementtijärjestelmää ja loput muilla elementtijärjestelmillä. Rakennukset ovat pääasiassa 5-, 6- tai 11- kerroksisia. [35.]



Kuva 8.1. WBS70-elementtijärjestelmän mukaisen asuinkerrostalon julkisivukuvat [35].

WSB70- elementtijärjestelmässä on pääasiassa kahden tyyppisiä rakennuksia; 450m pitkä puolikaaren muotoinen rakennus ja 100 m pitkä suorakaiteen muotoinen rakennus. Järjestelmän kerroskorkeus on 2,65 m. Välipohjat ovat esijännitetyjä betonilaattaelementtejä, joiden dimensiot ovat 3,6 x 6 m². Betonisandwich-ulkoseinäelementtien rakenne on sama sekä pitkittäisillä seinillä että päädyssä (betoniulkokuori 60 mm + mineraalivillaaeriste 60 mm tai solupolystyreenieriste 50 mm + betonisäkuori 140 tai 150 mm). Eristeenä on käytetty sekä mineraalivillaa että solupolystyreeniä. [36; 37.]



Kuva 8.2. WBS70-elementtijärjestelmän mukaisen asuinkerrostalon tyypillinen pohjaratkaisu [35].

Elementtijärjestelmän parvekkeet ovat omille perustuksilleen rakennettuja ulkonevia parveketorneja, jotka muistuttavat kokonsa ja näkönsä puolesta hyvin paljon Suomalaisia 1970-luvun elementtiparvekkeita. Parvekkeen pituus on 1,5 m, leveys 3,6 m ja korkeus 2,8 m. Parvekkeen taustaseinässä on tyypillisesti yksi ikkuna ja ovi. Alkuperäisten ikkunoiden ja ovien lasiosan U-arvo on ollut luokkaa 2,7 - 2,8 W/m²K. [36] Laskelmissa koko ikkunan U-arvon ajateltiin olevan samaa suuruusluokkaa kuin Suomessa vastaavan aikakauden kerrostaloissa (U-arvo ~3,0 W/m²K).

Saksassa on voimassa standardit EnEv (Energie Einsparverordnung) 2009 ja EnEv 2007, jotka velvoittavat rakentajia parantamaan vanhojen kerrostalojen energiatehokkuutta modernisoinnin yhteydessä. EnEv 2007 standardin mukaan modernisoidun rakennuksen U-arvot perusparannuksen jälkeen tulee olla laskennallisesti ulkoseinissä 0,35 W/m²K ja ikkunoissa 1,7 W/m²K (lasiosan U-arvo). EnEv 2009 standardin mukaiset arvot ovat vastaavasti ulkoseinissä 0,35 W/m²K ja ikkunoissa 0,24 W/m²K. Laskelmissa koko ikkunan U-arvoksi valittiin 1,5 W/m²K ja lisäeristystasoksi 100mm. Tällä eristemäärällä uusi seinärakenne täyttää EnEv 2009 standardin mukaiset vaatimukset.

8.3. Energiasimuloinnit ja niiden tulokset

Variointeissa tarkasteltiin samaa 80 m² kokoista asuinhuoneistoa kuin Suomen ilmastossa tehdyissä tarkasteluissa. Huoneiston koko päätettiin pitää samana kahdesta syystä. Ensimmäisenä syynä oli laskelmissa käytetyn suomalaisen 1970-luvun kerrostalohuoneiston ja WBS70-järjestelmän kerrostalojen samankaltaisuus. Toissijaisena syynä oli laskentatyöhön käytettävissä olleiden resurssien rajallisuus. Laskennan pohjana ollut 62 m² kokoinen kerrostalohuoneisto ja tarkasteltava WBS70-järjestelmän 60 m² kokoinen kerrostalohuoneisto olivat molemmat keskellä taloa olevia läpitalon huoneistoja. Ne vastasivat samalla tarkkuudella laskentamallissa olevaa yksinkertaistettua huoneistoa, jonka pinta-ala oli 80m². Tästä johtuen Saksaa ja Suomea koskevat tiedot ovat keskenään vertailukelpoisia, vaikka eivät vastaa suoraan 1:1 mitään

olemassa olevaa kerrostaloa pinta-alojensa puolesta. Ikkunoiden, ovien ja seinien U- arvot sekä lämmitysjärjestelmän mitoitus ja ilmanvaihtomäärät vastaavat 1974 ja 2010 rakennuksissa aikakausiensa tyypillisiä arvoja.

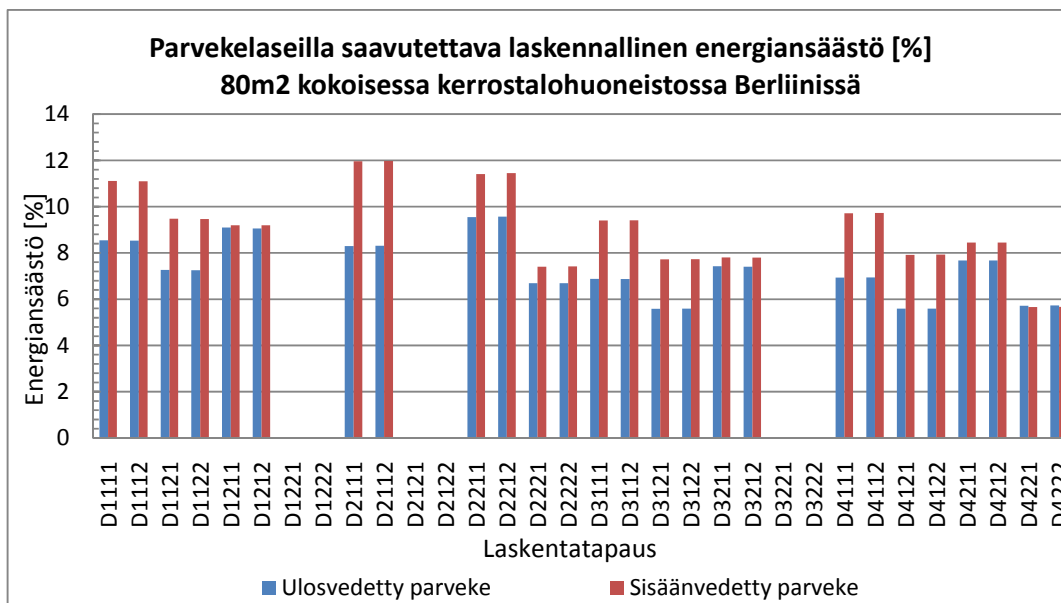
Saksan osalta laskenta suoritettiin vaiheittain muuttamalla yhtä lähtöarvoa kerrallaan ja suorittamalla laskenta aina uudelleen. Tietokoneella kului aikaa yhden laskennan suorittamiseen yksi tunti, jolloin 64 variointitapauksen laskemiseen kului 64 tuntia eli 8 työpäivää. Laskennassa olleiden ongelmien takia 8 variointitapausta jäi käsittelemättä. Suurimmaksi osaksi eri laskentamuuttujien vertaileminen antaa riittävän luotettavan kuvan todellisesta käyttäytymisestä. Ainoastaan parvekkeen suuntauksen vaikutuksien arviointi kaipaisi hieman lisälaskentaa. Tätä ei kuitenkaan tehty käytettävissä olevien laskentaresurssien puutteen vuoksi.

Parvekelaseilla saavutettu lämmitysenergian säästö vaihteli Berliinissä 5,6...12,0 %:n välillä laskentatapauksesta riippuen. Eniten parvekelaseista oli hyötyä alkuperäisessä kunnossa olevassa WBS- järjestelmän mukaisessa rakennuksessa, jonka parvekkeet oli suunnattu etelään ja tuloilma otettiin parvekkeen kautta. Vastaavasti energiaa säästyi vähiten vuonna 2010 modernisoidussa elementtikerrostalossa, jonka lasitetut parvekkeet oli suunnattu länteen ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta. Keskimääräinen energiansäästö 80 m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa oli 8,2 % eli selvästi enemmän kuin Suomen olosuhteissa (5,9 %). Taulukossa 8.1 on esitetty laskentatapausten suurimmat ja pienimmät energiansäästöt.

Taulukko 8.1. Laskentatapausten suurimmat ja pienimmät energiansäästöt.

| | Säästetty energia [%] | Laskentatapausten tunnus |
|------------|-----------------------|--------------------------|
| Max | 12 | D2112 |
| Min | 5,6 | D4121 |

Mielenkiintoinen havainto Berliinin laskentatuloksissa oli, että pohjoiseen suunnattujen lasitetujen parvekkeiden energiansäästö oli samaa suuruusluokkaa kuin etelään suunnattujen parvekkeiden kuten kuvasta 8.3 käy ilmi. Toinen mielenkiintoinen havainto oli, ettei etelään suunnatun lasitetun parvekkeen energiansäästö parantunut merkittävästi Helsingin olosuhteisiin nähden. Suurin saavutettu energiansäästö Helsingin olosuhteissa oli 10,7 % ja Berliinissä 12 %.



Kuva 8.3. Lasitetulla parvekkeella saavutettu energiansäästö [%] laskennallisesti 80m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa Berliinissä. Kahdeksan variointitapausta jätettiin käsittelemättä laskennassa olleiden ongelmien vuoksi.

Tärkeimmäksi energiansäästöön vaikuttavaksi tekijäksi osoittautui tuloilman sisään ottaminen parvekkeelta. Myös rakennuksen suuntauksella ja parveketyypillä oli merkittävä vaikutus saavutettuihin energiansäästöihin. Sen sijaan rakennuksen eristystasolla ja parvekkeen tiiviydellä ei ollut niin suurta merkitystä energiansäästöön. Taulukossa 8.2 on laskentatapauksien keskimääräiset energiansäästöt Saksan olosuhteissa.

Taulukko 8.2. Keskimääräiset energiansäästöt eri laskentatapauksissa Saksan olosuhteissa.

| Muuttuja | Tunnus | Laskentatapaukset | Säästetty energia [%] |
|-------------------------|--------|---|-----------------------|
| Sijainti | D | Berliini | 8,2 |
| Ilmansuunta | 1 | Pohjoinen | 9,1 |
| | 2 | Etelä | 9,2 |
| | 3 | Itä | 7,5 |
| | 4 | Länsi | 7,2 |
| Eristystaso | 1 | Alkuperäinen WBS70- tyyppin kerrostalo(vuodelta 1974) | 8,3 |
| | 2 | Vuonna 2010 modernisoitu WBS70- tyyppin kerrostalo | 8,0 |
| Tuloilmaratkaisu | 1 | Tuloilma parvekkeelta | 9,0 |
| | 2 | Tuloilma parvekkeen ulkopuolelta | 6,9 |
| Tiiviystaso | 1 | Tavallinen | 8,2 |
| | 2 | Heikko | 8,2 |
| Parveketyyppi | 1 | Ulkoneva parveke | 7,3 |
| | 2 | Sisäänvedetty parveke | 9,0 |

Tuloilmaratkaisu

Tuloilman sisään ottaminen lasitetulta parvekkeelta osoittautui kaikista merkittävimmäksi energiansäästöön vaikuttavaksi tekijäksi. Lämmitysenergian säästö huoneistoissa, joiden tuloilma otettiin lasitetulta parvekkeelta, oli keskimäärin 9,0 % ja 6,9 % huoneistoissa, joiden tuloilma otettiin lasitetun parvekkeen ulkopuolelta. Erityisesti etelään suunnattujen parvekkeiden tuloilma tulisi ottaa lasitetun parvekkeen kautta. Hyvin aurinkoa saava lasitettu parveke lämpenee auringon säteilyn vaikutuksesta erityisesti keväällä ja syksyllä. Tällöin myös parvekkeen kautta sisään otettava ilma on lämpimämpää ja sitä tarvitsee lämmittää vähemmän sisään otettaessa kuin suoraan ulkoa otettua ilmaa, jolloin energiaa säästy.

Parvekkeen suuntaus

Toinen merkittävä asia energiataloudellisessa mielessä oli lasitetun parvekkeen suuntaus ilmansuuntiin nähden. Paras ilmansuunta auringon säteilyenergian saamiseksi on etelä. Itään ja erityisesti länteen suunnatut lasitetut parvekkeet ovat miellyttäviä oleskelupaikkoja lämpiminä kesäiltoina, mutta talvikautena niille lankeaa hyvin vähän auringon säteilyä. Pohjoiseen suunnatulle lasitetulle parvekkeelle ei aurinko paista suoraan mihinkään vuodenaikaan, mutta se toimii talvella hyvänä puskurivyöhykkeenä pohjoisten kylmiä tuulia vastaan. Pohjoiseen suunnattujen lasitettujen parvekkeiden keskimääräinen energiansäästö oli Berliinissä 9,1 % ja etelään suunnattujen lasitettujen parvekkeiden energiansäästö 9,2 %. Vastaavasti itään suunnattujen lasitettujen parvekkeiden keskimääräinen energiansäästö oli 7,5 % ja länteen suunnattujen parvekkeiden 7,2 %. Laskennassa olleet puutteet 8 laskentatapauksen kohdalla nostavat hieman pohjoiseen suunnattujen lasitettujen parvekkeiden energiansäästöä ja laskevat etelään suunnattujen lasitettujen parvekkeiden energiansäästöä. Nämä ilmansuunnat kaipaisivat hieman lisälaskentaa, jota ei laskentaa käytettävissä olleitten resurssien puitteissa alettu tekemään.

Parveketyyppi

Kolmas merkittävä asia energiataloudellisessa mielessä on parveketyyppi. Sisäänvedetty parveke osoittautui energiataloudellisessa mielessä huomattavasti paremmaksi parvekeratkaisuksi kuin ulkoneva parveke. Parveketyypin etuna on suhteellisen suuri ulkoseinäpinta-ala lasitettavaan pinta-alaan nähden. Useassa tapauksessa arvioitiin, että sisäänvedetyn parvekkeen saama lämpöhäviöenergia oli kaksinkertainen verrattuna vastaavaan ulkonevaan parvekkeeseen nähden. Sisäänvedettyjen parvekkeiden keskimääräinen energiansäästö Berliinissä oli 9,0 % ja ulkonevien parvekkeiden 7,3 %. Suurin vaikutus parveketyypillä oli heikosti eristetyissä rakennuksissa, joiden tuloilma otettiin sisään etelään suunnatulta lasitetulta parvekkeelta ja pienin vaikutus hyvin eristetyissä rakennuksissa, joiden lasitetut parvekkeet oli suunnattu pohjoiseen ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta.

Eristystaso

Rakennuksen lämmöneristävyyden vaikutusta parvekelasituksilla saavutettavaan energiansäästöön tarkasteltiin kahden eristystason omaavan rakennuksen avulla. Ensimmäinen rakennus oli vuodelta 1974 ja toinen vuodelta 2010. Kilowattitunneissa mitattuna parvekkeiden lasittamisesta oli selvästi enemmän hyötyä vanhemmassa rakennuskannassa kuin uudemmassa, mutta erot pienenevät tarkasteltaessa energiansäästöä prosentuaalisesti alkuperäiseen kulutukseen nähden. Vuoden 1974 eristystason omaavan huoneiston keskimääräinen energiansäästö oli 8,3 % ja vuoden 2010 eristystason huoneiston 8,0 %. Suurin vaikutus eristystasolla oli etelään suunnatuissa sisäänvedetyissä parvekkeissa, joiden tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta.

Tiivistaso

Lasitetut parvekkeet ovat suhteellisen epätiivitä rakenteita luonnostaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin normaalina tiivistasona 5 lasisen suoran parvekelasituksen tiivistasoa. Epätiiviskohtia muodostettiin lasiväleihin sekä yläprofiilin ja katon väliin Lumon Oy:n asennusohjeissa esitettyjen ohjeellisten käynti- ja säätövälien mukaisesti. Heikko tiivistaso muodostettiin tuplaamalla normaalit asennus- ja säätöväli. Laskelmien mukaan suhteellisen epätiivin rakenteen vuotoilma-alan lisääminen ei vaikuta juurikaan parvekelasituksilla saavutettavaan energiansäästöön. Erot tavanomaisen ja heikon tiivistason lasitettujen parvekkeiden energiansäästöissä olivat merkityksettömät. Molempien tapausten keskimääräinen energiansäästö oli 8,2 %, joka oli myös kaikkien Berliinin laskentatapausten keskiarvo.

9. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1. Yleistä

Parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset -tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lasitettujen parvekkeiden energiataloudellisia vaikutuksia kenttätutkimusten ja tietokonesimulointien avulla. Kenttätutkimuksissa oli mukana 11 asuinkerrostaloa Tampereen alueelta. Vanhin rakennuksista oli vuodelta 1966 ja uusin vuodelta 2006. Pääasiassa rakennukset edustivat 1970-luvun elementtirakentamista.

Kenttämittausten avulla selvitettiin yhdestä kohteesta yksityiskohtaisesti parvekelasituksen pintalämpötilat sekä parvekeseinän, -oven ja -ikkunan pintalämpötilat lasitetulta ja lasittamattomalta parvekkeelta. Lisäksi seurattiin 18 lasitetun ja 5 lasittamattoman parvekkeen sekä niitä vastaavien huoneistojen ilman lämpötiloja ja suhteellista kosteutta pienten paristokäyttöisten dataloggerien avulla. Seurannan tarkoitus oli kerätä tietoa parveketyypin, ilmansuunnan, korkeusaseman sekä parvekeseinän, -oven ja -ikkunan ominaisuuksien vaikutuksesta lasitettujen parvekkeiden lämpötiloihin. Kenttätutkimukset suoritettiin 1.7.2009 – 31.5.2010 välisenä aikana. Kenttätutkimus kesti noin 10 kuukautta.

Laskennalliset tarkastelut tehtiin ensisijaisesti IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) 4.0 –ohjelmistolla. Laskennalliset tarkastelut sisälsivät laskentamallin verifiointin ja energiataloudellisten vaikutusten tapauskohtaisen arvioinnin varioimalla. Verifiointilla osoitettiin vuonna 1979 valmistuneen 1+6-kerroksisen asuinkerrostalon kenttämittausta- ja simulointituloksia vertailemalla IDA-ICE -ohjelman laskentatarkkuuden riittävän laskennallisiin tarkasteluihin ja varioinnilla arvioitiin parveketyypin (sisäänvedetty vs. ulkoneva parveke), ilmansuunnan ja seinän lämmöneristävyuden sekä rakennuksen sijainnin ja parvekkeen tiiviyyden vaikutusta parvekelasitusten energiatalouteen. Lisäksi selvitettiin kuinka paljon lasitetun parvekkeen energiataloudellisia vaikutuksia voidaan parantaa ottamalla rakennuksen tuloilma esilämmitettynä lasitetulta parvekkeelta.

9.2. Kirjallisuuskatsaus

Lämmitysenergiankulutus rakennuksissa jakautuu ilmanvaihdon, johtumishäviöiden ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Lämpimän käyttöveden osuus asuinkerrostalon lämmönkulutuksesta on noin 25 %, ilmanvaihdon osuus noin 35 % ja

johtumishäviöiden osuus noin 40 %. Johtumishäviöt jakautuvat edelleen julkisivun, yläpohjan ja alapohjan kesken.

Parvekkeet ovat osa rakennuksen julkisivua. Ne rajaavat julkisivusta alueen, joka peittää alleen osan seinärakenteesta, ikkunoista ja ovista. Parvekkeiden määrä rakennuksessa vaihtelee rakennuksen iän, tyylin ja käyttötarkoituksen mukaan. Suurin osa kerrostaloasunnoista on varustettu parvekkeella. Yleisin parveketyyppi on ulkoneva pieliseiniin tuettu betoniparveke.

Rakennuksen lämpöhäviöiden ja auringon säteilyn vaikutuksesta lasitetun parvekkeen lämpötilat kohoavat ulkolämpötilaa korkeammiksi. Lämpötilaero ulkoilmaan nähden on sitä suurempi mitä enemmän rakennuksen lämpöhäviöt ja auringon säteily lämmittävät parveketta. Parvekkeen lämpöhäviöiden suuruuteen vaikuttavat parveketyyppi, parvekerakenteiden lämmöneristävyys ja tiiviys. Auringon säteilyenergia vaihtelee sijainnin, vuoden- ja vuorokaudenajan sekä pilvisyyden mukaan. Aurinkoenergian optimaalisen hyödyntämisen edellytyksenä on, että parvekkeet on suunnattu alueelle, joka kattaa ± 15 % etelä-suunnasta ja eteläsektori (noin 90 astetta) on vapaa parveketta varjostavista rakennuksista, puista ja muista esteistä. Tällöin auringonsäteilyä saadaan myös talven aikana, kun päivät ovat lyhyet.

Parvekelasituksilla on suurempi vaikutus sisäänvedetyillä parvekkeilla varustetuissa 1960- luvun kerrostaloissa kuin ulosvedetyillä parvekkeilla varustetuissa uudemmissa rakennuksissa. Tämä johtuu mm. seuraavista tekijöistä:

- Sisäänvedetyt parvekkeet peittävät suuremman osan rakennuksen ulkoseinää kuin ulosvedetyt parvekkeet, jolloin parvekelasituksien lämpöhäviöitä pienentävä vaikutus on niissä suurempi.
- 1960- luvun sisäänvedetyillä parvekkeilla varustettujen rakennusten eristystaso on heikompi kuin uudempien rakennusten, joissa on ulosvedetyt parvekkeet.
- Ulosvedetyt parvekkeet mahdollistavat parvekelasituksien asentamisen useammalle sivulle, jolloin suhteellisen epätiivin lasituksen pinta-ala kasvaa ja ilmavuodot lisääntyvät.

Parvekelasituksien ja parvekkeen käyttäjät voivat omalla toiminnallaan vähentää tai täysin poistaa parvekelasituksilla saavutettavan energiansäästön. Käyttöohjeilla, opastuksella ja tiedottamalla voidaan vaikuttaa käyttäjien toimintaan ja lisätä näin lasitetujen parvekkeiden energiataloudellista käyttöä. Oikeanlaisen käytön yleistymisen kannalta olisi tärkeää, että parvekelasituksien käyttöohjeisiin lisättäisiin ohjeet energiataloudellisesta käytöstä.

9.3. Kenttätutkimukset

Parvekkeiden lämpötilat

Kenttätutkimusten perusteella lasittamattomien parvekkeiden lämpötilat olivat keskimäärin 1,7 °C:tta ja lasitettujen parvekkeiden lämpötilat 4,7 °C:tta ulkolämpötiloja korkeampia. Lämpötilaero lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välillä oli syksyllä 2,6 °C:tta, keväällä 3,6 °C:tta ja keskimäärin 3,1 °C:tta. Yhden asteen lämpötilaero syksyn ja kevään lämpötilaeroissa johtui auringon säteilystä, jonka merkitys lämpötiloihin oli suurempi keväällä 2010 kuin syksyllä 2009.

Lämpötilaerot parvekkeiden ja ulkoilman välillä vaihtelivat vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Pakkasen kiristyessä lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä kasvoi ja ilman lämmitessä pieneni. Suurin lämpötilaero lasitetun parvekkeen ja ulkoilman välillä oli 13,9 °C:tta. Tämä johtui nopeasta ulkolämpötilan muutoksesta, johon lasitetun parveke ”reagoi” vähän viiveellä.

Tarkasteltaessa lasitettujen parvekkeiden lämpötiloja havaittiin, että joukossa oli parvekkeita, joiden lämpötilat nousivat yli 20 °C:n ensimmäisen kerran maaliskuun alkupuolella ja viimeisen kerran lokakuun puolivälissä. Keskimäärin lasitettujen parvekkeiden lämpötilat nousivat yli 20 °C:n huhtikuun puolesta välistä syyskuun puoliväliin ja lasittamattomien parvekkeiden lämpötilat toukokuun puolivälistä syyskuun puoliväliin. Tällä perusteella arvioituna lasitettujen parvekkeiden käyttöaika vuodessa oli keskimäärin vähän yli kuukauden ja parhaassa tapauksessa yli 2,5 kuukautta pitempi kuin lasittamattomien parvekkeiden käyttöaika.

Huoneistojen lämpötilat

Lasittamattomilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen keskilämpötilat vaihtelivat välillä 22,3...27,4 °C:tta ja lasitetuilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen keskilämpötilat välillä 22,1...26,7 °C:tta. Keskimäärin lasitetuilla parvekkeilla varustetut huoneistot olivat 0,5 °C:tta viileämpiä kuin lasittamattomilla parvekkeilla varustetut huoneistot. Pienimmillään lämpötilaero oli lämmityskauden ulkopuolella heinä- ja elokuussa sekä suurimmillaan maaliskuussa. Keskimääräinen lämpötilaero lasitetuilla ja lasittamattomilla parvekkeilla varustettujen huoneistojen välillä oli syksyllä 0,4 °C:tta ja keväällä 0,6 °C:tta. Lämpötilaero huoneistojen välillä kasvoi lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen välisen lämpötilaeron kasvaessa ja pieneni lämpötilaeron pienentyessä. Tällä perusteella voidaan sanoa, että parvekelasitukset sekä pienentävät huoneiston lämpöhäviöitä että tarjoavat mahdollisuuden 0,5-1,0 °C:n sisälämpötilan laskuun lämpövihtyvyyttä alentamatta parvekkeelle yhteydessä olevassa huoneessa. Energiaa säästyy sekä lämpöhäviöiden pienentyessä että sisälämpötilan putoamisen yhteydessä.

Parvekeikkunan, -oven ja taustaseinän pintalämpötilat

Parvekeikkunan, -oven ja taustaseinän ulkopinnan pintalämpötilat olivat lasitetulla parvekkeella korkeammat kuin lasittamattomalla parvekkeella koko mittausjakson ajan. Ikkunan ulkopinnan pintalämpötilat olivat keskimäärin 2,5 °C:tta, oven ulkopinnan pintalämpötila 2,0 °C:tta ja seinän ulkopinnan pintalämpötila 1,4 °C:tta lasittamattoman parvekkeen pintalämpötiloja suuremmat. Lämpötilaero parvekkeiden välillä oli selvästi suurempi lämmityskaudella kuin kesäaikana. Ikkunan ulkopintojen lämpötilaero oli talvikaudella 2,8 °C:tta ja kesäkaudella 1,7 °C:tta, oven ulkopintojen lämpötilaero talvikaudella 2,4 °C:tta ja kesäkaudella 1,3 °C:tta ja seinän ulkopintojen lämpötilaero talvella 1,6 °C:tta ja kesällä 1,0 °C:tta. Mittausten perusteella parvekelasitus tasasi parvekeikkunan, -oven ja taustaseinän lämpötilanvaihteluita ja lämpötilaeroja rakenteiden ylä- ja alareunan välillä.

Sisäpinnan pintalämpötilat olivat parvekelasittomassa huoneistossa korkeampia kuin parvekelasitetussa huoneistossa. Pintalämpötiloihin vaikuttivat merkittävästi patterien lämpötilat, jotka olivat parvekelasittomassa huoneistossa selvästi korkeampia lämmityskaudella kuin parvekelasitetussa huoneistossa. Ikkunan sisäpinnan pintalämpötilat parvekelasittomassa huoneistossa olivat keskimäärin 1,0 °C:tta, oven sisäpinnan pintalämpötilat 0,4 °C:tta ja seinän pintalämpötilat 2,0 °C:tta korkeammat kuin parvekelasitetussa huoneistossa. Parvekelasittoman huoneiston patterin lämmittävä vaikutus näkyi erityisesti seinän ja ikkunan pintalämpötiloissa. Tämä johtui patterin sijainnista parvekkeen taustaseinällä ikkunan alapuolelle.

Kuukausitasolla tarkasteltuna rakenteiden sisäpintojen lämpötilaerot olivat pienimmillään kesäkaudella ja suurimmillaan talvikaudella. Suurimmat lämpötilaerot huoneistojen sisäpintojen pintalämpötiloissa mitattiin talvella kovien pakkasten aikaan. Samaan aikaan huoneistojen sisälämpötiloissa oli 2,1 °C:n lämpötilaero. Parvekelasituksien avulla pienentynyt lämmitystarve huoneistossa näkyy alhaisemmissa pintalämpötiloissa ja lämpöviihtyvyyden paraneminen alhaisemmassa sisälämpötilassa. Parvekelasitetussa huoneistossa ylläpidetään parvekelasittoman huoneiston kaltaista lämpöviihtyvyyttä pienemmällä sisälämpötilalla. Vaikutus korostuu erityisesti kovien pakkasten aikaan joului-, tammi- ja helmikuussa.

Rakenteiden sisä- ja ulkopintojen välisen lämpötilaeron avulla voidaan määrittää parvekeikkunan, -oven ja -seinän lämpöhäviöt parvekkeen kohdalla laskennallisesti. Lämpötilaerojen perusteella parvekelaseilla oli merkittävä vaikutus rakenteiden lämpöhäviöihin parvekkeen kohdalla. Parvekeikkunan kautta tapahtuvat lämpöhäviöt pienenevät 22 %, parvekeoven lämpöhäviöt 15 % ja parvekeseinän lämpöhäviöt 18 %. Talvikuukausina parvekeikkunan lämpöhäviöt olivat 18-19 %, parvekeoven lämpöhäviöt 10 % ja parvekeseinän lämpöhäviöt 17-18 % pienemmät parvekelasitetussa huoneistossa kuin vastaavassa parvekelasittomassa huoneistossa. Auringon säteilyn

merkityksen voi nähdä havainnollisesti parvekeikkunan kuukausittaisesta energiansäästöstä. Maaliskuussa parvekelasitetun huoneiston parvekeikkunan lämpöhäviöt olivat 23 %, huhtikuussa 25 % ja toukokuussa jo 34 % pienemmät kuin parvekelasittomassa huoneistossa.

Parvekelasituksien käyttö

Tutkimuksen aikana seurattiin parvekkeiden käyttöä havainnoimalla ulkoapäin parvekelasituksien avonaisuusaste vähintään kerran kuussa. Avonaisuusasteet olivat; parvekelasitus täysin kiinni, yksi laseista tuuletusasennossa ja yksi lasi täysin auki sekä useampi kuin yksi lasi täysin auki. Tutkimuksen aikana kävi ilmi, että parvekkeiden käyttö oli hyvin satunnaista. Parvekelasituksien avoimuusaste vaihteli erityisesti niissä huoneistoissa, joita käytettiin tupakoitiin tai vilvoitteluun. Käyttämättömät tai varastoina toimivat parvekkeet olivat samassa avonaisuusasteessa huomattavan pitkiä aikoja. Suurin osa parvekelasituksista oli kuitenkin talvikaudella täysin kiinni ja kesäaikana vähintään yksi lasi raollaan. Aktiivisesti parvekkeella oleskelevat henkilöt käyttivät pääsääntöisesti parvekettä kuten energiataloudellinen käyttö edellyttää eli parvekelasitus oli pakkasella täysin kiinni ja kesän hellepäivinä vähintään yksi lasi auki.

Parvekelasituksien käytön seuranta osoitti, että lasitettu parveke on vielä energiaa säästävä, vaikka yksi parvekelaseista olisi täysin auki. Esimerkiksi Teräskatu 2:n parvekkeiden, joista toisessa parvekelasitus oli täysin kiinni ja toisessa yksi lasi auki, keskilämpötilat tarkastelujakson aikana olivat 4,2 °C:tta ja 2,1 °C:tta eli yhden lasin aukaiseminen laski 2,1 °C:tta (50%) parvekkeen sisälämpötilaa. Vastaavasti Rientolankatu 5:ssä keskilämpötila täysin suljetulla parvekkeella oli 2,8 °C:tta ja yksi lasi auki olevalla 1,6 °C:tta.

Toisaalta tutkimus osoittaa myös sen, että yksi lasi auki olevalla parvekkeella lämpötilat ovat myös kesäaikana lasittamattoman parvekkeen lämpötiloja korkeammat. Lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen lämpötiloilla ei kuitenkaan juuri ole vaikutusta kesän sisälämpötiloihin. Enemmän sisälämpötiloihin vaikuttaa suora auringon säteily, jonka vaikutus oli suurempi parvekelasittomassa huoneistossa kuin parvekelasitetussa huoneistossa. Lasitetun parvekkeen lämpötiloihin pystytään helposti vaikuttamaan huolehtimalla parvekkeen riittävästä tuulettumisesta.

9.4. Tietokonesimuloinnit

Parvekkeelta mitattujen ja simulointiohjelmalla laskettujen lämpötilatietojen verifiointiin vertailuajankohtana käytettiin 1.8.2009 - 13.12.2009 välistä ajanjaksoa. Lasittamattoman parvekkeen mitatut ja simuloidut lämpötilat vastasivat tarkastelujakson aikana 0,14 °C:n tarkkuudella ja lasitetun parvekkeen lämpötilat 0,06 °C:n tarkkuudella toisiaan. Huoneistojen mitatuissa ja simuloiduissa lämpötiloissa oli eroa keskimäärin

0,03 °C:ttä. Suurimmat poikkeamat mitattujen ja simuloitujen lämpötilojen välillä oli elokuussa ja pienimmät poikkeamat joulukuussa. Simuloitujen ja mitattujen lämpötilojen vertailu osoittaa, että IDA-ICE ohjelma soveltuu hyvin parvekelasitusten energiataloudellisten tarkastelujen tekemiseen. Ohjelman laskentatarkkuus riippuu syötettyjen lähtötietojen oikeellisuudessa.

Parvekelaseilla saavutettu lämmitysenergian säästö 80 m² kokoisessa kerrostalohuoneistossa vaihteli Suomen olosuhteissa 3,4...10,7 %: välillä laskentatapauksesta riippuen. Eniten parvekelaseista oli hyötyä Helsingissä sijaitsevissa 1970-luvun rakennuksissa, joiden parvekkeet oli suunnattu etelään ja tuloilma otettiin parvekkeen kautta. Vastaavasti energiaa säästyi vähiten Sodankylässä sijaitsevissa nykymääräysten (2010) mukaisissa rakennuksissa, joiden lasitetut parvekkeet oli suunnattu itään ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta. Keskimääräinen energiansäästö oli Suomen olosuhteissa 5,9 %. Tärkeimmäksi energiansäästöön vaikuttamaksi tekijäksi osoittautui tuloilman sisään ottaminen parvekkeelta. Myös parveketyypillä ja rakennuksen suuntauksella oli merkittävä vaikutus saavutettuihin energiansäästöihin. Sen sijaan rakennuksen sijainnilla, eristystasolla ja parvekkeen tiiveydellä ei ollut niin suurta merkitystä energiansäästöön.

Tuloilman sisään ottaminen lasitetulta parvekkeelta paransi parvekelasituksilla saavutettavaa energiansäästöä 24...38 % verrattaessa lasitettuihin parvekkeisiin, joiden tuloilma otettiin lasitetun parvekkeen ulkopuolelta. Lämmitysenergian säästö lasitetulta parvekkeelta tuloilmansa saavissa huoneistoissa oli 6,8 % ja tuloilman lasitetun parvekkeen ulkopuolelta saavissa huoneistoissa 4,9 %. Suurin vaikutus tuloilmaratkaisulla oli etelään suunnatuissa parvekkeissa ja pienin itään suunnatuissa parvekkeissa.

Sisäänvedetty parveke osoittautui energiataloudellisessa mielessä huomattavasti paremmaksi parvekeratkaisuksi kuin ulkoneva parveke. Se lisäsi parvekelasituksilla saavutettavaa energiansäästöä 14...35 % ulkonevaan parvekkeeseen verrattuna. Energiansäästö ulkonevilla lasitetuilla parvekkeilla oli 5,0 % ja sisäänvedettyjen lasitettujen parvekkeiden 6,8 %. Suurin vaikutus parveketyypillä oli heikosti eristetyissä rakennuksissa, joiden tuloilma otettiin sisään etelään suunnatulta lasitetulta parvekkeelta ja pienin vaikutus hyvin eristetyissä rakennuksissa, joiden lasitetut parvekkeet oli suunnattu pohjoiseen ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta. Parveketyypin merkitys oli suurempi Helsingissä kuin Sodankylässä. Tällä perusteella suositeltavinta energiataloudellisessa mielessä olisi lasittaa Helsingissä sijaitsevat 1960- ja 1970-luvun kerrostalot, joiden parvekkeet ovat ns. sisäänvedettyjä.

Ilmansuuntien vaikutus lasitetuilla parvekkeilla saavutettaviin energiansäästöihin vaihteli -15...35 %:n välillä verrattaessa pohjoiseen suunnatun parvekkeen suuntaamista muihin ilmansuuntiin. Pohjoiseen suunnattujen lasitettujen parvekkeiden

keskimääräinen energiansäästö oli 5,5 % ja etelään suunnattujen lasitettujen parvekkeiden energiansäästö 6,7 %. Itä ja länsi olivat ilmansuuntina vain hieman pohjoista energiaa säästävempiä. Näiden ilmansuuntien keskimääräinen energiansäästö oli 5,7 %. Pääsääntöisesti pohjoinen oli ilmansuunnista epäedullisin, mutta laskelmista löytyi myös tapauksia, jossa epäedullisin ilmansuunta oli itä. Suurin vaikutus ilmansuunnilla oli heikosti eristetyissä rakennuksissa, joiden tuloilma otettiin sisään etelään suunnatulta lasitetulta parvekkeelta ja pienin vaikutus hyvin eristetyissä rakennuksissa, joiden lasitetut parvekkeet oli suunnattu pohjoiseen ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta.

Eristystason vaikutus lasitetuilla parvekkeilla saavutettaviin energiansäästöihin vaihteli -27...23 %:n välillä verrattaessa hyvien eristystason huoneiston energiansäästöjä heikon eristystason huoneiston energiansäästöihin. Vuoden 1974 eristystason omaavan huoneiston keskimääräinen lämmitysenergian säästö oli 6,3 % ja vuoden 2010 eristystason huoneiston 5,6 %. Suurimmassa osassa tapauksista lasitettujen parvekkeiden energiansäästö oli vanhoissa rakennuksissa suurempi kuin uusissa rakennuksissa. Ainoastaan pohjoiseen suunnatuissa ulkonevissa parvekkeissa, joiden tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta, energiansäästö oli suurempi paremmin eristetyssä rakennuksessa kuin heikosti eristetyssä rakennuksessa. Suurin vaikutus eristystasolla oli etelään suunnatuissa sisäänvedetyissä parvekkeissa, joiden tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta.

Sijainnin vaikutus lasitetuilla parvekkeilla saavutettaviin energiansäästöihin vaihteli -4...22 %:n välillä verrattaessa Sodankylää muihin tarkasteltaviin paikkakuntiin. Keskimääräinen energiansäästö Helsingissä oli 6,2 %, Jyväskylässä 6,0 % ja Sodankylässä 5,5 %. Eniten eteläisestä sijainnista hyötyivät hyvän eristystason omaavat huoneistot Helsingissä, joiden tuloilma otettiin etelään suunnatun lasitetun parvekkeen kautta ja vähiten heikon eristystason omaavat huoneistot Jyväskylässä, joiden tuloilma otettiin itään suunnatun lasitetun parvekkeen kautta.

Lasitetut parvekkeet ovat suhteellisen epätiivitä rakenteita luonnostaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin normaalina tiiviystasona 5 lasisen suoran parvekelasituksen tiiviystasoa. Epätiiviskohtia muodostettiin lasiväleihin sekä yläprofiilin ja katon väliin Lumon Oy:n asennusohjeissa esitettyjen ohjeellisten käynti- ja säätövälien mukaisesti. Heikko tiiviystaso muodostettiin tuplaamalla normaalit asennus- ja säätövälit. Laskelmien mukaan suhteellisen epätiivin rakenteen vuotoilma-alan lisääminen ei vaikuta juurikaan parvekelasituksilla saavutettavaan energiansäästöön. Erot tavanomaisen ja heikon tiiviystason lasitettujen parvekkeiden energiansäästöissä olivat 0,01 %. Molempien tapauksien keskimääräinen energiansäästö oli 5,9 %, joka oli myös kaikkien Suomen laskentatapausten keskiarvo.

- [17] Erat B. & Törnwall M. Aurinkoenergian hyödyntäminen rivitaloissa. Helsinki 1983. Asuinhallitus, tutkimus- ja suunnitteluosasto. 173 s.
- [18] Erat B., Erkkilä V., Löfgren T., Nyman C., Peltonen S. & Suokivi H. Aurinko-
opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Helsinki 2001. Aurinkoteknillinen yhdistys
ry. 219 s.
- [19] Seppänen O. & Seppänen M. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä 1997. Sisäilmayhdistys ry. 219 s.
- [20] Erat B. & Björkholtz. Luonnonmukainen talo. Helsinki 1982. Rakentajain
Kustannus Oy. 177 s.
- [21] Erat B., Niemi M., & Tani J.. Energia- ja asumisyöväällinen kerrostalo, osa 2. Helsinki 1980. Asuntohallitus, tutkimus- ja suunnitteluosasto, tutkimuksia ja selvityksiä 1982:1. 95 s.
- [22] Erat B. & Woolston G. Viherhuonekirja. Helsinki 1983. Rakentajan kustannus
oy. 208 s.
- [23] Seppänen O. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä 2001. Suomen LVI-liitto ry. 443
s.
- [24] Saarni, R. Ikkunoiden energiatalous. Lisensiaatintyö. Tampere 1996. Tampereen
teknillinen korkeakoulu, rakentamistalous. 55 s.
- [25] Bolkalders V. & Block M. Bygg ekology 4, Att anpassa till platsen. Stocholm
1997. Ab Svenskt tryck. 181 s.
- [26] Erat B. & Woolston G. Viherhuonekirja. Helsinki 1983. Rakentajan kustannus
oy. 208 s.
- [27] Bolkalders V. & Block M. Bygg ekology 2, Att hushålla med resurser. Stocholm
1997. Ab Svenskt tryck. 197 s.
- [28] Kiinteistöjen energiatalous, energiansäästöohjeita isännöitsijöille,
kiinteistöhoitajille, talonmiehille, kunnossapitäjille ja rakennusten käyttäjille.
Lahti 1980. Kaupunkiliitto, julkaisu C 32. 117 s.
- [29] Taivalanti, K. Julkisivurakenteiden peruserantamisen vaikutukset
energiankulutukseen. Diplomityö. Tampere 1997. Tampereen teknillinen
korkeakoulu. rakentamistalous. 121 s.
- [30] Mäkinen, H. Energiatohakas ikkuna- ja julkisivukorjaus. Suomen Talokeskus
Helsinki 2009. [WWW.] [Viitattu 24.8.2010]. Saatavissa:
<http://www.teeparannus.fi/attachements/2009-04-22T10-49-599785.pdf>
- [31] Erkiö, E & Melajärvi, A. Parvekelasitusten energiataloudelliset ja
kaupunkikuvalliset näkymät. Tampere 1994. Lasirakentaja 3: 23-27 s.
- [32] Lahdensivu J. Betonirakenteiden vaurioiden tunnistaminen: Beko –
betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjausstrategiat. Tampere 2007. Tampereen
teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos. 81 s.
- [33] Ekman A. & Heikkinen L. Energiataloudellisia pientaloja. Helsinki 1981.
Rakentajain Kustannus Oy. Helsinki 1981. 120 s.
- [34] Joutsan lukio. Saksa. [WWW]. [Viitattu 22.06.2010]. Saatavissa:
<http://www.joutsa.fi/lukio/saksa/saksa.htm>

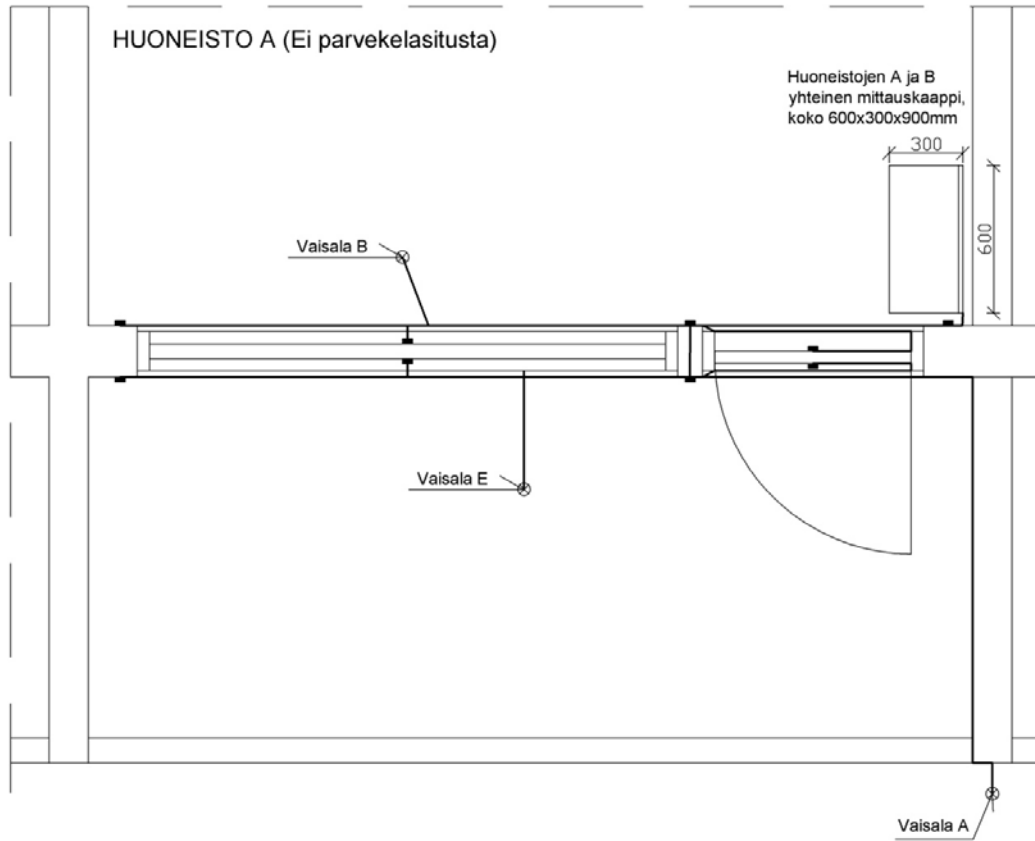
- [35] Quist W.J. A Future for WBS 70 - The Franz-Stenzer Building Block as a Case Study. Delft 2007. Delft University of Technology. [WWW] [Viitattu 31.07.2010]. Saatavissa: http://www.costc16.org/downloads/STRUCTURES/Boek_03_deel_05.pdf
- [36] Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise. WBS 70, wohnungsbauserie 70 6,3t. Bonn 1997. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. 190 s.
- [37] Asam, Claus. Recycling prefabricated building components for future generations. Berlin 2006. IEMB info 1/2006. [WWW.] [Viitattu 1.1.2009]. Saatavissa: <http://www.iemb.de/veroeffentlichungen/infoblätter/01-2006.pdf>

LIITTEET

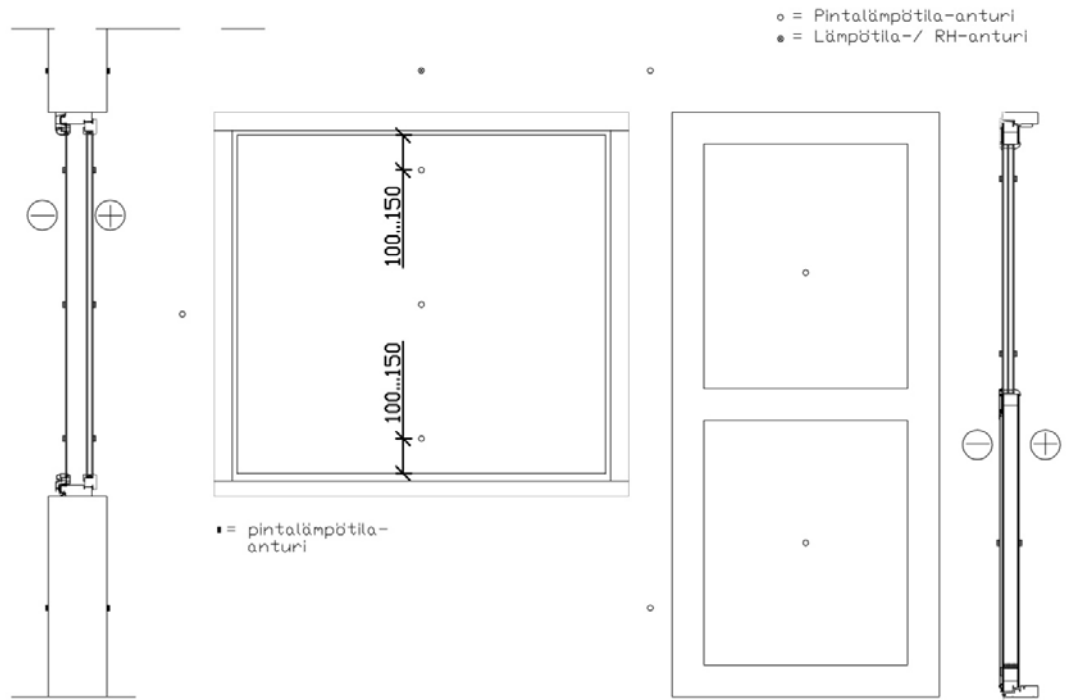
- LIITE 1 Kytöntäsuunnitelmat
- LIITE 2 Anturitunnuksia vastaavat kirjaintunnukset

KYTKENTÄSUUNNITELMA

- = Pintalämpötila-anturi
- ⊗ = Lämpötila-/ RH-anturi

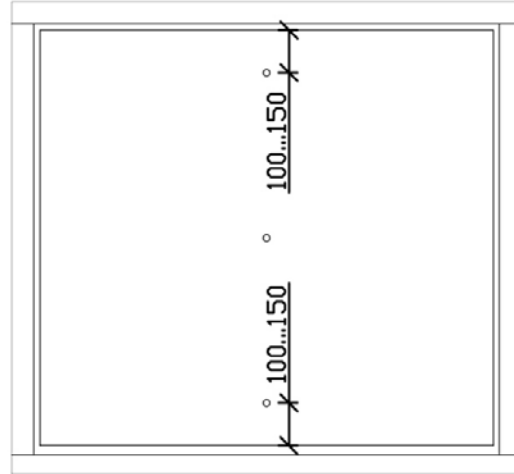
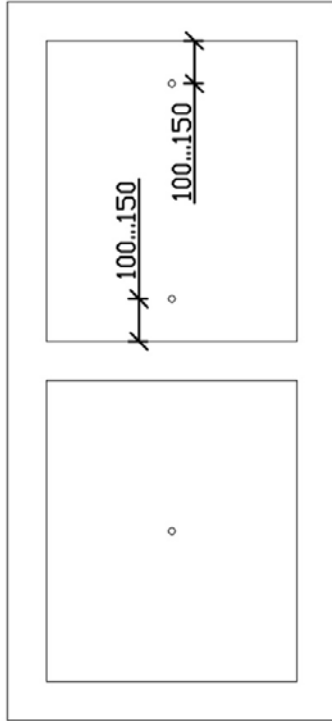


HUONEISTO A
 PARVEKEIKKUNA JA -OVI (Parvekkeelta katsottuna)



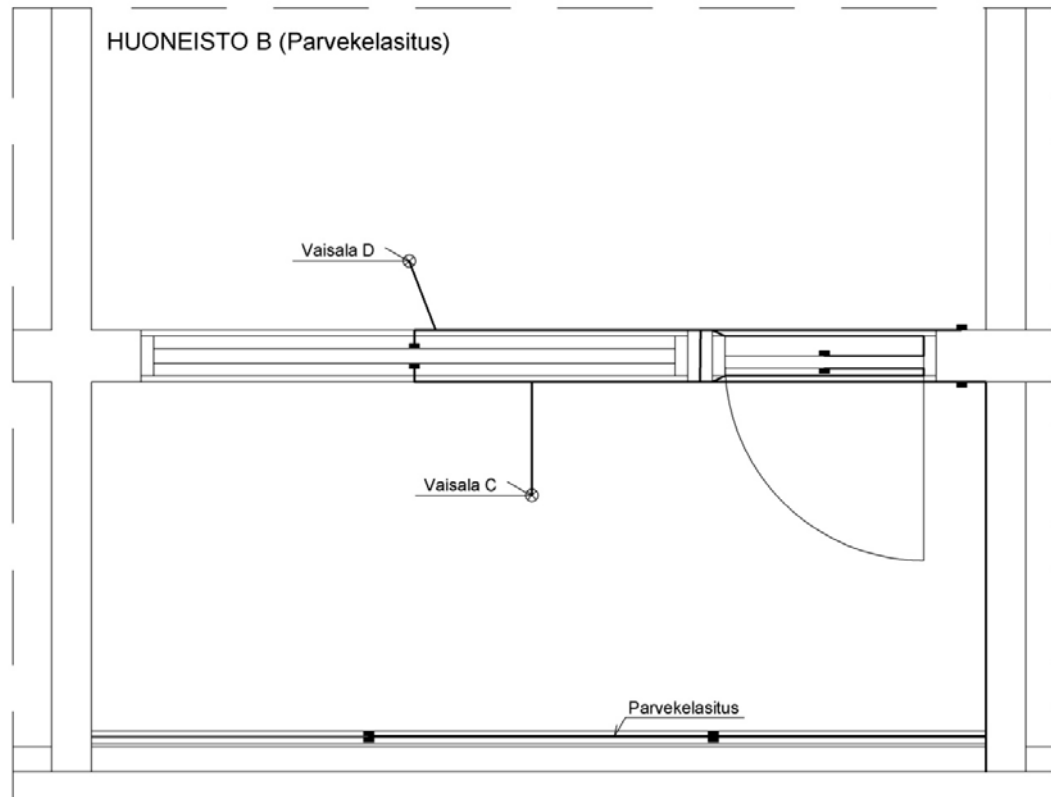
HUONEISTO A
 PARVEKEIKKUNA JA -OVI (Sisältä katsottuna)

- = Pintalämpötila-anturi
- = Lämpötila- / RH-anturi

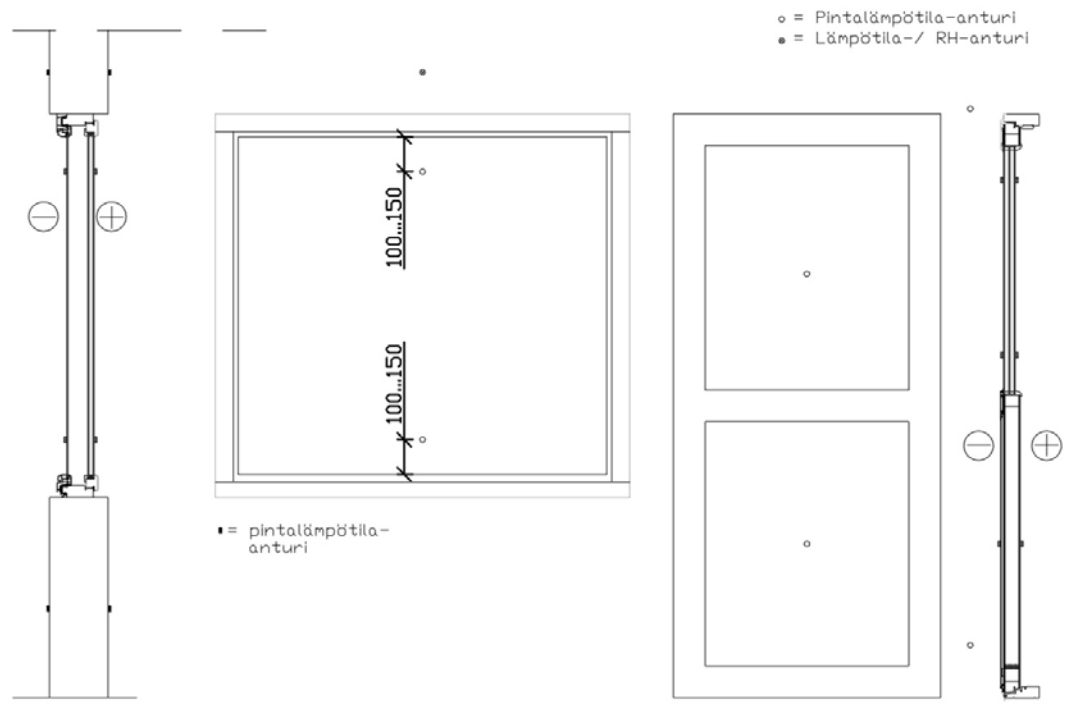


KYTKENTÄSUUNNITELMA

- = Pintalämpötila-anturi
⊗ = Lämpötila-/ RH-anturi



HUONEISTO B
 PARVEKEIKKUNA JA -OVI (Parvekkeelta katsottuna)

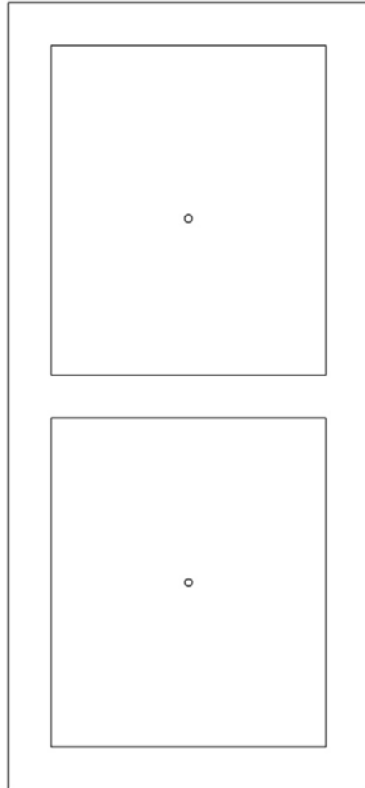


HUONEISTO B

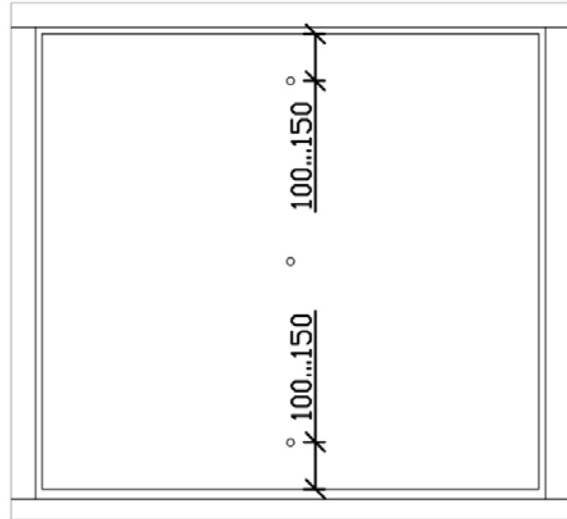
PARVEKEIKKUNA JA -OVI (Sisältä katsottuna)

- = Pintalämpötila-anturi
- = Lämpötila- / RH-anturi

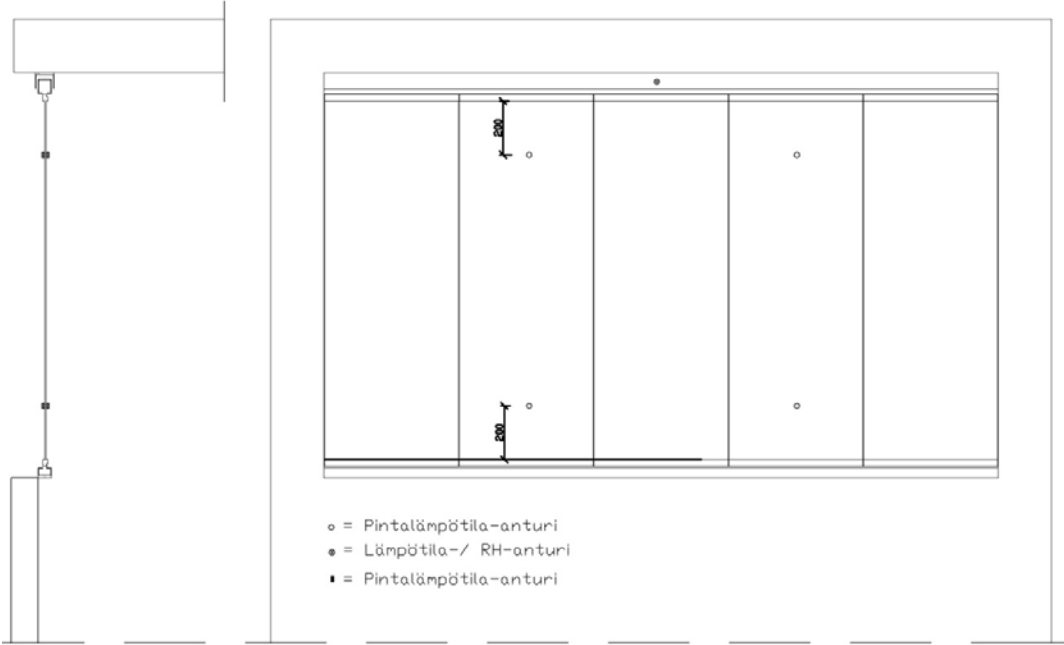
○



●



HUONEISTO B
PARVEKELASITUS



Anturitunnuksia vastaavat kirjaintunnukset.

| | Anturitunnus | Kirjaintunnus |
|----|---------------------|----------------------|
| 1 | Vaisala A | "KUUSEN ALLA" |
| 2 | Vaisala D | BHK(Vaisala D) |
| 3 | Vaisala C | BPK(Vaisala C) |
| 4 | Vaisala B | AHK(Vaisala B) |
| 5 | Vaisala E | APK(Vaisala E) |
| 6 | T393 | BHI(iy) |
| 7 | T392 | BPO(oa) |
| 8 | T391 | BHS(sa) |
| 9 | T390 | BHO(oa) |
| 10 | T389 | BHO(oy) |
| 11 | T388 | BPI(iy) |
| 12 | T387 | BHI(ia) |
| 13 | T386 | BPI(ia) |
| 14 | T385 | BPO(oy) |
| 15 | T384 | BHS(sy) |
| 16 | T425 | APO(oa) |
| 17 | T404 | API(ia) |
| 18 | T405 | API(ik) |
| 19 | T406 | API(iy) |
| 20 | T407 | APS(sa) |
| 21 | T408 | APS(sk) |
| 22 | T409 | APS(sy) |
| 23 | T410 | AHI(ia) |
| 24 | T411 | AHS(sk) |
| 25 | T412 | AHI(ik) |
| 26 | T413 | AHI(iy) |
| 27 | T396 | BPS(sy) |
| 28 | T397 | BPS(sa) |
| 29 | T398 | BLS(ply) |
| 30 | T399 | BLU(ply) |
| 31 | T400 | BLU(pla) |
| 32 | T401 | BLU(pla) |
| 33 | T402 | AHS(sa,viallinen) |
| 34 | T403 | AHS(sy) |
| 35 | T416 | AHS(sa) |
| 36 | T417 | APO(oy) |
| 37 | T418 | AHO(oy) |
| 38 | T419 | AHO(oa) |
| 39 | T420 | BLS(ply) |
| 40 | T421 | BLS(pla) |
| 41 | T422 | BLS(pla) |
| 42 | T423 | BLU(ply) |